



Plan
Strategiczny dla
Wspólnej
Polityki
Rolnej
na lata 2023-2027



Krajowa
Sieć
Obszarów
Wiejskich +



Dofinansowane przez
Unię Europejską



Operacja pn.: „*Melioracje wodne, retencja i gospodarka wodna*”,
dofinansowana ze środków UE w ramach Schematu II Pomocy Technicznej
Planu Strategicznego Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023-2027.

Materiał opracowany na zlecenie Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie.
Instytucja Zarządzająca Planem Strategicznym dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023-2027
– Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

E-Poradnik

Melioracje, retencja i gospodarka wodna w rolnictwie



Brwinów, 2025

Autorzy:

1. *prof. dr hab. inż. Edmund Kaca – ekspert z zakresu melioracji, projektowania i eksploatacji odwodnień i nawodnień podsiąkowych, nawodnień deszczownianych oraz retencji wodnej korytowej, glebowo-gruntowej, melioracyjnej i krajobrazowej*
2. *prof. dr hab. inż. Kazimierz Banasik – ekspert w pomiarach, modelowaniu i obliczeniach zasobów wodnych w małych zlewniach z uwzględnieniem przepływów nienaruszalnych i dyspozycyjnych*
3. *dr inż. Tymoteusz Bolewski – ekspert z zakresu inżynierii i ochrony środowiska, ze znajomością urządzeń kontrolno-pomiarowych w gospodarowaniu wodą na zmeliorowanych użytkach rolnych oraz agronomicznych metod kształtowania retencji glebowo-gruntowej*
4. *dr inż. Bogdan Bąk – ekspert od agrometeorologii, ewapotranspiracji upraw polowych i trwałych użytków zielonych, monitoringu agrometeorologicznego naziemnego i zdalnego oraz źródeł danych agrometeorologicznych i ich wiarygodności*
5. *dr inż. Tomasz Horaczek – ekspert od zagadnień fizjologii roślin uprawnych, w tym tematyki stresorów roślin*
6. *dr inż. Wiesława Kasperska-Wołowicz – ekspert od zagadnień wody w glebie, roślinie i atmosferze*
7. *mgr inż. Katarzyna Karpińska – ekspert w zakresie ochrony i inżynierii środowiska przyrodniczego w obszarach wiejskich, ze znajomością zagadnień gospodarki wodnej i rolnictwa*
8. *mgr inż. Bartosz Kierasiński - ekspert w zakresie hydrologii, hydrogeologii melioracyjnej i budownictwa melioracyjnego*
9. *mgr inż. Weronika Warowna - ekspert w zakresie inżynierii i ochrony środowiska naturalnego*

Redakcja naukowa – *prof. dr. hab. Inż. Edmund Kaca*

Korekta merytoryczna i skład – *dr hab. inż. Halina Jankowska-Huflejt*

Fotografia na okładce – *mgr inż. Bartosz Kierasiński*

Spis treści

Przedmowa – Edmund Kaca	3
Część I - Zasoby wodne dla rolnictwa, ich monitorowanie i źródła informacji	5
1. Hydrologia płynących wód powierzchniowych w skali małej zlewni, monitorowanie, przepływy dyspozycyjne - <i>Kazimierz Banasik</i>	8
2. Zasoby wód podziemnych w skali pierwszego poziomu wodonośnego, ich monitoring i prognozowanie (hydrogeologia, prawo wodne, źródła danych i ich interpretacja) - <i>Bartosz Kierasiński</i>	25
3. Pogoda i rolnictwo - <i>Bogdan Bąk</i>	60
Część II - Mała retencja wodna i retencyjność (potencjał retencyjny) obszarów wiejskich	75
1. Rodzaje retencji - <i>Katarzyna Karpińska, Weronika Warowna</i>	75
2. Potencjał ekosystemu w kształtowaniu małej retencji - <i>Katarzyna Karpińska, Weronika Warowna</i>	81
3. Agrotechniczne metody kształtowania retencji glebowej - <i>Tymoteusz Bolewski, Wiesława Kasperska-Wołowicz, Weronika Warowna</i>	99
4. Przykłady dobrych praktyk małej retencji - <i>Wiesława Kasperska-Wołowicz, Katarzyna Karpińska, Weronika Warowna</i>	107
Część III - Systemy odwodnień i nawodnień grawitacyjnych w kształtowaniu retencji glebowo-gruntowej	116
1. Systemy drenarskie z piętrzeniem wody - <i>Edmund Kaca</i>	116
2. Nawodnienia podsiąkowe i odpływ regulowany - <i>Edmund Kaca</i>	120
3. Budowle piętrzące i regulacyjne w systemach melioracyjnych - <i>Bartosz Kierasiński, Edmund Kaca</i>	136
4. Monitoring melioracyjny: urządzenia kontrolno-pomiarowe - <i>Tymoteusz Bolewski</i>	157
5. Gleboznawstwo melioracyjne trwałych użytków zielonych (TUZ) – <i>Edmund Kaca</i>	168
6. Potrzeby i ogólne zasady gospodarowania wodą na TUZ - <i>Edmund Kaca</i>	182
- Załącznik – Schematy blokowe, procedury, akceptowalne normy odwodnień, przykład wytycznych sporządzania instrukcji eksploatacji systemu odwodnień i nawodnień podsiąkowych	192
Część IV - Nawodnienia deszczowniane w praktyce	200
1. Technika deszczowniana - <i>E. Kaca</i>	200
2. Adaptacja terenu i organizacja nawodnienia - <i>Edmund Kaca</i>	220
3. Zasady nawadniania roślin uprawnych - <i>Tomasz Horaczek</i>	225
- Załącznik - Skala BBCH	236
4. Strategie (scenariusze) gospodarowania wodą na polach - <i>Edmund Kaca</i>	238
5. Sterowanie nawodnieniami deszczownianymi - <i>Edmund Kaca</i>	251
Część V - Melioracje precyzyjne w kształtowaniu glebowo-gruntowej retencji wodnej	260
1. Melioracje precyzyjne w kształtowaniu glebowo-gruntowej retencji na TUZ - <i>Edmund Kaca</i>	261
2. Melioracje precyzyjne w kształtowaniu glebowo-gruntowej retencji w systemach drenarskich z piętrzeniem - <i>Edmund Kaca</i>	268
3. Systemy wspomagające decyzje rolników w zakresie nawodnień deszczownianych - <i>Wiesława Kasperska-Wołowicz, Tymoteusz Bolewski</i>	273
4. Obliczanie retencji i retencyjności wodnej (potencjału retencyjnego) użytków rolnych i krajobrazu rolniczego - <i>Edmund Kaca</i>	279
- Załącznik – Przydatne tabele	306

Przedmowa

Gospodarowanie wodą na użytkach rolnych staje się coraz trudniejsze. Przyczyną są nie tylko zmiany klimatu, objawiające się m. in. częstszymi długotrwałymi okresami susz oraz występowaniem skrajnie intensywnych opadów, ale również niedostosowane do nowych warunków coraz starsze systemy melioracyjne. W przewyciężaniu tej trudnej sytuacji coraz większe znaczenie będzie miała zarówno wiedza rolników i doradców rolnych, jak i praktyczne umiejętności dotyczące melioracji, oraz retencjonowania i gospodarowania wodą.

Zaprezentowane w e-poradniku wiedza i praktyczne porady są wynikiem badań i eksperymentów wielu specjalistów z uczelni rolniczych i głównie byłego Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych oraz obecnego Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego - Państwowego Instytutu Badawczego w Falentach. Szczególnie istotne są wyniki uzyskane w ramach projektu „*Innowacje technologiczne oraz system monitoringu, prognozowania i operacyjnego planowania działań melioracyjnych, dla precyzyjnego gospodarowania wodą w skali obiektu melioracyjnego (INOMEL)*”, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Projekt realizowano w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych "ŚRODOWISKO NATURALNE, ROLNICTWO I LEŚNICTWO" BIOSTRATEG w latach 2018-2022 przez zespół specjalistów i praktyków z uczelni rolniczych, firm związanych z rolnictwem oraz z Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego - Państwowego Instytutu Badawczego w Falentach, który był liderem tego projektu.

Poradnik składa się z pięciu względnie niezależnych części. W części pierwszej podano ogólne informacje o zasobach wodnych dla rolnictwa, wskazując na źródła informacji o tych zasobach oraz na metody ich monitorowania. Główną uwagę zwrócono na zasoby wód powierzchniowych w małych (rolniczych) ciekach i zbiornikach oraz na zasoby wód podziemnych w pierwszej warstwie wodonośnej. Są to właśnie te zasoby, z których może korzystać rolnictwo. Zwrócono również uwagę na meteorologię rolniczą, w tym na zagadnienia monitoringu i prognoz agrometeorologicznych.

Część druga dotyczy małej retencji i potencjału retencyjnego obszarów wiejskich. Mała retencja to wszelkie działania, mające na celu zatrzymywanie lub spowalnianie spływu wód w obrębie małych zlewni, zaś potencjał retencyjny to zdolność cieków i zbiorników oraz ośrodków glebowo-gruntowych i krajobrazu rolniczego do gromadzenia i przetrzymywania przez dłuższy czas użytecznej wody. W tej części zwrócono uwagę na rodzaje retencji, potencjał retencyjny ekosystemu oraz na retencję glebową, łącznie z przykładami ich kształtowania w obszarach wiejskich.

W części trzeciej zawarto informacje dotyczące przebudowy odwadniających systemów melioracyjnych w systemy odwadniająco-nawadniające oraz metod regulacji odpływu wody i nawodnień podsiąkowych z wykorzystaniem przebudowanych systemów. Szczególną uwagę zwrócono na doliny rzeczne z łąkami i pastwiskami oraz na systemy drenarskie wyposażone w regulatory piętrzeń wody. Omówiono metody opisu charakterystyk wodnych gleb pochodzenia wodnego, tj. gleb torfowych, czarnych ziem i mad rzecznych. Charakterystyki te warunkują racjonalne gospodarowanie wodą na zmeliorowanych użytkach rolnych, a przede wszystkim na trwałych użytkach zielonych. Przedstawiono również metody monitorowania uwodnienia gleb dolin rzecznych, w tym metody pomiaru poziomu wody gruntowej, uwilgotnienia gleb oraz parametrów agrometeorologicznych.

Część czwarta poświęcona jest nawodnieniom deszczownianym, w tym metodom doboru rurociągów deszczujących wyposażonych w zraszacze z uwzględnieniem wymagań produkcyjnych gospodarstwa oraz jego warunków glebowych i klimatycznych. Na przykładach omówiono metody doboru zraszaczy oraz metody sterowania nawodnieniami.

Część piąta dotyczy melioracji precyzyjnych. Pod tym pojęciem kryją się nowoczesne systemy eksploatacji urządzeń melioracyjnych, szczególnie ich użytkowanie, a w konsekwencji nowoczesne i precyzyjne gospodarowanie wodą na zmeliorowanych użytkach rolnych z wykorzystywaniem innowacyjnych narzędzi i technologii, takich jak systemy GPS, czujniki wilgotności, drony czy analizy danych z zastosowaniem modelowania matematycznego i techniki komputerowej. Omawia się precyzyjne gospodarowanie wodą na trwałych użytkach zielonych wyposażonych w systemy nawodnień podsiąkowych oraz na zdrenowanych gruntach ornych z piętrzeniem wody w studniach drenarskich. W części tej zaprezentowano również prototypowy system wspomagania rolników w nawodnieniach deszczownianych. Znaczną część przeznaczono na omówienie skomputeryzowanych metod wyznaczania wpływu piętrzeń wody w cieku i zbiorniku oraz w rowach melioracyjnych na retencję korytową i zbiornikową oraz na retencję glebowo-gruntową i krajobrazową.

Autorzy mają nadzieję, że informacje zawarte w przygotowanym e-poradniku będą użyteczne dla wszystkich, którym sprawa gospodarowania wodą w rolnictwie i na obszarach wiejskich jest wyzwaniem, szczególnie zaś rolnikom i doradcom w ośrodkach doradztwa rolniczego, specjalistom w spółkach wodnych i ich związkach oraz w urzędach gminnych i urzędach marszałkowskich.

Prof. dr hab. inż. Edmund Kaca

CZĘŚĆ I

Zasoby wodne dla rolnictwa, ich monitorowanie i źródła informacji

prof. dr hab. inż. Kazimierz Banasik, dr inż. Bogdan Bąk, mgr inż. Bartosz Kierasiński

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy - Państwowy Instytut Badawczy

Spis treści:

Wprowadzenie (<i>K. Banasik</i>)	5
1. Hydrologia płynących wód powierzchniowych w skali małej zlewni, monitorowanie, przepływy dyspozycyjne (<i>K. Banasik</i>)	8
2. Zasoby wód podziemnych w skali pierwszego poziomu wodonośnego, ich monitoring i prognozowanie (hydrogeologia, prawo wodne, źródła danych i ich interpretacja) (<i>B. Kierasiński</i>)	25
3. Meteorologia w rolnictwie (<i>B. Bąk</i>)	60

Wprowadzenie (*K. Banasik*). Dostępność wody, w odpowiedniej ilości i jakości, jest niezbędnym elementem do utrzymania życia i do wszelkiej aktywności człowieka, w tym do produkcji rolnej. Łatwo dostępne zasoby wód powierzchniowych, w przeliczeniu na mieszkańca, są w naszym kraju stosunkowo niewielkie w porównaniu do innych krajów Unii Europejskiej. Zróżnicowanie obszarowe rocznej sumy opadów atmosferycznych, decydujących o wielkości zasobów, jest w Polsce bardzo duże i zawiera się w przedziale od wartości poniżej 500 mm (na Kujawach i w Wielkopolsce) do wartości powyżej 1000 mm rocznie (w Tatrach). Średnia suma opadów atmosferycznych wynosi ok. 630 mm, czyli 196 km³ rocznie. Natomiast wieloletnia średnia wartość przepływów rzecznych na mieszkańca Polski wynosi 1594 m³/os./rok, choć w suchym roku może być to zaledwie 1000 m³ (Nauka 2021).

Z krajowego punktu widzenia, obok ogólnej wartości zasobów wodnych, najważniejszy jest dostęp do niezbędnej ilości wody o odpowiedniej jakości w określonym czasie. Istotą problemu są regionalne i lokalne różnice w dostępie do wody na obszarze kraju lub jej nadmiar. W dużym uproszczeniu: w Polsce można wskazać trzy kategorie problemów związanych z (1) niedoborem, (2) nadmiarem i (3) zanieczyszczeniem wody. Pierwszy z nich pojawia się często, drugi – czasem, a trzeci – bardzo często. Władza dostrzega te problemy, ale głównie podczas spektakularnych powodzi czy suszy albo gdy dramatycznie pogorszy się jakość wody, np. w Wiśle podczas dwóch poważnych awarii sieci kanalizacyjnej w Warszawie w latach 2019 i 2020, czy katastrofy ekologicznej na Odrze w 2022. Wiele działań zostało uruchomionych po wielkich powodziach w zlewni Odry w lipcu 1997 i we wrześniu 2014, a także na Wiśle po powodzi w 2010 roku.

Zalecanym sposobem racjonalnego gospodarowania zasobami wodnymi w Polsce, wobec ich znacznej zmienności czasowej i przestrzennej, jest retencja, która polega na gromadzeniu wody w sytuacji jej nadmiaru i oddawaniu użytkownikom i środowisku w okresach niedoboru. Wszystkie

polskie zbiorniki retencyjne mieszczą jednak zaledwie 6,5% rocznego odpływu rzecznej (Nauka 2021).

Problemy gospodarowania wodą w rolnictwie i na obszarach wiejskich dotyczą dostępności wody w odpowiedniej ilości i czasie oraz wpływu rolnictwa na ilość i jakość wód powierzchniowych i podziemnych. Niezmiernie ważna jest infrastruktura wodna i jej stan techniczny, dostosowany do współczesnych wymagań uwzględniających ochronę środowiska oraz wykorzystanie urządzeń.

W Polsce, pomimo umiarkowanego klimatu relatywnie sprzyjającego rolnictwu, często zdarzają się powodzie, podtopienia oraz susze. W celu złagodzenia ich skutków w rolnictwie, oraz zwiększenia efektów produkcyjnych zrealizowano, w latach 1950-1990, bardzo duży program inwestycji melioracyjnych, głównie o charakterze odwadniającym. W części obszarów dolinowych systemy odwadniające zaopatrzone w urządzenia piętrzące umożliwiające stosowanie mało kosztownych nawodnień podsiąkowych, natomiast obszar nawadniany za pomocą deszczowni i mikronawodnień, wymagających znacznych nakładów, był niewielki. Jeśli więc zainwestowano wówczas znaczące środki finansowe do regulacji warunków wodnych w produkcji roślinnej, to dlaczego obecnie występują problemy z gospodarką wodną? Jedną z przyczyn tej sytuacji jest zmiana klimatu: wzrost temperatury oraz zmiany częstotliwości, sezonowości i natężenia opadów. Zmiany te są dostrzegalne od ponad 30 lat, a ich skutkiem jest zmniejszanie się zasobów wodnych, zwłaszcza w okresie wegetacyjnym. Obrazują to średnie temperatury roczne w naszym kraju w okresie 1950-2020 i anomalie temperatury średniej (rys. 1), oraz wartości liczbowe (tab. 1) przedstawiające zmiany wybranych parametrów klimatycznych w dwóch wieloletnich referencyjnych (1961-1990 i 1991-2020), w tym temperatur średnich rocznych i średnich w poszczególnych porach roku oraz liczby dni upalnych, bardzo mroźnych i z pokrywą śnieżną.

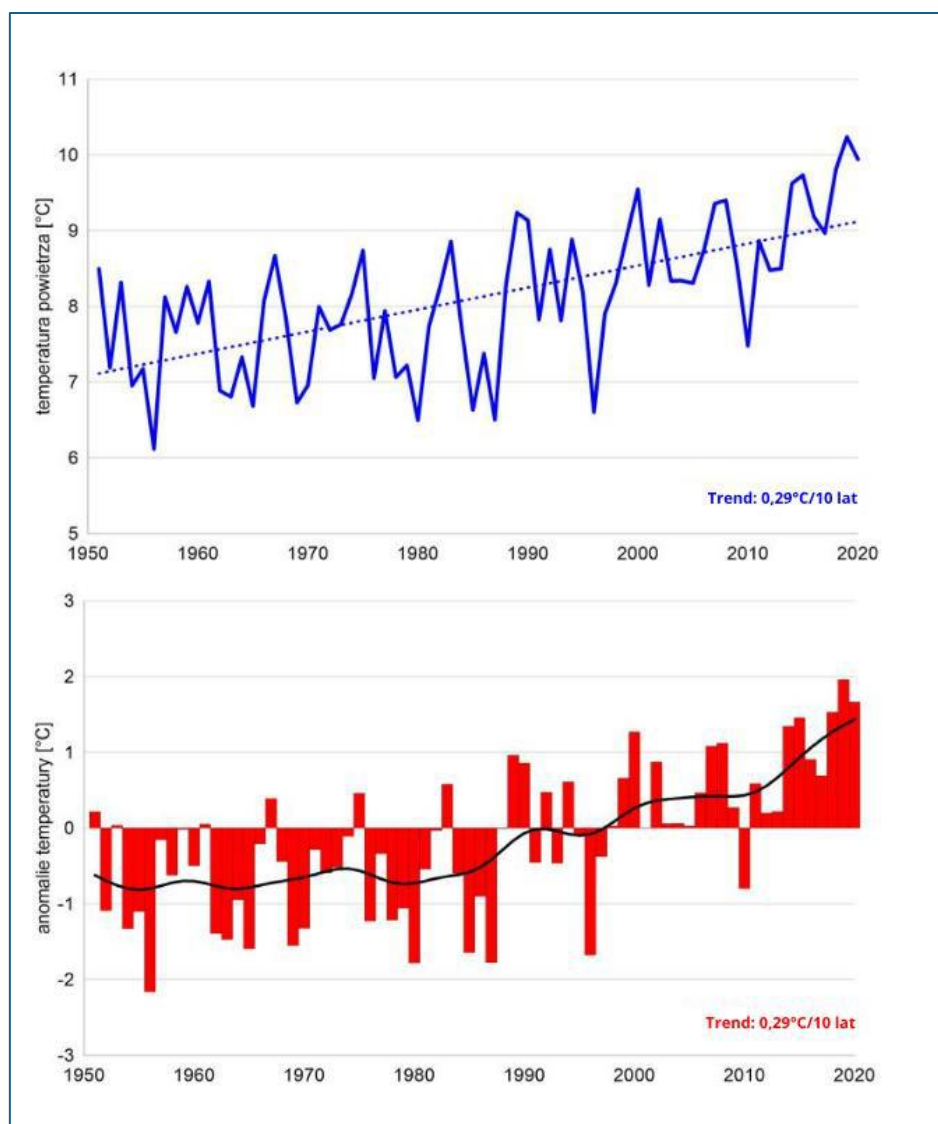
Wzrost średniej temperatury powietrza w skali roku w okresie 1951-2020 charakteryzuje się dodatnim, istotnym statystycznie na poziomie $1-\alpha = 0,95$, trendem wynoszącym $0,29^{\circ}\text{C}/10$ lat.

Odpowiada to wzrostowi temperatury w podanym okresie od 1951 roku aż o $2,0^{\circ}\text{C}$.

Tabela 1. Przykładowe statystyki klimatyczne dla wybranych stacji w dwóch kolejnych trzydziestoleciach referencyjnych, tj. 1961-1990 i 1991-2020 (źródło: TOMCZYK A. M, BEDNORZ E. (red.), 2022)

Statystyka klimatyczna			Świnoujście	Suwałki	Poznań	Warszawa	Wrocław	Kraków
Średnia temperatura (oC)	rok	a	8,2	6,1	8,3	7,8	8,4	7,8
		b	9,2	7,3	9,4	9,0	9,7	8,9
	wiosna	a	6,8	5,7	7,9	7,7	8,2	7,9
		b	8,0	6,9	9,1	8,9	9,4	8,9
	lato	a	16,3	15,9	17,3	17,3	17,1	16,8
		b	17,4	17,2	18,7	18,8	18,9	18,6
	jesień	a	9,4	6,7	8,7	8,3	8,9	8,3
		b	9,8	7,3	9,3	8,8	9,6	8,8
	zima	a	0,1	-4,3	-1,1	-2,1	-0,8	-2,0
		b	1,4	-2,5	0,3	-0,7	0,7	-0,8
Liczba dni upalnych		a	1,5	1,1	5,6	3,8	5,1	3,8
		b	3,5	4,2	10,6	9,0	11,8	10,0
Liczba dni bardzo mroźnych		a	0,4	6,4	1,7	2,4	1,6	2,1
		b	0,2	3,8	0,7	1,7	0,6	1,5
Roczna suma opadów (mm)		a	543,9	593,4	514,4	515,9	587,6	679,2
		b	584,6	607,0	538,2	549,3	540,6	672,2
Liczba dni z pokrywą śnieżną		a	50,0	90,0	51,6	60,3	44,5	65,0
		b	31,0	76,4	36,3	48,4	35,0	55,3

a – 1961-1990; b – 1991-2020



Rys. 1. Temperatury powietrza i anomalie temperatur średnich rocznych w Polsce w okresie 1950-2020 (źródło: IMGW-PIB, 2024)

Dla zobrazowania zmienności temperatury na rysunku 1 przedstawiono także serie w formie odchyłeń od normy klimatologicznej, czyli wartości średniej dla ostatniego okresu normalnego (1991-2020). Taka seria składa się z wartości dodatnich, gdy dany rok był cieplejszy od normy i wartości ujemnych, gdy był chłodniejszy. Taka prezentacja anomalii (odchyłeń) od normy pozwala na szybką wizualną identyfikację okresów chłodniejszych czy cieplejszych. Poza serią anomalii na wykresie przedstawiono krzywą obrazującą przebieg serii anomalii po wygładzeniu jej filtrem Gaussa z oknem 10-letnim, czyli po odfiltrowaniu krótkookresowych wahań temperatury (IMGW-PIB, 2024).

Obecnie polskie rolnictwo zależy od deszczu, a w mniejszym stopniu od śniegu, którego jest coraz mniej. W najbliższych dekadach, wraz z postępującą zmianą klimatu, rolnictwo stanie się jednak głównym użytkownikiem wody. Coraz istotniejsze stanie się nawadnianie upraw. Pomimo wielu podejmowanych przedsięwzięć, typu wojewódzkie programy inwestycji retencyjnych zapoczątkowane około 1990 roku (później programy regionalne), strategię gospodarki wodnej, zmiany Prawa wodnego, a także obecne programy Wód Polskich i wsparcie

rolników podejmowane przez Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, sytuacja nie poprawia się znacząco, a prognozy wskazują na jej pogorszenie (Alert wodny, 2023). Warto podkreślić, że konsekwencje problemów wodnych rolnictwa nie dotyczą tylko tego sektora, lecz każdego obywatela kupującego żywność.

Modelowe projekcje wskazują na dalszy wzrost zagrożenia suszą rolniczą w zmieniającym się klimacie. Z punktu widzenia produkcji rolnej wzrost opadów jest niekorzystnie rozłożony w czasie, gdyż w okresach krytycznych dla wzrostu roślin występowanie deficytów wody glebowej może się nasilać pod wpływem ocieplenia powietrza. Można przypuszczać, że w perspektywie kilkudziesięciu lat stosowanie nawodnień stanie się nieodzownym elementem upraw rolnych w dużej części kraju, zwłaszcza tam, gdzie klimatyczny bilans wodny jest ujemny (np. Wielkopolska, Kujawy), a gleby charakteryzują się niską retencyjnością. Oznacza to z jednej strony konieczność poniesienia wysokich nakładów finansowych, a z drugiej strony wzrost ryzyka konfliktów o dostęp do wody między sektorami użytkującymi wodę, tj. rolnikami, którzy chcą nawadniać pola, właścicielami stawów rybnych, zarządcami elektrowni czy użytkownikami komunalnymi. Ważne jest też zapewnienie tzw. przepływu środowiskowego pozwalającego na zachowanie życia biologicznego w ciekach.

W tej części (I) opracowania przedstawiono podstawowe informacje o sytuacji hydrologicznej w rzekach i podejście do oceny zasobów dyspozycyjnych w małych ciekach, z jakimi mamy zwykle do czynienia w obszarach rolniczych (rozdział 1), do możliwości poboru do nawodnień wód gruntowych (rozdział 2) i do monitoringu istotnych dla rolnictwa parametrów meteorologicznych (rozdział 3).

1. Hydrologia płynących wód powierzchniowych w skali małej zlewni, monitorowanie, przepływy dyspozycyjne (K. Banasik)

Hydrologia w najogólniejszym ujęciu jest nauką traktującą o wodzie i zjawiskach związanych z występowaniem wody w przyrodzie Ziemi. Jedną z ośmiu gałęzi hydrologii (poza hydrometeorologią, limnologią, geohydrologią, hydrogeologią, agrohydrologią, oceanologią i glaciologią) jest potamologia – hydrologia płynących wód powierzchniowych. W tym rozdziale omawiane są wybrane zagadnienia potamologii małych cieków, mogące być przedmiotem zainteresowania rolników i doradców rolnych, w tym szczególnie o zależności występowania wody w cieku i położeniu wód gruntowych w terenach przyległych (1.1), reakcji w odpływie rzeczny na opad (1.2), pozyskiwaniu informacji o stanach i przepływach w rzekach (rozdz. 1.3) oraz o możliwości poboru wody z cieku przy ograniczonej jej dostępności (rodz. 1.4).

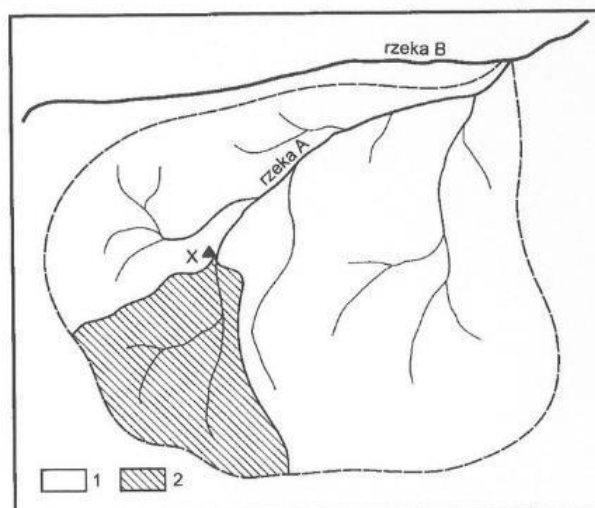
1.1. Ogólny bilans wodny zlewni

Podstawową jednostką obszarową, będącą obiektem badań hydrologicznych, jest zlewnia rzeczna - jednostka hydrograficzna obejmująca fragment terenu, z którego wody spływają do jednego wspólnego odbiornika. Ze względu na formę odpływu wyróżniamy zlewnię powierzchniową (topograficzną) i podziemną (rys. 2).

Gdy analizowana jest cała długość rzeki (do ujścia), jej zlewnia jest, w rozumieniu hydrologicznym, tożsama znaczeniowo z dorzeczem. Termin dorzecze bywa dodatkowo zawężany (przez definicję Prawa wodnego) do zlewni rzek głównych, tj. uchodzących do wód morskich ciekami naturalnymi przez jedno ujście, estuarium lub deltę.

Obszarem większym, obejmującym wszystkie dorzecza odprowadzające wody do jednego morza jest zlewisko. W Polsce większość rzek należy do dorzecza Wisły i Odry, które obejmują znaczącą część kraju.

Należą one do zlewiska Morza Bałtyckiego. Oprócz tych dorzeczy do tego zlewiska należą również dorzecze Pregoi, dorzecze Niemna oraz dorzecze rzek przymorza. Dorzecze Dunaju i dorzecze Dniestru należą do zlewiska Morza Czarnego. Dorzecze Łaby należy do zlewiska Morza Północnego, co przedstawia rysunek 3.



1 – dorzecze rzeki A; 2 – zlewnia rzeki A w przekroju X

Rys. 2. Zlewnia i dorzecze w ujęciu hydrograficznym



Rys 3. Dorzecza Wisły, Odry i rzek przymorza oraz części pozostałych dorzeczy na obszarze Polski odprowadzających wody do Morza Bałtyckiego, Morza Czarnego i Morza Północnego

W bilansie wodnym zlewni rzecznej, a także dorzecza, sporządzanym zwykle dla roku hydrologicznego (trwającego od 1 XI poprzedniego roku do 31 X bieżącego roku) wyróżnia się zwykle cztery elementy: opad, parowanie, odpływ i zmianę retencji, i zapisuje w postaci wzoru:

$$P = E + H + \Delta R \quad (1)$$

gdzie:

P – warstwa opadu rocznego (mm)

E – warstwa parowania rocznego (mm)

H – warstwa odpływu rocznego (mm)

ΔR – warstwa zmiany retencji w roku (mm).

Dla warunków uśrednionych z wielolecia (z okresu co najmniej 10 lat), z uwagi na malejące znaczenie zmiany retencji ($\Delta R \rightarrow 0$) zapis bilansu wodnego upraszcza się do postaci:

$$P = E + H \quad (2)$$

Lokalne warunki klimatyczne, głównie opady i temperatury, a także warunki glebowe i geologiczne oraz topografia i użytkowanie terenu decydują o rozdziale opadu (P), który jest elementem przychodowym w bilansie wodnym, na parowanie (E) i odpływ (H), będące elementami rozchodowymi. Zależności te są mocno zróżnicowane w czasie i także na obszarze kraju. Uśrednione dane dla obszaru kraju w roku przeciętnym wskazują, że parowanie stanowi 72,5%, a odpływ 27,5% opadu (Nauka 2021).

Parametrem użytecznym i często wykorzystywanym w analizach hydrologicznych jest bezwymiarowy współczynnik odpływu określający jaka część opadu odpływa ze zlewni:

$$c = \frac{H}{P} \quad (3)$$

gdzie:

c – współczynnik odpływu (-)

H i P – warstwa odpływu i opadu rocznego (mm lub m)

Ustalone empirycznie, dla różnych warunków klimatycznych, geologiczno-glebowych, topograficznych i pokrycia terenu, wartości tego współczynnika odpływu pozwalają na przybliżone wyznaczenie **średniego rocznego przepływu** w przekroju zamykającym zlewnie z zależności:

$$SQ = 0,03171 c P A \quad (4)$$

gdzie:

SQ – przepływ średni roczny (m^3/s)

0,03171 – stała wynikająca z przeliczenia jednostek

c – współczynnik odpływu dla rozpatrywanej zlewni (-)

P – warstwa opadu rocznego (m)

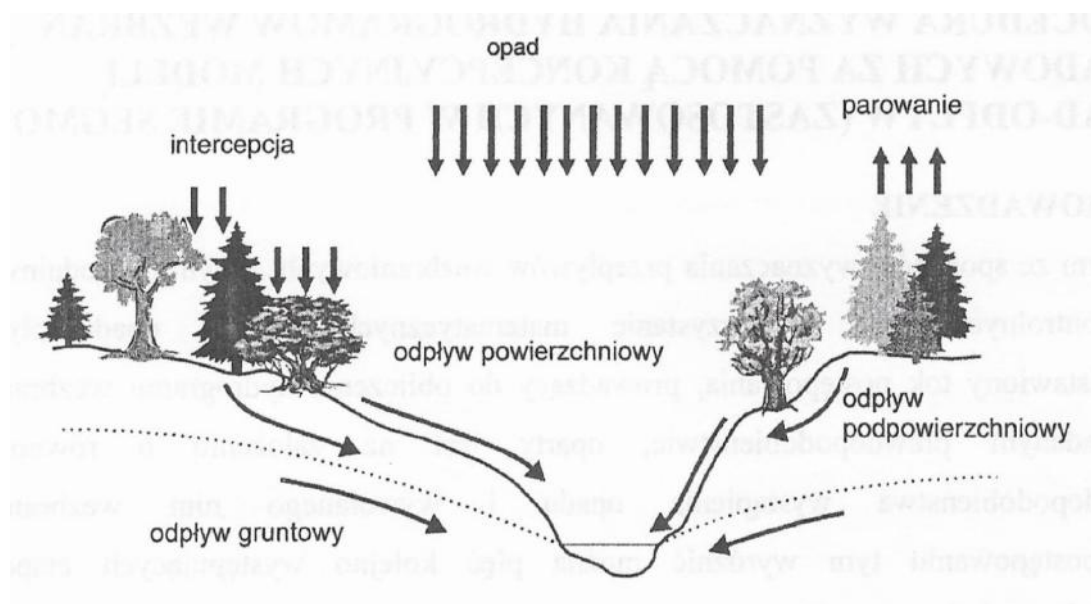
A – powierzchnia zlewni (km^2)

Wyznaczenie przepływu średniego, będącego także miarą zasobów wodnych zlewni, jest stosunkowo proste dla interesującego nas przekroju rzecznej, przy znajomości powierzchni zlewni, dostępności do map opadów średnich rocznych i tablic współczynników odpływu, dostępnych we wszystkich podręcznikach hydrologii. Pamiętać jednak należy, że otrzymana

wielkość jest orientacyjna, a jej zmienność między poszczególnymi latami w rozpatrywanej zlewni wynikać będzie m.in. z różnej wysokości opadu rocznego oraz różnego rozkładu w ciągu roku opadów i innych parametrów meteorologicznych. Także podawane w podręcznikach wartości współczynnika odpływu bazują na danych pomiarowych z większych zlewni, a więc mogą nie uwzględniać lokalnej specyfiki, wynikającej z rodzaju gleb, topografii i użytkowania terenu. Rozpatrując przykładowo zlewnię badawczą Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Falentach, obejmującą górną część Mławki do profilu Mławka VI o powierzchni 66,2 km², położonej - wg podziału fizycznogeograficznego - na Wzniesieniu Mławskim, wchodzącej w skład makroregionu Niziny Północnomazowieckiej, podawana w podręcznikach wartość współczynnika odpływu dla najbliższej stacji hydrologicznej IMGW-PIB – Cieksyny na Wkrze wynosi 0,25 (BYCZKOWSKI 1999, KOLASIŃSKA i in. 2023). Wartość ta jest zbliżona do średniej z wielolecia (2001-2020) ustalonej z pomiarów i wynoszącej 0,22, jednak w poszczególnych latach występuje bardzo duże zróżnicowanie, przedstawione w tabeli 2, co potwierdza ograniczenie stosowanie wzoru (4) jedynie do wyznaczania przepływu średniego z wielolecia – *SSQ* (średnia z przepływów średnich rocznych). Koryto rzeki odprowadzające wody ze zlewni zasilane jest zwykle odpływem gruntowym (podziemnym), a okresowo – w czasie roztopów i ulewnych deszczy - także odpływem powierzchniowym i podpowierzchniowym, co przedstawiono na rys. 4. W długim okresie bezdeszczowym, zasilanie koryta zmniejsza się, poziom wody gruntowej obniża się, co w przypadku małych zlewni na terenach rolniczych, może doprowadzić do całkowitego zaniku przepływu (poziom wody gruntowej znajdzie się poniżej najniższego punktu przekroju poprzecznego koryta na całej jego długości).

Tabela 2. Roczne warstwy opadów i odpływów oraz współczynniki odpływu zlewni Mławka po profil Mławka VI w okresie lat hydrologicznych 2001-2020

Rok	P (mm)	H (mm)	c (-)
2001	718,0	161,1	0,224
2002	674,8	200,2	0,297
2003	522,7	171,1	0,327
2004	736,7	185,0	0,251
2005	421,3	175,5	0,416
2006	525,1	110,9	0,211
2007	714,4	139,8	0,196
2008	588,3	119,1	0,202
2009	562,3	102,4	0,182
2010	676,6	114,1	0,169
2011	736,2	142,5	0,194
2012	597,1	140,8	0,236
2013	493,6	150,5	0,305
2014	564,7	116,2	0,206
2015	542,0	89,9	0,166
2016	644,3	85,1	0,132
2017	899,6	125,9	0,140
2018	630,9	146,3	0,232
2019	579,3	104,4	0,180
2020	721,0	98,0	0,136
Średnia	627,4	134,0	0,220
max	899,6	200,2	0,416
min	421,3	85,1	0,132



Rys. 4. Schematyczny obraz przemieszczania się wody w przekroju zlewni w czasie intensywnego opadu
(źródło: Somorowska 1993)

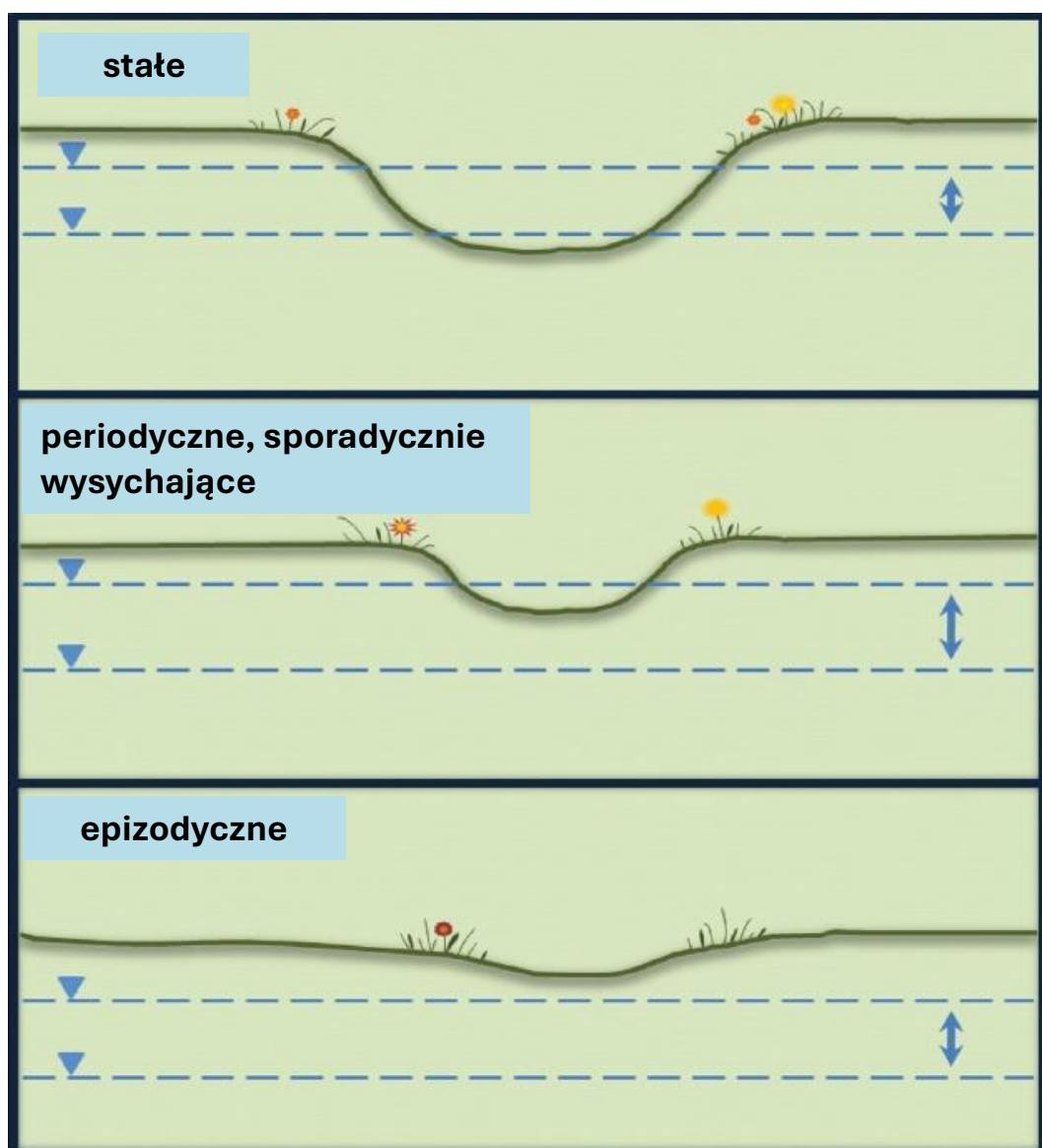
W zależności od rodzaju i okresu zasilania koryta, zależnego od zmienności położenia wód gruntowych mamy do czynienia z ciekami:

- **stałymi** (stale prowadzącymi wodę), kiedy wahający się poziom wód gruntowych w terenie przyległym jest zawsze powyżej dna cieku,
- **sporadycznie wysychającymi**, kiedy poziom wód gruntowych rzadko obniża się poniżej dna cieku (np. tylko przez kilka/kilkanaście dni w latach bardzo suchych),
- **periodycznymi**, kiedy poziom wód gruntowych obniża się poniżej dna cieku a ciek wysycha zwykle o określonych porach roku (np. prawie każdego roku latem lub w latach przeciętnych i suchych w porze letniej),
- **epizodycznymi**, kiedy zwierciadło wody gruntowej jest stale lub prawie stale poniżej dna cieku a przepływ odbywa się jedynie w czasie roztopów i/lub po intensywnych deszczach.

Omówione przypadki zilustrowano na rysunku 5, a jako przykład cieku sporadycznie wysychającego, przedstawiono (na fot. 1) koryto Zagożdżonki w profilu Czarna-Wygoda, na Równinie Radomskiej, zamykającego zlewnię o powierzchni 9,3 km².



Fot. 1. Widok koryta Zagożdżonki, w profilu Czarna-Wygoda, prowadzącego wodę (z lewej strony) i koryta suchego (z prawej strony), jako przykład rzeki sporadycznie wysychającej (fot. K. Banasik)

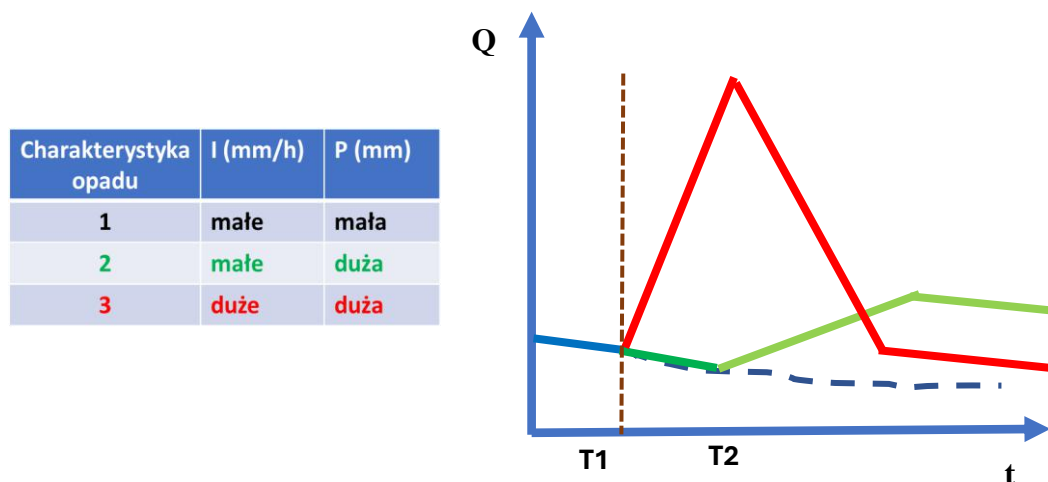


Rys. 5. Klasyfikacja rzek na typy w zależności od zmienności położenia wód gruntowych względem dna koryta (źródło: Edwards, Williard, Jon, Schoonover, 2015)

1.2. Reakcja zlewni na opad

Ilość płynącej wody w rozpatrywanym przekroju cieką zamykającym zlewnię, nazywana jest przepływem, oznaczanym literą Q i wyrażanym w m^3/s . Wielkość przepływu zależy od powierzchni i charakterystyki zlewni oraz warunków meteorologicznych, w tym głównie wielkości i czasu trwania opadu. Reakcję zlewni w postaci zmieniającego się przepływu w funkcji czasu (hydrogramu odpływu ze zlewni), dla trzech przypadków deszczu o różnej charakterystyce przedstawiono na rys. 6. Na schemacie, mającym przybliżyć rozumienie przebiegu zjawiska formowania się odpływu, dotyczącym małej zlewni rozpatrzono opady różniące się natężeniem deszczu i/lub wydajnością, przy czym parametry te analizowane są w sensie jakościowym (duże/małe) a nie ilościowym (podającym konkretne wartości liczbowe). Za **małe natężenie deszczu** – **I**, przyjęto takie kiedy opad jest w całości zużywany na intercepcję i wsiąkanie, natomiast **duże** kiedy powstaje nadwyżka opadu nad wsiąkaniem i następuje odpływ bezpośredni

(powierzchniowy i podpowierzchniowy. Za deszcz o **małej wydajności** (niewielkiej warstwie opadu) – **P**, przyjęto taki kiedy wsiąkająca woda nie dotrze do zwierciadła wód gruntowych i nie wpłynie na ich położenie, natomiast o **dużej** - kiedy wsiąkająca woda dotrze do wód gruntowych, powodując ich podniesienie i przez to zwiększenie odpływu gruntowego.



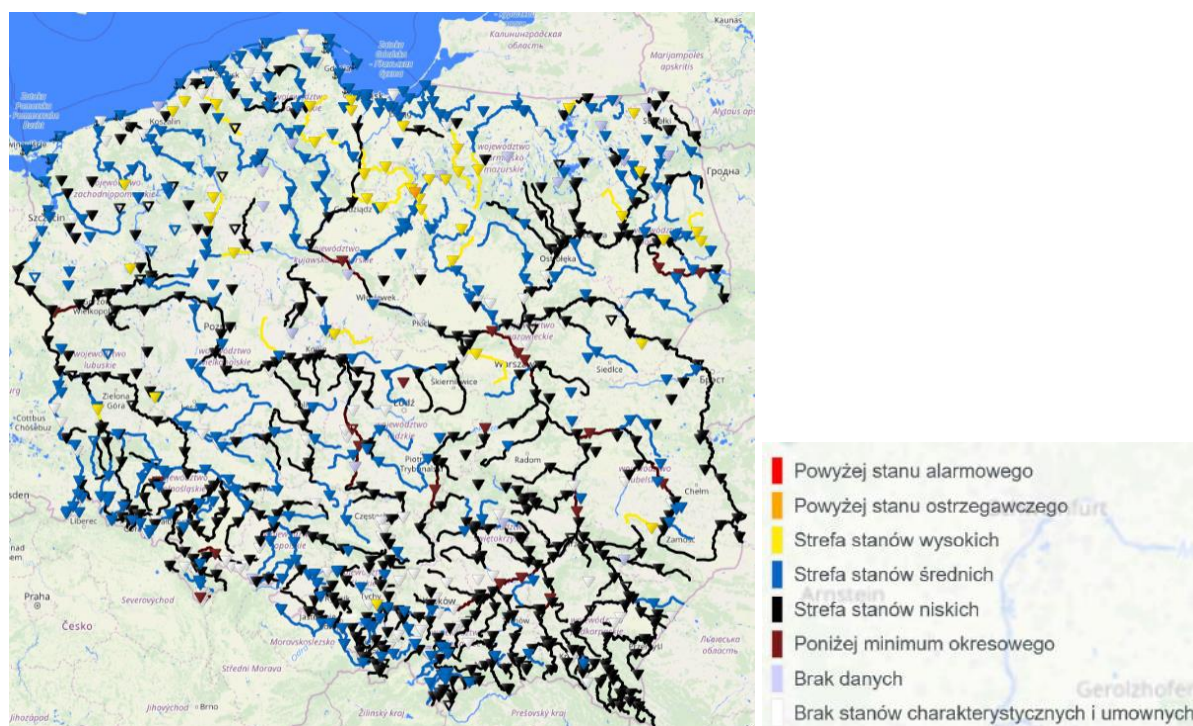
Rys. 6. Schemat reakcji zlewni, w postaci hydrogramu odpływu, na opad o trzech różnych charakterystykach – co do natężenia - I (mm/h) i wysokości - P (mm): T1 - okres bezopadowy, T2 – okres w czasie i po wystąpieniu opadu

W długim okresie bezopadowym, zaznaczonym na osi odciętych hydrogramu jako T1 (rys. 6), koryto ciekę zasilane jest wyłącznie odpływem gruntowym w wyniku czego następuje wyczerpywanie zasobów tych wód, obniżenie poziomu wód gruntowych w zlewni i zmniejszenie przepływu w przekroju zamykającym zlewnię. W sytuacji wystąpienia opadu na końcu okresu T1, reakcja zlewni w postaci odpływu będzie zależeć od charakterystyki opadu. Opad o małym natężeniu i małej wydajności (przypadek 1), wsiąkając spowoduje poprawę wilgotności gleby, ale nie docierając do lustra wód gruntowych, nie wpłynie na zmianę ich położenia, w związku z czym odpływ będzie nadal malał w czasie, co obrazuje niebieska linia przerywana. Opad o małym natężeniu ale długotrwały, a więc o dużej wydajności (przypadek 2), spowoduje podwyższanie poziomu wód gruntowych co z kolei wywoła powolny wzrost przepływu w korycie, co obrazuje zielona linia łamana. Opad o dużym natężeniu i dużej wydajności (przypadek 3) wywoła odpływ bezpośredni (powierzchniowy i podpowierzchniowy), który będąc dużo szybszym od odpływu gruntowego, wywoła gwałtowną reakcję w przekroju zamykającym zlewnię w postaci hydrogramu wezbraniowego, zobrazowanego łamaną linią czerwoną na rys. 6.

1.3. Monitoring wód - ocena zmienności stanów i przepływów

Monitoring ilościowy wód powierzchniowych dotyczy pomiaru ilości wody w rzekach, jeziorach i innych zbiornikach, a monitoring jakościowy bada skład chemiczny i biologiczny wód, aby ocenić ich stan i zanieczyszczenie. W Polsce badania jakościowe wód prowadzone są w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska. Wyniki monitoringu pozwalają na klasyfikację wód (np. na klasy jakości) i są dostępne na interaktywnej mapie jakości wód prowadzonych przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ).

Monitoring ilościowy to ustawowe zadanie Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, realizowanej przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB (IMGW-PIB), który od 2020 r. podlega Ministerstwu Infrastruktury. IMGW-PIB prowadzi systematyczne obserwacje **stanów wody** (wzniesienie zwierciadła wody ponad umownie przyjęty poziom zwany zerem wodowskazu) przy pomocy sieci stacji i posterunków wodowskazowych (ponad 850 czynnych punktów) z częstotliwością co 10 min. Dane gromadzone są w spójny sposób i dostępne na stronie internetowej (<https://danepubliczne.imgw.pl/>). Monitoring ilościowy jest kluczową informacją o zasobach wód powierzchniowych oraz ich przemieszczaniu się. Jest to podstawa informowania o zagrożeniach, jakimi są powodzie i susze, ale również (w połączeniu z informacją o stężeniu zanieczyszczeń) o ładunkach zanieczyszczeń, czyli czasie oraz drodze przemieszczania się zanieczyszczeń (WILK, ORLIŃSKA-WOŹNIAK, 2024). Rozmieszenie stacji hydrologicznych IMGW-PIB wraz ze stanami wód na głównych rzekach Polski dn. 31.08.2025 roku przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Lokalizacja stacji hydrologicznych IMGW-PIB na głównych rzekach Polski z zaznaczeniem stref stanów wody, na stacjach i odcinkach rzek, odpowiednim kolorem (objaśnienie w tekście)

(źródło: <https://hydro.imgw.pl/#/>)

Granice stref stanów wód powiązane są ze stanami umownymi (ostrzegawczym i alarmowym) oraz ze stanami charakterystycznymi, a bardziej precyzyjnie z wybranymi stanami głównymi drugiego stopnia odpowiadającymi przepływowi o tej samej charakterystyce (dla przykładu stan maksymalny spośród minimów rocznych w wieloleciu - *WNW* to stan odpowiadający, wg obowiązującej krzywej natężenia przepływu, przepływowi *WNQ*).

Stany umowne wyznaczane są w postępowaniu o charakterze administracyjnym, z udziałem pracowników IMGW-PIB i przedstawicieli organów administracji samorządowej i rządowej, uwzględniającym potrzeby służb i administracji w zakresie planowania oraz

ostrzegania i alarmowania, opartym na analizie i przetwarzaniu dostępnych danych i informacji hydrologicznych, fizyczno-geograficznych oraz dokumentów. **Stan alarmowy** (oznaczany na mapie kolorem czerwonym) to stan wody, który odpowiada napełnieniu koryta rzeki lub doliny rzecznej stanowiącemu zagrożenie dla infrastruktury i zabudowań, a także dla życia i zdrowia ludzi. **Stan ostrzegawczy** (oznaczany na mapie kolorem pomarańczowym) to stan wody, który układa się poniżej stanu alarmowego, informujący o konieczności podjęcia określonych działań (IMGW-PIB, 2025).

Jako **dolną granicę strefy stanów wysokich** i jednocześnie górną granicę strefy stanów średnich przyjmuje się stan odpowiadający przepływowi średniemu z NWQ i WSQ :

$$WQ_{Dgr} = SQ_{Ggr} = \frac{NWQ + WSQ}{2} \quad (5)$$

gdzie:

WQ_{Dgr} – przepływ wyznaczający (z aktualnej krzywej natężenia przepływu) dolną granicę stanów wysokich (m^3/s),

SQ_{Ggr} – przepływ wyznaczający górną granicę stanów średnich (m^3/s),

NWQ – najniższy przepływ z maksimów rocznych w wieloleciu (m^3/s),

WSQ – najwyższy przepływ ze średnich rocznych w wieloleciu (m^3/s).

Jako **dolną granicę strefy stanów średnich** i jednocześnie górną granicę strefy stanów niskich przyjmuje się stan odpowiadający przepływowi średniemu z NSQ i WNQ :

$$SQ_{Dgr} = NQ_{Ggr} = \frac{NSQ + WNQ}{2} \quad (6)$$

gdzie:

SQ_{Dgr} – przepływ wyznaczający (z aktualnej krzywej natężenia przepływu) dolną granicę stanów średnich (m^3/s),

NQ_{Ggr} – przepływ wyznaczający górną granicę stanów niskich (m^3/s),

NSQ – najniższy przepływ ze średnich rocznych w wieloleciu (m^3/s),

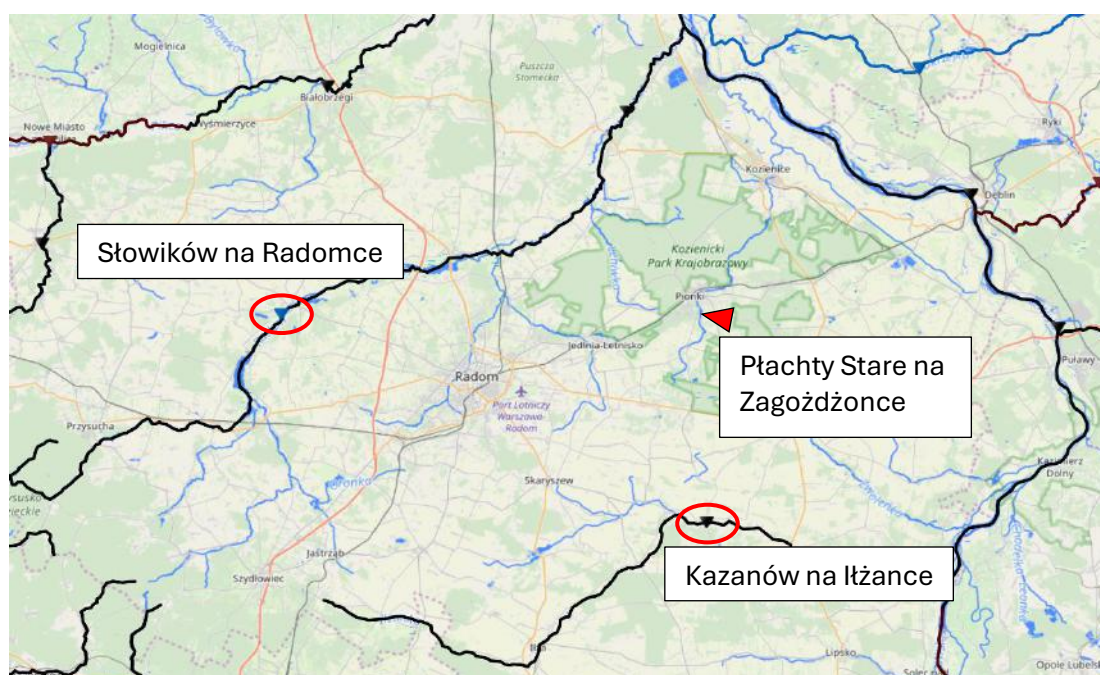
WNQ – najwyższy przepływ z minimów rocznych w wieloleciu (m^3/s).

W strefie stanów niskich wyróżnione są dodatkowo **stany poniżej minimum okresowego**. Warto zauważyć, iż stany te niekoniecznie związane są z najniższym przepływem w danym okresie, a mogą wynikać z obniżania się (erozji) dna koryta rzeki. Taka sytuacja zachodziła na warszawskim odcinku Wisły w końcu sierpnia 2025 roku, gdzie stany wody przyjmowały najniższe wartości w ponad 200-letniej historii obserwacji, natomiast przepływy były nadal powyżej najniższych przepływów historycznych ($H = 6$ cm na wodowskazie Warszawa-Bulwary dn. 28.08.2025 r. z przepływem $Q = 151$ m^3/s , przy $NNQ_{lato} = 113$ m^3/s w 1921 roku i przy $NNQ_{zima} = 108$ m^3/s w 1960 roku (fb: strona Zakładu Hydrologii WGSU UW – post/wpis z 28.08.2025).

Informacje podawane przez IMGW-PIB dają doskonałe rozeznanie ogólne o sytuacji hydrologicznej w kraju i regionie, jednakże z uwagi na uogólnienia, mogą być niewystarczająco precyzyjne w konkretnej małej zlewni, co jest ważne dla rolnika i jego doradcy. Z ilorazu powierzchni Polski (313 933 km^2) i podanej liczby 850 stacji hydrologicznych wynika, że jedna stacja zamyka zlewnię cząstkową o średniej wielkości 370 km^2 . Jeśli wziąć pod uwagę, iż nie

wszystkie z podanej liczby stacji są uwzględnione w publikowanych przez IMGW-PIB opracowaniach, a ponadto ich gęstość o obszarach krytycznych z uwagi na zagrożenia powodziowe (Karpaty i Sudety) jest znacznie większa aniżeli w pozostałej części kraju, to informacje hydrologiczne ze stacji hydrologicznych IMGW-PIB są jak na potrzeby rolników mocno zgeneralizowane. Ustalenie podstawowych charakterystyk hydrologicznych w małej zlewni może się odbywać po szczegółowych badaniach obejmujących także założenie posterunku hydrologicznego w interesującym nas przekroju rzecznym i przeprowadzeniu krótkookresowego (co najmniej 2- lub 3-letniego) monitoringu z serią pomiarową jednoczesnych przepływów na danym posterunku i na stacji IMGW-PIB, zamykającym zlewnię uznaną za podobną (analogiczną).

Do sprawdzenia przydatności przenoszenia **chwilowego przepływu** z najbliższych stacji IMGW-PIB do małej zlewni, bez uwzględniania różnic w charakterystykach zlewni, wykorzystano aktualnie pozyskane informacje o przepływach na trzech posterunkach pomiarowych na Zagożdżonce (z 30.08.2025), w tym na posterunku Płachty Stare zamykającym zlewnię o powierzchni 82,4 km² (rys. 8). Najbliższymi stacjami hydrologicznymi IMGW-PIB są Kazanów na Iłżance, oraz Słowików na Radomce, odległe od Płacht Starych w linii prostej odpowiednio o 19,4 km i 39,4 km.



Rys. 8. Lokalizacja stacji hydrologicznych IMGW-PIB w rejonie Równiny Radomskiej i posterunku badawczego SGGW w Płachtach Starych na Zagożdżonce (źródło: <https://hydro.imgw.pl/#/>)

Przelew pomiarowy w Czarnej-Młynie na Zagożdżonce oraz koryto Zagożdżonki poniżej przelewu w okresie niżówki w sierpnia 2025 przedstawiono na fot. 2.



Fot. 2. Przelew pomiarowy w Czarnej-Młynie na Zagożdżonce i koryto rzeki poniżej przelewu i posterunku badawczego SGGW w Płachtach Starych na Zagożdżonce (18.08.2025) (fot. K. Banasik)

Wartości przepływów chwilowych na posterunkach Zagożdżonki w Czarnej-Wygodzie, Czarnej-Młynie i Płachtach Starych w dn. 30.08.2025, a także na dwóch najbliższych stacjach IMGW-PIB, tj. w Słowikowie na Radomce i Kazanowie na Iłżance, wraz z powierzchniami zlewni, zestawiono w tabeli 3. Odpływy jednostkowe q , obliczono z zależności:

$$q = \frac{1000 Q}{A} \quad (7)$$

gdzie:

q - chwilowy odpływ jednostkowy ze zlewni (l/s/km²)

Q - przepływ chwilowy (m³/s),

A - powierzchnia zlewni (km²).

Tabela 3. Przepływy chwilowe – Q i chwilowe odpływy jednostkowe – q na trzech posterunkach zamykających małe zlewnie Zagożdżonki i na dwóch stacjach hydrologicznych IMGW-PIB

Posterunek/stacja hydrologiczna	Powierzchnia zlewni (km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	Sposób ustalenia przepływu
Czarna-Wygoda	9,3	0	0,00	wizja terenowa
Czarna-Młyn	23,4	0,0055	0,24	przelew pomiarowy
Płachty Stare	82,4	0,0481	0,58	związek przepływów z Czarną Młynem
Kazanów na Iłżance	861,3	0,35	0,41	www: HydroIMGW
Słowików na Radomce	1008,4	2,15	2,13	www: HydroIMGW

Zestawione w powyższej tabeli wartości chwilowych odpływów jednostkowych q wskazują na mniejsze różnice uzyskane między odpowiednimi wielkościami q z posterunków na Zagożdżonce i ze stacji hydrologicznej w Kazanowie na Iłżance, aniżeli ze stacji Słowików na Radomce. Wynika to zapewne z mniejszej odległości i mniejszej powierzchni zlewni z której przenoszono dane – a więc mniej zróżnicowanych czynników meteorologicznych, a także z faktu, iż stacja Słowików znajduje się poniżej zbiornika wodnego Domaniów (o pojemności ok. 11 mln. m³), mogącego znacząco wpływać na podwyższenie przepływu w okresach niżówkowych, do których z całą pewnością należy analizowany okres. Zróżnicowanie chwilowych odpływów w poszczególnych małych zlewniach Zagożdżonki spowodowane jest obniżeniem się poziomu wód gruntowych (w wyniku odpływu podziemnego i poboru wody

przez systemy korzeniowe roślin) w okresie trwającej suszy, które uwidacznia się najpierw w górnej części zlewni, gdzie koryto jest płytsze. Przedstawiony przykład wskazuje na potrzebę indywidualnej i szczegółowej analizy hydrologicznej dla ustalenia charakterystyk przepływowych w małych zlewniach oraz na znaczenie doboru zlewni analoga.

Lokalny monitoring hydrologiczny. Do określenia podstawowych charakterystyk hydrologicznych (jak zasoby, stany oraz przepływy średnie i ekstremalne, przepływy dyspozycyjne) w przekrojach cieków dotychczas niekontrolowanych zaleca się założenie krótkookresowego posterunku hydrologicznego. Założenie posterunku do monitoringu hydrologicznego, powinno obejmować:

1) instalację wodowskazu i elektronicznego czujnika rejestracji stanów (ew. z organizacją obserwacji) na stabilnym odcinku rzeki (nie ulegającym podpiętrzeniom i zmianom położenia dna) do ustalenia hydrogramu stanów wody,

2) wykonanie pomiarów hydrometrycznych przepływu przy całym zakresie zmienności stanów wody (12 pomiarów w ciągu roku) dla ustalenia krzywej natężenia przepływu (krzywej konsumpcyjnej) i współczynników redukcji przepływu w wyniku zarastania i zjawisk lodowych,

3) wykonanie w miarę jednoczesnych pomiarów przepływów na badanym posterunku i na stacji hydrologicznej zlewni analoga w celu ustalenia związku statystycznego:

$$Q = f(Q_A) \quad (8)$$

gdzie:

Q - przepływ chwilowy na badanym posterunku (zamykającym małą zlewnię),

Q_A - przepływ chwilowy na stacji hydrologicznej (zamykającej zlewnię analoga).

Związek podany w równaniu (8) ustalany jest zwykle w postaci krzywej potęgowej lub linii łamanej – ze pomocą dwóch prostych.

Zarejestrowany hydrogram stanów i ustalona krzywa natężenia przepływu (uzyskane wg opisu w pkt. 1) i 2) powyżej), są podstawą do ustalenia przepływów charakterystycznych (głównych I stopnia, dla roku, miesięcy i innych przedziałów czasowych) w okresie badań. Związek przepływów na posterunku badanym i na stacji hydrologicznej analoga (podany w pkt. 3), wraz z codziennymi przepływami z tej stacji, umożliwia weryfikację poprawności ustalonego związku i zastosowanie go do ustalenia odpowiednich przepływów charakterystycznych dla wielolecia (przepływów głównych II stopnia dla roku, miesięcy, pór roku, okresów rozwoju roślin, itp.). Możliwe jest zastosowanie tylko procedury podanej w punkcie 3), z pominięciem działań opisanych w 1) i 2) co zmniejszy koszty i może nieco skrócić czas opracowania, jednakże z ryzykiem dokładności oceny.

Do ważniejszych przepływów charakterystycznych należą:

- WQ - najwyższy przepływ roczny;
- SQ - przepływ średni roczny;
- NQ - najniższy przepływ roczny;
- WWQ - najwyższy przepływ z wielolecia;
- SWQ - średnia z najwyższych przepływów rocznych;
- SSQ - średnia z przepływów średnich rocznych;
- SNQ - średnia z najniższych przepływów rocznych;
- NNQ - najniższy przepływ z wielolecia.

Trzy pierwsze należą do grupy przepływów głównych I (pierwszego) stopnia, a pozostałe do przepływów głównych II stopnia.

1.4. Pobór wody z rzeki do celów rolniczych (przepływ dyspozycyjny)

Kluczowym aspektem dla rolników jest limit ilości wody, jaką mogą pobrać w ramach zwykłego korzystania z wód. Zgodnie z przepisami rolnik w okresie wegetacji roślin może pobierać, z wód stanowiących jego własność oraz z wód podziemnych znajdujących się w jego gruncie, średnio na dobę nie więcej niż 5 m³ wody na potrzeby gospodarstwa (Prawo wodne, Art. 33). Wielkość 5 m³/dobę odpowiada warstwie 0,5 mm wody na powierzchni 1 ha w ciągu doby, co w okresie trzech miesięcy wegetacyjnych (np. czerwiec-sierpień) daje ok. 45 mm przy nawadnianiu powierzchni jednego hektara. To zwykle dużo mniej niż potrzebuje większość upraw do optymalnego rozwoju nawet w roku przeciętnym w naszym klimacie. Przy poborze większym niż 5 m³ na dobę niezbędne jest uzyskanie pozwolenia wodno-prawnego.

Określenie możliwej do pobrania ilości wody z rzeki (przepływu dyspozycyjnego) jest potrzebne, poza kwestią formalną związaną z wnioskiem o pozwolenie wodno-prawne, do porównania z potrzebami użytkownika, co jest nazywane bilansem wodnogospodarczym (**BWG**). Przepływ dyspozycyjny, w przypadku braku zakłóceń w przepływie (poborów i zrzutów) wody powyżej rozpatrywanego przekroju wyznaczany jest ze wzoru:

$$Q_D = Q_o - Q_n \quad (9)$$

gdzie:

Q_D - przepływ dyspozycyjny (m³/s),

Q_o - przepływ obliczeniowy - zmienny w czasie, ustalany dla poszczególnych okresów średnio suchych (m³/s),

Q_n - przepływ nienaruszalny (m³/s).

Przepływ nienaruszalny, będący jednym z ważnych składników bilansu wodnogospodarczego, jest określany jako ilość wody, która powinna być pozostawiona w danym przekroju cieku ze względów biologicznych, ekologicznych i społecznych. Konieczność zachowania tego przepływu nie powinna podlegać ocenom ekonomicznym. W sytuacji braku jednoznacznego kryterium, za przepływ nienaruszalny proponuje się przyjmować wartość największą z czterech wartości określonych wg kryteriów:

- hydrobiologicznego, określającego przepływ minimalny dla zachowania życia w środowisku wodnym flory i fauny (Q_h),
- ochrony środowiska, określającego minimalny przepływ zapewniający zachowanie równowagi stanów wód powierzchniowych i podziemnych w obrębie parków narodowych, rezerwatów przyrody i stref chronionego krajobrazu (Q_p),
- rybacko-wędkarskiego, określającego przepływ minimalny umożliwiający rozwój ryb (Q_r),
- sportu i turystyki wodnej, określającego minimalne stany wód i odpowiadające im przepływy umożliwiające turystykę wodną (Q_t),

W małych ciekach wartość liczbową przepływu nienaruszalnego przyjmuje się zwykle jako równą przepływowi średniemu z minimów rocznych w wieloleciu (SNQ).

Przepływy obliczeniowe (miarodajne), w poszczególnych okresach ustalania przepływu dyspozycyjnego i sporządzania BWG dla celów rolniczych, przyjmuje się jako odpowiadające przepływowi tego okresu w roku średnio suchym (czyli odpowiadające centylowi 25%).

Wyznaczenie tych dwóch charakterystyk w małych zlewniach rolniczych – nie objętych monitoringiem IMGW-PIB, tj. zmiennego w czasie przepływu w roku czy w okresach (miesiącach, dekadach) średnio suchych, jak i wyznaczenia przepływu nienaruszalnego (zastępowanego ostatnio zmiennym w czasie przepływem środowiskowym) wymaga bardzo szczegółowych analiz, możliwych do przeprowadzenia przez wyspecjalizowanych hydrologów, a także zespoły badawcze uczelni przyrodniczo-rolniczych i ITP-PIB.

Wielkością hydrologiczną używaną najczęściej do scharakteryzowania zasobności wodnej w danym przekroju rzeki jest przepływ średni z wielolecia (średnia z przepływów średnich rocznych) - SSQ , wyznaczany do orientacyjnego rozeznania ze wzoru (4), bądź też przy wykorzystaniu dostępnych map średniego dla wielolecia odpływu jednostkowego i przekształconego wzoru (7) do postaci:

$$SSQ = \frac{SSq \cdot A}{1000} \quad (10)$$

gdzie:

SSQ - średni wieloletni przepływ (m^3/s),

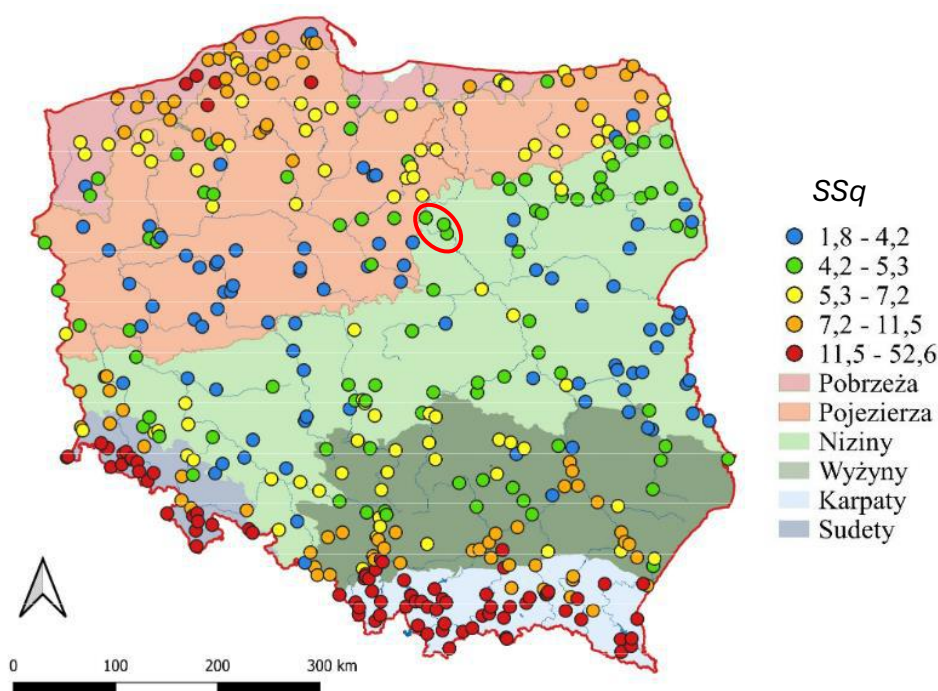
SSq - średni wieloletni odpływ jednostkowy ze zlewni (l/s/km^2),

A - powierzchnia zlewni (km^2).

Oczywistym z definicji jest fakt, iż przepływ średni w roku średnio suchym (odpowiadający centylowi 25%) – $SQ_{25\%}$ będzie miał niższą wartość od SSQ , natomiast przepływy w okresie wegetacyjnym (w miesiącach letnich), w naszym klimacie będą jeszcze niższe. Zależności te są do ustalenia dla stacji hydrologicznych monitorowanych przez IMGW-PIB, zamykających zlewnie rzeczne o większej powierzchni.

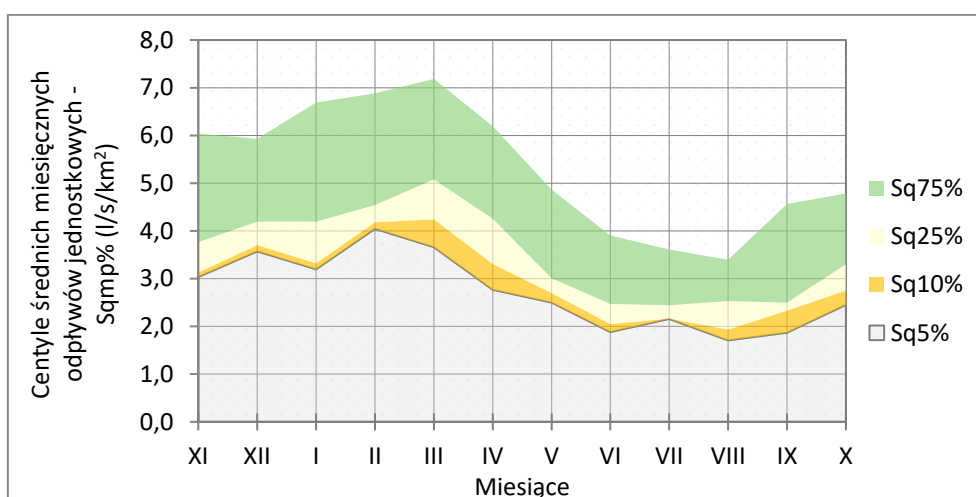
W podanym dalej przykładzie wyznaczania przepływu dyspozycyjnego wykorzystane będą dane małej nieurbanizowanej (rolniczej) zlewni badawczej ITP-PIB rzeki Mławka, w której SSQ dla okresu 1991-2020 wynosi $0,302 \text{ m}^3/\text{s}$ (KOLASIŃSKA i in. 2023). Do oceny zastosowania metody pośredniej tej charakterystyki przedstawiono na rysunku 9 mapę przestrzennego rozkładu wartości SSq wg BARAN-GURGUL i in. (2022) z zaznaczeniem, czerwoną elipsą, trzech najbliższych tej zlewni badawczej ITP-PIB, stacji hydrologicznych IMGW-PIB w tym stacji Szreńsk na Mławce.

Przyjmując wartość $SSq = 4,75 \text{ l/s/km}^2$, co przy powierzchni zlewni Mławki po profil Mławka VI, $A=66,2 \text{ km}^2$ pozwala wyznaczyć ze wzoru (10) przepływ średni z wielolecia $SSQ=0,313 \text{ m}^3/\text{s}$. Wartość ta jest bardzo zbliżona do wyznaczonej z pomiarów wartości $SSQ=0,302 \text{ l/s/km}^2$ dla wielolecia 1991-2020 (KOLASIŃSKA i in. 2023). Do dalszych obliczeń prowadzących do wyznaczenia przepływów dyspozycyjnych w czterech miesiącach sezonu wegetacyjnego wykorzystane będą dane z pomiarów dla podanego wielolecia.



Rys. 9. Przestrzenny rozkład średniego rocznego odpływu jednostkowego - SSq (l/s/km²) w wieloleciu 1991-2020 na obszarze Polski na tle regionów fizyczno-geograficznych (źródło: BARAN-GARGUL, KOŁODZIEJCZYK, RUTKOWSKA 2022, zmodyfikowany)

Rozkłady odpływów jednostkowych miesięcznych w ciągu roku odpowiadających centylom 75%, 25%, 10% i 5% ustalone na podstawie przepływów dobowych z okresu 1991-2020 rzeki Mławki w profilu Mławka VI przedstawiono na rysunku 10. Wstęga zielona określa zakres odpływów jednostkowych miesięcy przeciętnie wilgotnych (między centylami 25% i 75%), żółta - miesiące średnio suchych i suchych, pomarańczowa - miesiące bardzo suchych.



Rys. 10. Rozkład odpływów jednostkowych miesięcznych w ciągu roku odpowiadających centylom 75%, 25%, 10% i 5%, ustalony na podstawie przepływów dobowych z okresu 1991-2020 rzeki Mławka w profilu Mławka VI (źródło: BANASIK, KIERASIŃSKI, KLASICKA. 2024)

Wartości liczbowe przepływów średnich miesięcznych od maja do sierpnia - SSQ_m i rocznych – SSQ , średnich miesięcznych i rocznych odpowiadających centylowi 25% (nieosiągniętych średnio raz na cztery lata) – $SQ25_m$ i $SQ25$ oraz odpowiadające im odpływy jednostkowe zestawiona w czterech pierwszych wierszach tabeli 4.

Tabela 4. Przepływy średnie miesięczne z wielolecia 1991-2020 w okresie wegetacji od maja do sierpnia - SSQ_m i roczne (SSQ), miesięczne i roczne przepływy przyjęte dla roku średnio suchego, odpowiadające centylowi 25% - $SQ25_m$, odpowiadające im odpływy jednostkowe SSq_m i $Sq25_m$ oraz względne udziały tych przepływów w przepływie średnim z wielolecia SSQ rzeki Mławka w profilu Mławka VI

Charakterystyka	Jednostka	Miesiące				Rok
		V	VI	VII	VIII	
SSQ_m	m ³ /s	0,276	0,237	0,204	0,193	0,302
$SQ25_m$	m ³ /s	0,199	0,164	0,162	0,168	0,233
SSq_m	l/s/km ²	4,17	3,58	3,08	2,92	4,57
$Sq25_m$	l/s/km ³	3,01	2,47	2,44	2,53	3,52
SSQ_m/SSQ	-	0,913	0,783	0,675	0,639	1,000
$SQ25_m/SSQ$	-	0,659	0,541	0,535	0,554	0,771

Przyjmując do wyznaczenia przepływu dyspozycyjnego dla maja przepływ obliczeniowy (miarodajny dla BWG) $SQ25_V=0,199$ m³/s, dla czerwca $SQ25_{VI}=0,164$ m³/s, itd., należy mieć na uwadze, iż średnio raz na cztery lata przepływ rzeczywisty będzie mniejszy w rozpatrywanych okresach niż tu podany. W badanej zlewni przepływ średni w roku średnio suchym stanowił 77,1% przepływu SSQ z wielolecia 1991-2020, natomiast odpowiednie przepływy miesięczne, od maja do sierpnia rozpatrywane indywidualnie jako średnio suche, stanowiły od ok. 53% do 66% SSQ .

Drugi element równania (9), przepływ nienaruszalny przyjęto jako $SNQ=0,104$ m³/s, z 30-letniego monitoringu stanów i przepływów (1991-2020) w badanej zlewni ze wzoru:

$$SNQ = \frac{\sum_{i=1}^N NQ_i}{N} \quad (11)$$

gdzie:

SNQ - średni niski przepływ z wielolecia (m³/s)

NQ_i - najniższy przepływ w roku i ; tu dla $i=1, 2, \dots, 30$ (m³/s)

N - liczba lat (-).

Odpowiednie wartości SNQ wyznaczone dla Mławki dwiema metodami pośrednimi wynoszą 0,048 m³/s, przy zastosowaniu formuły regionalnej i 0,079 m³/s przy wykorzystaniu mapy Stachy z Atlasu hydrologicznego Polski (KOLASIŃSKA i in. 2023). Wyznaczanie przepływu SNQ na obszarze kraju metodą pośrednią omawiane jest w dalszych rozdziałach opracowania autorstwa E. Kacy.

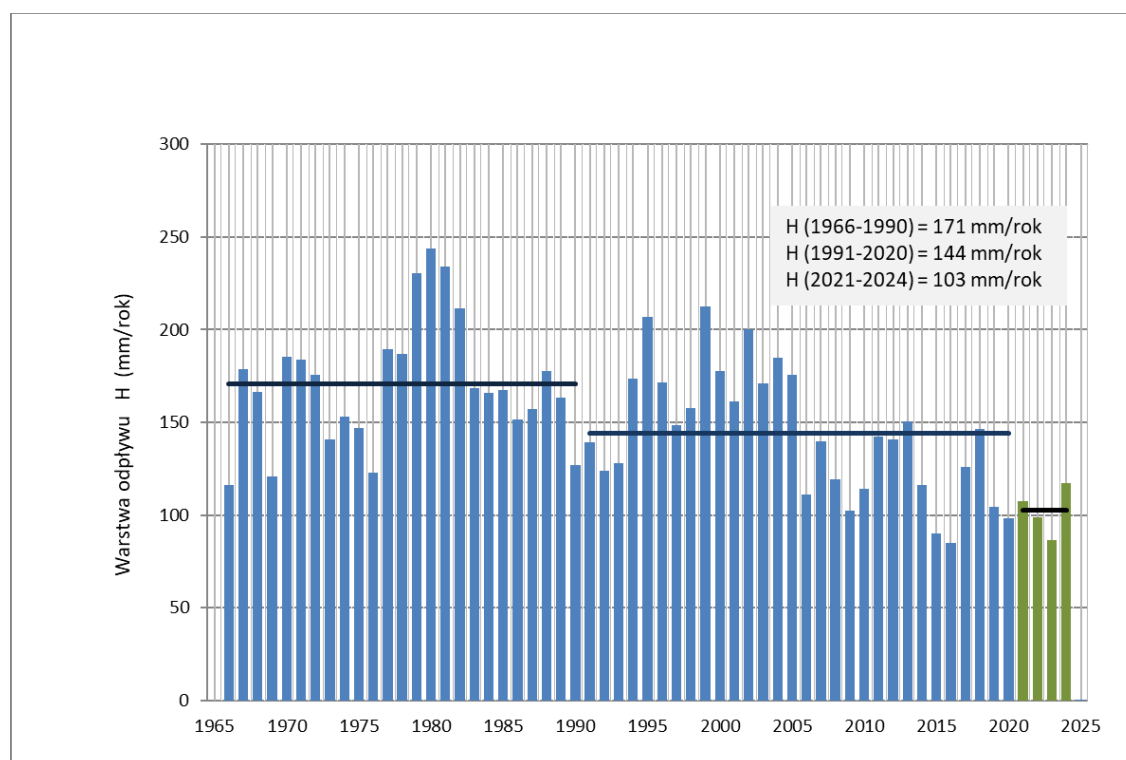
Miesięczne wartości prowadzące do wyznaczenia przepływu dyspozycyjnego wg wzoru (9) zestawiono w tabeli 5.

Z przedstawionej uproszczonej analizy wynika, iż przepływ dyspozycyjny w okresach miesięcznych średnio suchych wynosi odpowiednio: 0,095; 0,069; 0,058 i 0,063 m³/s w maju, czerwcu, lipcu i sierpniu. Przyjęty przepływ nienaruszalny jako $SNQ=0,104$ m³/s jest większy od wyznaczonych metodami pośrednimi, co jest gwarancją bezpiecznego poboru wody.

Tabela 5. Średnie miesięczne przepływy dyspozycyjne dla okresu maj-sierpień wraz z przepływem obliczeniowym (okresów średnio suchych) i przepływem nienaruszalnym dla Mławki w profilu Mławka VI

Charakterystyka	Jednostka	Miesiące			
		V	VI	VII	VIII
$Q_o = SQ25_m$	m ³ /s	0,199	0,164	0,162	0,168
$Q_n = SNQ$	m ³ /s	0,104	0,104	0,104	0,104
Q_D	m ³ /s	0,095	0,060	0,058	0,063

Elementem tu nie rozpatrywanym a istotnym z uwagi na zmiany klimatu jest zmniejszanie się zasobów odnawialnych, których wskaźnikiem jest roczny przepływ średni i roczna warstwa odpływu. Jest to szczególnie zauważalne w małych zlewniach, co przedstawiono, bez dalszej analizy, dla Mławki w profilu Mławka VI na rysunku 11, a dotyczy także przepływów obliczeniowych (miarodajnych) do wyznaczania przepływu dyspozycyjnego i dla sporządzania BWG.



Rys. 11. Roczne warstwy odpływu ze zlewni Mławki po profil Mławka VI w okresie 1966-2024 i średnie roczne warstwy odpływu w wieloleciach 1966-1990, 1991-2020 i 2021-2024

(źródło: BANASIK, KIERASIŃSKI, KLASICKA. 2024)

LITERATURA:

Alert wodny nr 5, 2023. Woda i rolnictwo - problem nie tylko rolników <https://hub.oees.pl/wp-content/uploads/2023/08/Alert-WODNY-5-2.pdf> (dostęp 31.08.2025).

TOMCZYK A. M, BEDNORZ E. (red.), 2022. Atlas klimatu Polski (1991–2020). Bogucki Wydaw. Naukowe, Poznań. <file:Downloads/atlas-klimatu-polski-1991-2020-2.pdf> (dostęp 31.08.2025).

- BANASIK K., KAZNOWSKA E., LETKIEWICZ B., WASILEWICZ M., 2022. Analiza wybranych charakterystyk hydrologicznych dwóch małych zlewni nizinnych. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumietus*, 21(1): 33–47, <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2022.21.1.33>.
- BANASIK K., KIERASIŃSKI B., KLASICKA E., 2024. Ocena zmienności zasobów wodnych w małej zlewni rolniczej w ciągu roku na podstawie wyników badań własnych na obiekcie Instytutu (ITP-PIB). Raport wewnętrzny z badań, ITP-PIB.
- BARAN-GURGUL K., KOŁODZIEJCZYK K., RUTKOWSKA A. 2022. Czasowa i przestrzenna zmienność średniego rocznego przepływu w Polsce – ujęcie regionalne. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, z. 45 2022 (<https://shp.org.pl/wp-content/uploads/2022/12/1-Baran-Gurgul-i-in.pdf>).
- BYCZKOWSKI A., 1999. Hydrologia, Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- IMGW-PIB, 2024. Klimat Polski 2020. <https://imgw.pl/wp-content/uploads/2024/11/imgw-pib-klimat-polski-2020-opracowanie-final-rozkladowki-min.pdf> (dostęp 31.08.2025).
- EDWARDS P.J., WILLIARD K.W.J., JON E. SCHOONOVER J.E., 2015. Fundamentals of watershed hydrology. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2015.03185.x> (dostęp 31.08.2025).
- HYDRO IMGW-PIB, 2025. <https://hydro.imgw.pl/#/> (dostęp 31.08.2025).
- IMGW-PIB, 2025. Rocznik Hydrologiczny 2024 (https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/Roczniki/Rocznik%20hydrologiczny/Rocznik%20Hydrologiczny%202024.pdf)
- IMGW-PIB, 2025. Słownik dla mediów - najważniejsze pojęcia i zwroty w hydrologii. https://imgw.pl/wp-content/uploads/2024/10/slownik-dla-mediow_chok.pdf (dostęp 31.08.2025).
- KOLASIŃSKA K., KIERASIŃSKI B., KARPIŃSKA K., SZYMCAK T., BANASIK K., 2023. Long-term variability of runoff from a small agricultural catchment of the North Masovian Lowland. *Journal of Water and Land Development*, No 58: 212-219, DOI: 10.24425/jwld.2023.
- Nauka 2021, Gospodarowanie wodą - wyzwania dla Polski, Nauka1/2021: 79-102. DOI: 10.24425/nauka.2021.136305 (dostęp 31.08.2025).
- SOMOROWSKA U., 1993. Symulacja wezbrań opadowych w naturalnych zlewniach rzecznych. Praca doktorska. Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych.
- WILK P., ORLIŃSKA-WOŹNIAK P., 2024. Monitoring ilościowy i jakościowy wód powierzchniowych - razem czy osobno? *Gospodarka Wodna* 2/2024: 14-17. DOI: 10.15199/22.2024.2.2 (dostęp 31.08.2025).

2. Zasoby wód podziemnych w skali pierwszego poziomu wodonośnego, ich monitoring i prognozowanie (hydrogeologia, prawo wodne, źródła danych i ich interpretacja) (B. Kierasiński)

Rozdział „Zasoby ..” przedstawia zagadnienia związane z wykorzystywaniem na potrzeby rolnictwa wód podziemnych występujących w pierwszym poziomie wodonośnym. Przytoczono w nim podstawy prawne obejmujące definicje warstwy wodonośnej, wód podziemnych oraz ich dostępnych zasobów, zgodnie z ustawą *Prawo wodne*. Podano podstawowe klasyfikacje wód podziemnych oraz obowiązki i korzyści wynikające z prawa do zwykłego korzystania z wód.

Opisano metody wyznaczania wydajności studni, bazujące na podstawowych wzorach empirycznych dla studni dogłębionej oraz niedogłębionej oraz na danych hydrogeologicznych z ogólnodostępnych map i baz danych. Opisano źródła danych do obliczeń wydajności studni, instrukcję korzystania z portali udostępnianych przez IGP-PIB oraz instrukcje korzystania z docelowych map oraz baz danych. Przytoczono również przykład obliczeń wydajności studni dla wybranej i dokładnie określonej lokalizacji studni.

2.1. Podstawy prawne korzystania z zasobów wód podziemnych

Zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2017 r. *Prawo wodne*, przez:

- 1) **wody podziemne**, rozumie się wszystkie wody znajdujące się pod powierzchnią ziemi w strefie nasycenia, w tym wody gruntowe pozostające w bezpośredniej styczności z gruntem lub podglebiem;
- 2) **dostępne zasoby wód podziemnych**, rozumie się zasoby wód podziemnych stanowiące średnią roczną z wielolecia wielkość całkowitego zasilania wód podziemnych określonej jednolitej części wód podziemnych pomniejszoną o wielkość średnią z wielolecia przepływu wód wymaganego dla osiągnięcia celów środowiskowych dla jednolitych części wód powierzchniowych związanych z określoną jednolitą częścią wód podziemnych, tak aby nie dopuścić do:
 - a) znacznego pogorszenia stanu ekologicznego tych jednolitych części wód powierzchniowych,
 - b) powstania szkód w ekosystemach lądowych zależnych od wód podziemnych;
- 3) **warstwę wodonośną**, rozumie się warstwowane lub niewarstwowane utwory skalne przepuszczalne i nasycone wodą, wykazujące wystarczającą porowatość i przepuszczalność umożliwiającą znaczący przepływ wód podziemnych lub pobór znaczących ilości wód podziemnych.

Zgodnie z Art. 33 Ustawy *Prawo wodne*, właścicielowi gruntu przysługuje prawo do zwykłego korzystania z wód stanowiących jego własność oraz z wód podziemnych znajdujących się w jego gruncie. Zwykłe korzystanie z wód obejmuje pobór wód podziemnych lub wód powierzchniowych w ilości średniorocznie nieprzekraczającej 5 m³ na dobę.

Zgodnie z Art. 36 ww. Ustawy, podmiot korzystający z usług wodnych dokonujący poboru wód powierzchniowych lub podziemnych w ramach usług wodnych jest obowiązany do stosowania przyrządów pomiarowych umożliwiających pomiar ilości pobranych wód.

Bardziej szczegółowa definicja określa, iż zasoby wód podziemnych jest to ilość wód podziemnych traktowanych jako surowiec, wyrażona najczęściej w jednostkach objętościowych na jednostkę czasu, zawarta w zbiorniku wód podziemnych, zlewni wód podziemnych lub innej jednostce hydrogeologicznej. Zasoby wód podziemnych można podzielić wg ich dynamiki na zasoby odnawialne (dynamiczne) oraz zasoby statyczne. Innym kryterium jest rodzaj i zakres rozpoznania wód podziemnych, umożliwiający ich podział na dyspozycyjne i eksploatacyjne.

2.2. Metody wyznaczania wydajności studni

Z punktu widzenia rolnictwa i wykorzystywania wód podziemnych do nawodnień, to właśnie zasoby odnawialne (dynamiczne) oraz eksploatacyjne są tymi zasobami wód podziemnych, których wydajność jest najbardziej istotna. Bezpośrednie metody wyznaczania wielkości zasobów odnawialnych (dynamicznych) oraz eksploatacyjnych bazują często na określeniu wydajności studni (dopływu do studni) wykonanej w określonej lokalizacji.

Dane dotyczące wydajności potencjalnej studni wierconej [m³/h] dla obszaru Polski udostępnia nieodpłatnie Państwowy Instytut Geologiczny PIB w postaci mapy Głównego Użytkowego Poziomu Wodonośnego.

Dodatkowym, cennym źródłem informacji może być wydajność studni obliczana ze wzorów empirycznych. Do wzorów tych należą m.in. wzór (12) na wydajność studni dogłębionej (nawierconej do spągu warstwy wodonośnej, o zwierciadle swobodnym) oraz wzór (13) na zależność między wydajnością studni niedogłębionej a wydajnością studni dogłębionej. Oba wzory bazują na hydrogeologicznych danych pomiarowych, danych z mapy Pierwszego Poziomu Wodonośnego oraz informacji z bazy danych CBDG Otwory wiertnicze, również udostępnianych przez PIG-PIB.

Wzór na wydajność studni dogłębionej:

$$Q_0 = \pi k \frac{H_R^2 - H_0^2}{\ln\left(\frac{R}{r_0}\right)} \quad (12)$$

gdzie:

Q_0 – wydajność studni dogłębionej, m³/h;

k – współczynnik filtracji, m/h (wg danych z tabeli 6);

H_R – miąższość pierwszego poziomu wodonośnego pomniejszona o głębokość do swobodnego zwierciadła w gruncie (poza lejem depresji), m;

H_0 – głębokość wody w studni dogłębionej (do spągu pierwszego poziomu wodonośnego), m;

r_0 – promień studni, m;

R – promień leja depresji, m;

$$R = 575 S_0 \sqrt{kH}$$

S_0 – depresja studni, m;

k – współczynnik filtracji, m/s (wg danych z tabeli 6);

H – miąższość pierwszego poziomu wodonośnego, m.

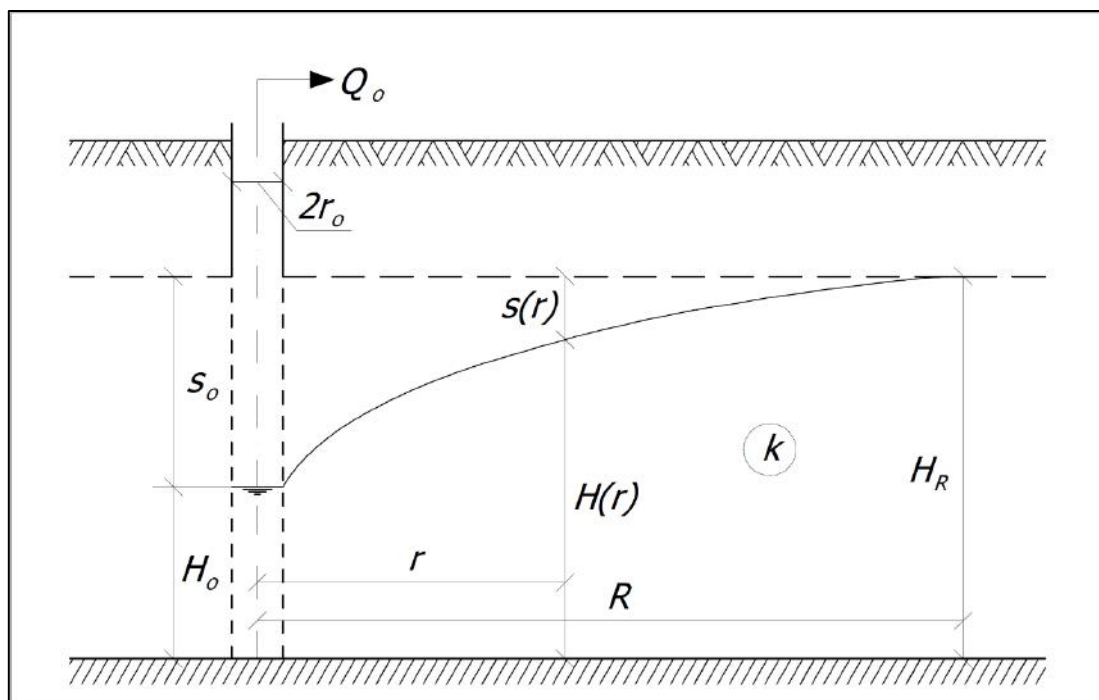
$$H_0 = H_R - S_0$$

Schemat dopływu do studni dogłębionej w warstwie o zwierciadle swobodnym przedstawiono na rysunku 12.

Orientacyjne wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej (k) w zależności od rodzaju gruntu i w różnych jednostkach zostały zestawione w tabeli 6.

Tabela 6. Orientacyjne wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej (k) (oprac. B. Kierasiński na podstawie PAZDRO (1983))

Rodzaj gruntu	Współczynnik filtracji (k)					
	m/d		m/h		m/s	
	min	max	min	max	min	max
Żwir, gruboziarnisty piasek	10	50	0,4167	2,0833	$1,16 \cdot 10^{-4}$	$5,79 \cdot 10^{-4}$
Piasek średni	1	5	0,0417	0,2083	$1,16 \cdot 10^{-5}$	$5,79 \cdot 10^{-5}$
Ił piaszczysty, drobny piasek	1	3	0,0417	0,1250	$1,16 \cdot 10^{-5}$	$3,47 \cdot 10^{-5}$
Ił, glina ilasta, glina (o dobrej strukturze)	0,5	2	0,0208	0,0833	$5,79 \cdot 10^{-6}$	$2,31 \cdot 10^{-5}$
Bardzo drobny piaszczysty ił	0,2	0,5	0,0083	0,0208	$2,31 \cdot 10^{-6}$	$5,79 \cdot 10^{-6}$



Rys. 12. Schemat dopływu do studni dogłębionej w warstwie o zwierciadle swobodnym
(oprac. B. Kierasiński na podstawie: KOWALSKI (1998))

Wzór na zależność między wydajnością studni niedogłębionej a wydajnością studni dogłębionej:

$$Q_w = Q_0 \cdot b(13)$$

gdzie:

Q_w – wydajność studni niedogłębionej, m³/h;

Q_0 – wydajność studni dogłębionej, m³/h;

b – poprawka Forchheimera (zgodnie z tabelą 7),

$$b = \left(\frac{L}{h}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{2h - L}{h}\right)^{0,25}$$

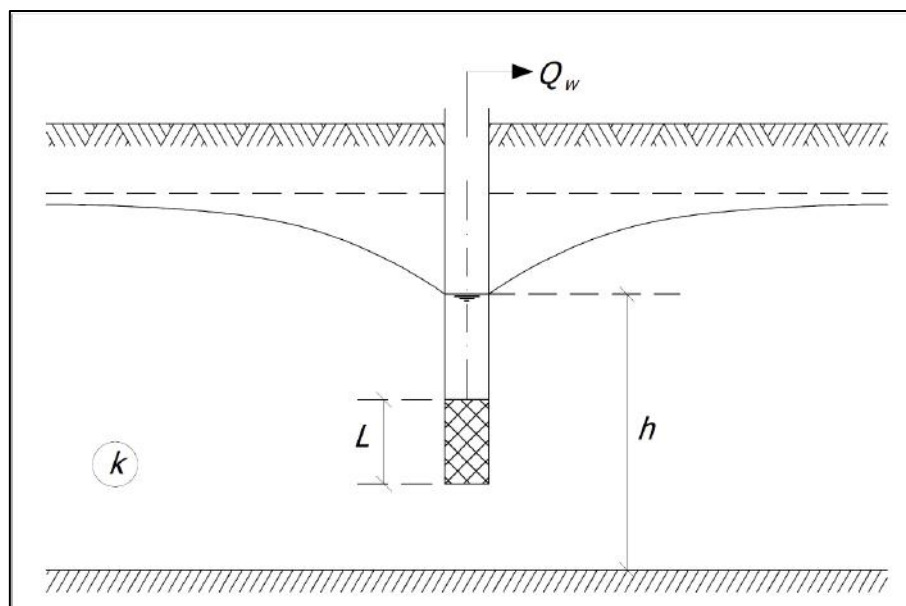
L – długość robocza filtra, tzn. długość tego odcinka, który przepuszcza przez siebie wodę do wnętrza studni, m;

h – odległość od poziomego obniżonego zwierciadła wody w studni niedogłębionej do spągu Pierwszego Poziomu Wodonośnego, m.

Schemat dopływu do studni niedogłębionej w warstwie o zwierciadle swobodnym został przedstawiony na rysunku 13. Przykładowe wartości poprawki Forchheimera b w zależności od wartości (h/L) zestawione zostały w tabeli 7.

Tabela 7. Wartość poprawki Forchheimera b wg PAZDRO (1983)

h/L	b	h/L	b	h/L	b
1,5	0,87	4,0	0,58	8,0	0,41
2,0	0,78	4,5	0,54	9,0	0,39
2,5	0,71	5,0	0,52	10,0	0,37
3,0	0,65	6,0	0,48		
3,5	0,61	7,0	0,44		



Rys. 13. Schemat dopływu wody do studni niedogłębionej w warstwie o zwierciadle swobodnym
(oprac. B. Kierasiński na podstawie PAZDRO (1983))

2.3. Źródła danych do obliczeń wydajności studni

Wszystkie źródła danych do obliczeń wydajności studni, przedstawione w poniższym podrozdziale, należą do danych bezpłatnych i ogólnodostępnych, których udostępnianiem zajmuje się Państwowy Instytut Geologiczny PIB. W trakcie korzystania z ww. źródeł wyzwaniem może być znalezienie konkretnych map i danych w portalu geologia.pgi.gov.pl oraz w portalu otworywiertnicze.pgi.gov.pl, gdyż w przypadku nowych użytkowników jest to często zadaniem trudnym i czasochłonnym. Kolejnym wyzwaniem jest umiejętność prawidłowego odczytywania i analizowania informacji z konkretnych map i baz danych. W poniższym podrozdziale opisano instrukcję poruszania się po ww. portalach i odnajdywania konkretnych map i danych łącznie ze wskazówkami co do ich odczytywania i analizowania informacji.

2.3.1. Mapa Hydrogeologiczna Polski 1:50 000 – Główny Użytkowy Poziom Wodonośny (MHP-GUPW)

MHP-GUPW to kartograficzne odwzorowanie warunków występowania **użytkowych poziomów zwykłych wód podziemnych**, z szerszą interpretacją **głównego poziomu wodonośnego** (jego charakterystyki jakościowej, ilościowej oraz zagrożeń zasobów wód podziemnych) będącego **najważniejszym źródłem zaopatrzenia w wodę**. Mapa dostarcza czytelnej i wystarczającej informacji o zwykłych wodach podziemnych w zakresie niezbędnym do podejmowania decyzji na szczeblu samorządów terytorialnych, administracji regionalnej oraz w programowaniu badań hydrogeologicznych i działań obejmujących zagospodarowanie przestrzenne.

Identyfikacja Głównego Użytkowego Poziomu Wodonośnego (**GUPW**) oraz jego charakterystyka prezentowana jest na planszy głównej w zakresie m.in.: zasięgu występowania **GUPW**, **wydajności potencjalnej studni wierconej**, jakości wód podziemnych, stopnia zagrożenia zanieczyszczeniami z powierzchni terenu.

Mapa dostępna jest do nieodpłatnego użytkowania za pośrednictwem portalu geologia.pgi.gov.pl - opracowanego przez Państwowy Instytut Geologiczny (PIG - PIB).

2.3.2. Mapa Hydrogeologiczna Polski 1: 50 000 – Pierwszy Poziom Wodonośny – – Występowanie i Hydrodynamika (MHP PPW-WH)

MHP PPW-WH obejmuje wybrane elementy charakterystyki hydrogeologicznej **pierwszej od powierzchni terenu warstwy wodonośnej** lub zespołu warstw wodonośnych, wykazujących dobrą łączność hydrauliczną, osiągających łączną miąższość co najmniej 2 m przy średnim stanie retencji wód podziemnych.

Charakterystyka hydrogeologiczna obejmuje w szczególności elementy istotne dla ustalenia związków hydraulicznych pierwszego poziomu wodonośnego z wodami powierzchniowymi, ekosystemami zależnymi od wód podziemnych oraz obiektami zagospodarowania powierzchni terenu.

Identyfikacja Pierwszego Poziomu Wodonośnego (**PPW**) i jego charakterystyka prezentowana jest na mapie zbiorczej w zakresie m.in.: rodzaju i stratygrafii **PPW**, podziału na jednostki hydrodynamiczno-geomorfologiczne, hydrodynamiki wraz z charakterystyką zwierciadła wód podziemnych, **głębokości występowania PPW**, obszarów objętych zasięgiem znaczącego obniżenia bądź podniesienia zwierciadła **PPW** w wyniku działań antropogenicznych, związku hydraulicznego wód podziemnych z powierzchniowymi.

Mapa dostępna jest do nieodpłatnego użytkowania za pośrednictwem portalu geologia.pgi.gov.pl (opracowanego przez PGI - PIB).

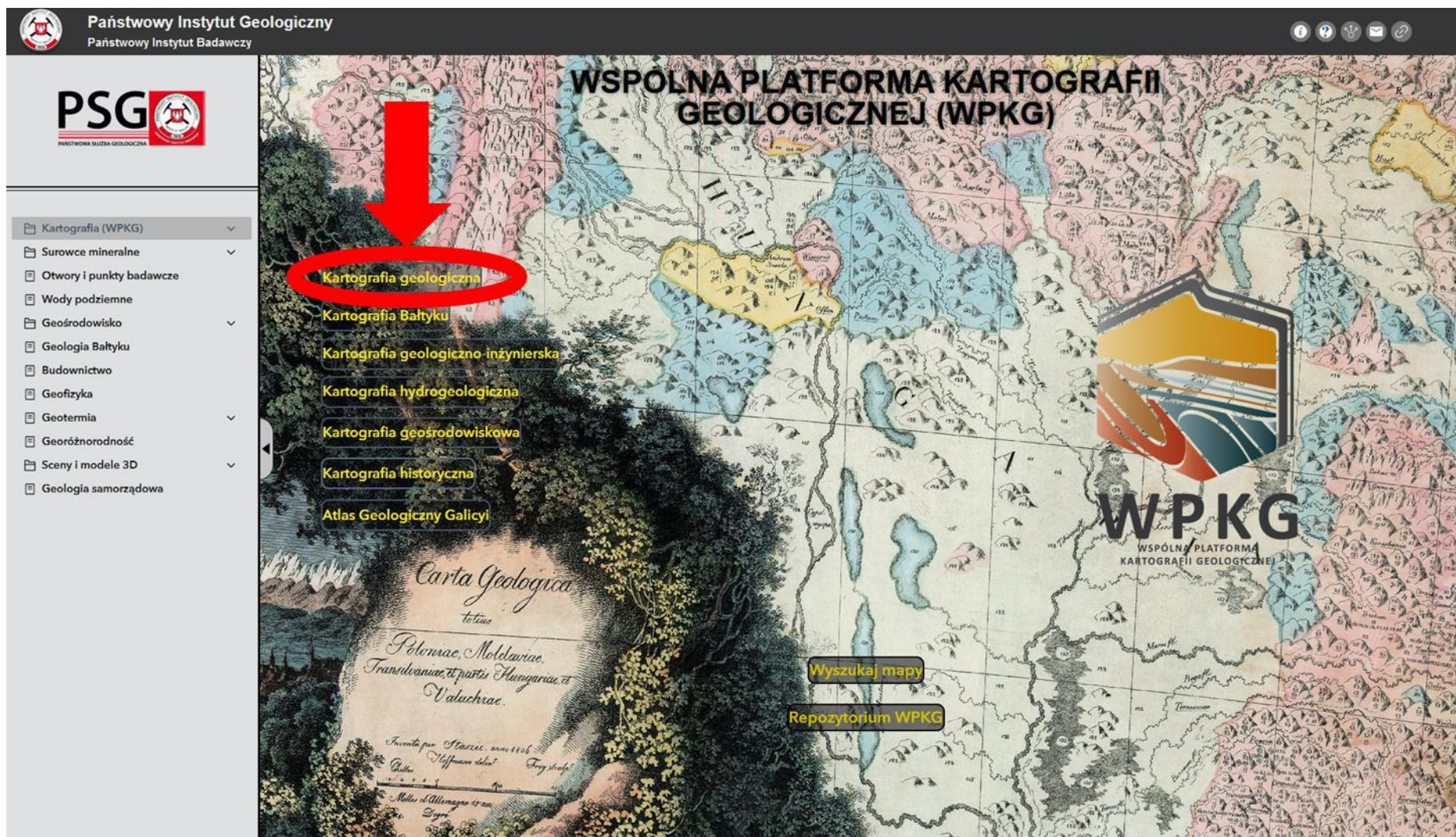
2.3.3. Centralna Baza Danych Geologicznych Otwory wiertnicze – CBDG Otwory Wiertnicze

CBDG Otwory wiertnicze jest podsystemem **Centralnej Bazy Danych Geologicznych** zawierającym informacje o wierceniach wykonywanych w Polsce od końca XIX wieku do chwili obecnej. Informacje o otworach wiertniczych i prowadzonych w nich badaniach udostępniane są na kilka sposobów, m.in. za pomocą **Aplikacji CBDG Otwory wiertnicze** na portalu otworywiertnicze.pgi.gov.pl.

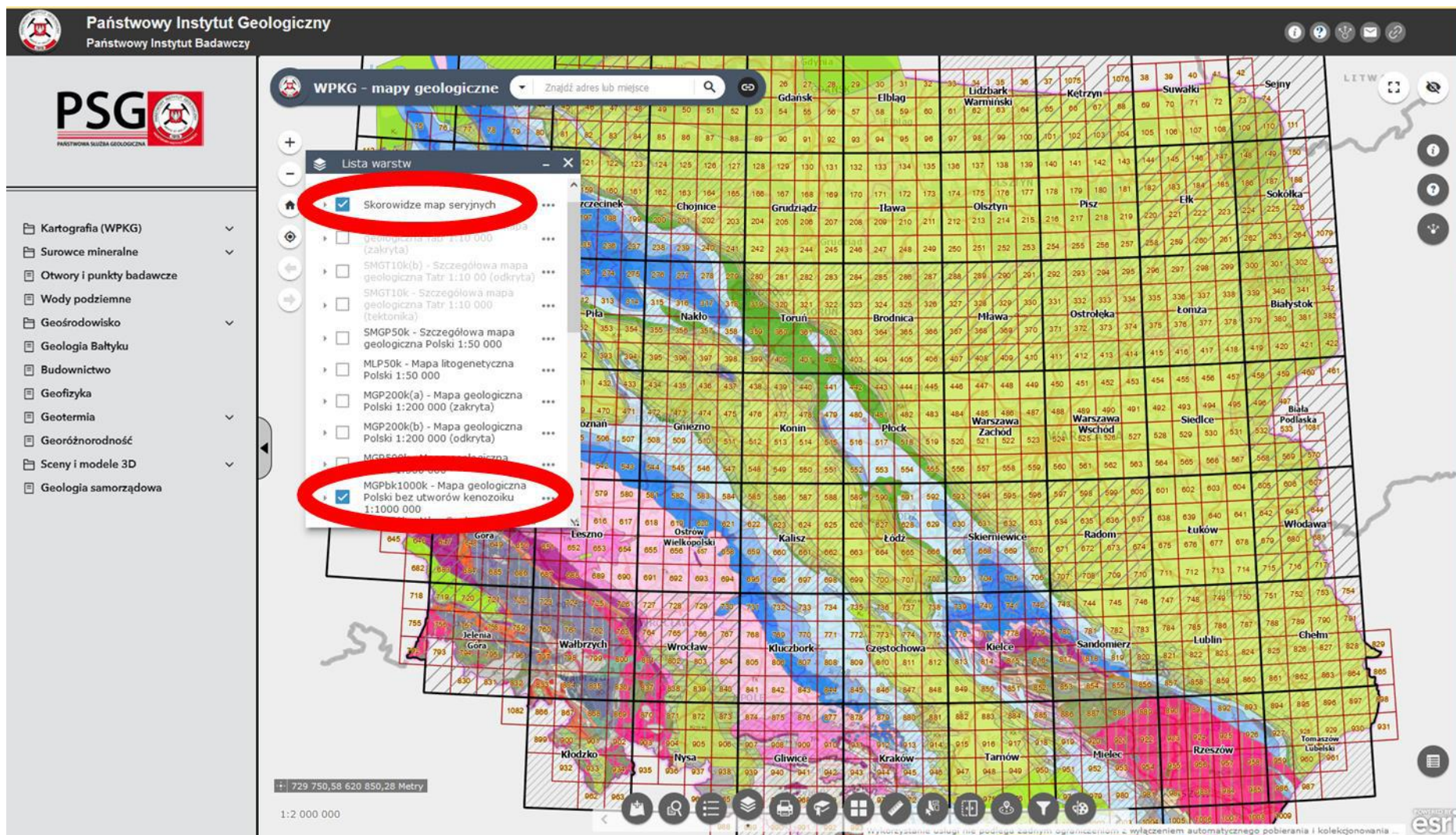
Aplikacja charakteryzuje się zaawansowanymi możliwościami wyszukiwania i prezentacji danych. Udostępnia między innymi szczegółowe informacje o profilach stratygraficznych, litologicznych, badaniach geofizycznych i rdzeniach wiertniczych.

2.3.4. Instrukcja korzystania z portalu geologia.pgi.gov.pl (wyszukiwanie map MHP-GUPW oraz MH PPW-WH)

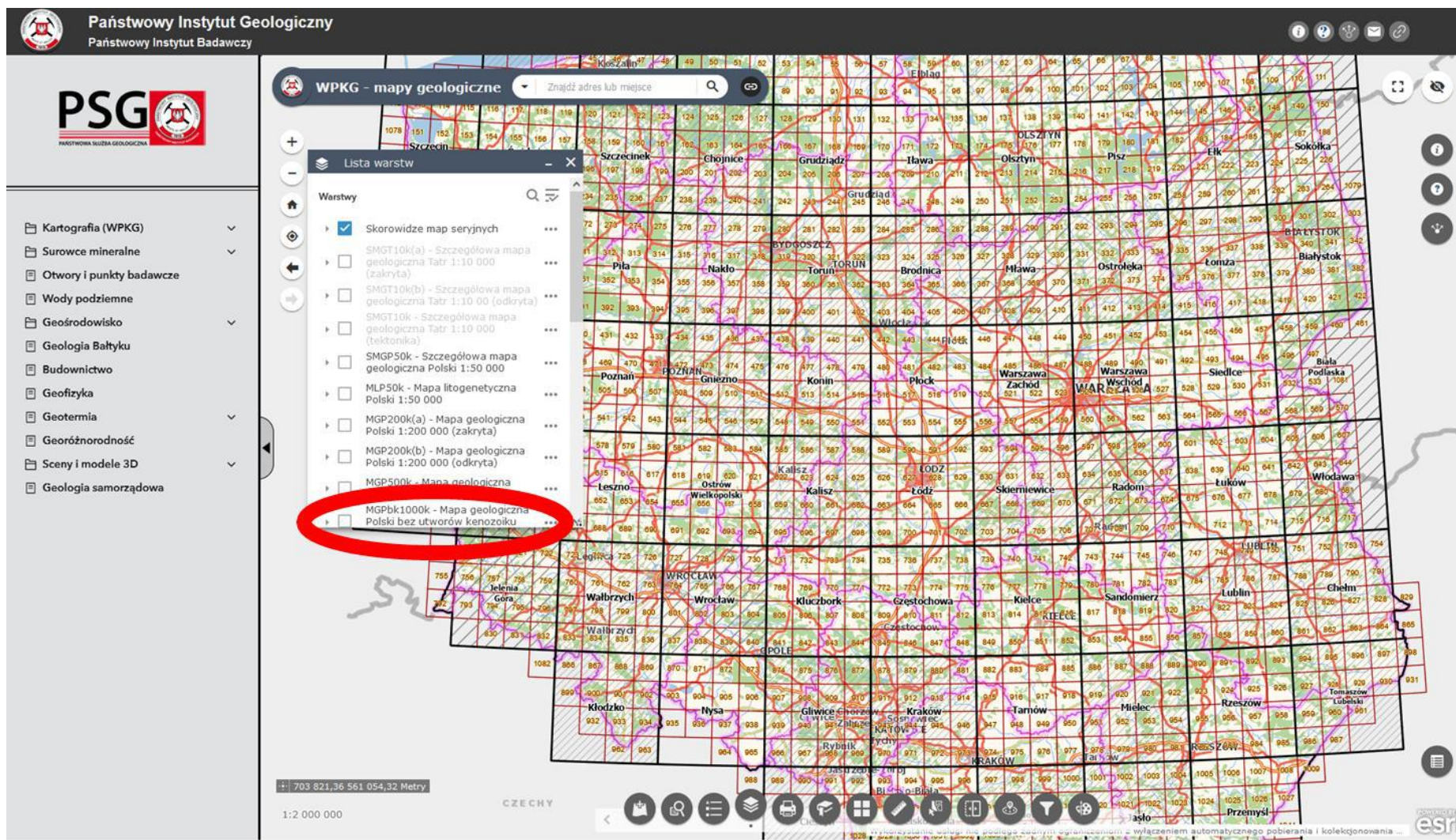
1. Po otwarciu linku, wyświetlony zostanie ekran startowy, na którym należy wybrać **Kartografia geologiczna**.



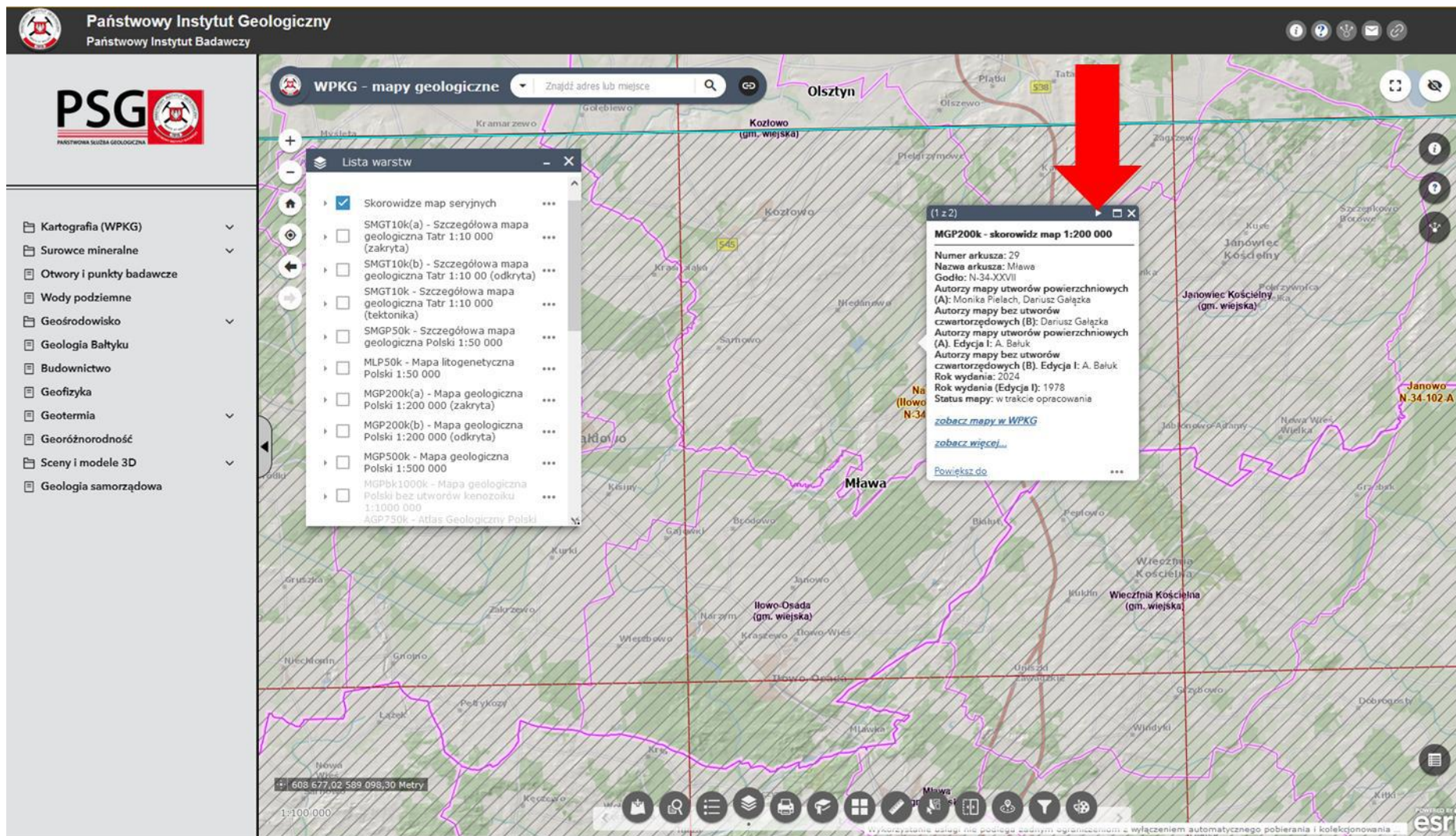
- Wyświetlona zostanie mapa Polski z warstwami **Skorowidze map seryjnych** oraz **Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku** w skali 1:1 000 000 na tle mapy topograficznej BDOT10k.



- Należy na Liście warstw odznaczyć (wylączyć) **Mapę geologiczną Polski bez utworów kenozoiku w skali 1:1 000 000**, a następnie odszukać **Arkusz PIG-PIB**, w którym znajduje się **szukana lokalizacja**, powiększając mapę. Każdy **Arkusz** ma swój numer identyfikacyjny oraz nazwę tożsamą z największą miejscowością w zasięgu **Arkusza**.



4. Po odnalezieniu konkretnego **Arkusza**, należy nacisnąć na niego lewym przyciskiem myszy - wyświetli się okno **MGP200k – skorowidz map 1:200 000**. Należy strzałką w prawo przełączyć na okno **PZGIK – skorowidz map 1:50 000**.



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

PSG
PAŃSTWOWA SŁUŻBA GEOLOGICZNA

WPKG - mapy geologiczne

Znajdź adres lub miejsce

Lista warstw

- ☒ Skorowidze map seryjnych ***
 - ☐ SMGT10k(a) - Szczegółowa mapa geologiczna Tatr 1:10 000 (zakryta) ***
 - ☐ SMGT10k(b) - Szczegółowa mapa geologiczna Tatr 1:10 000 (odkryta) ***
 - ☐ SMGT10k - Szczegółowa mapa geologiczna Tatr 1:10 000 (tektonika) ***
 - ☐ SMGP50k - Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000 ***
 - ☐ MLP50k - Mapa litogenetyczna Polski 1:50 000 ***
 - ☐ MGP200k(a) - Mapa geologiczna Polski 1:200 000 (zakryta) ***
 - ☐ MGP200k(b) - Mapa geologiczna Polski 1:200 000 (odkryta) ***
 - ☐ MGP500k - Mapa geologiczna Polski 1:500 000 ***
 - ☐ MGPPbk1000k - Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku 1:1000 000 ***
 - ☐ AGP750k - Atlas Geologiczny Polski ***

PZGIK - skorowidz map 1:50 000

Nazwa arkusza: Narzym (Iłowo-Osada)
Godło arkusza: N-34-101-B

[zobacz mapy w WPKG](#)
[zobacz więcej...](#)
[Powyższ do](#)

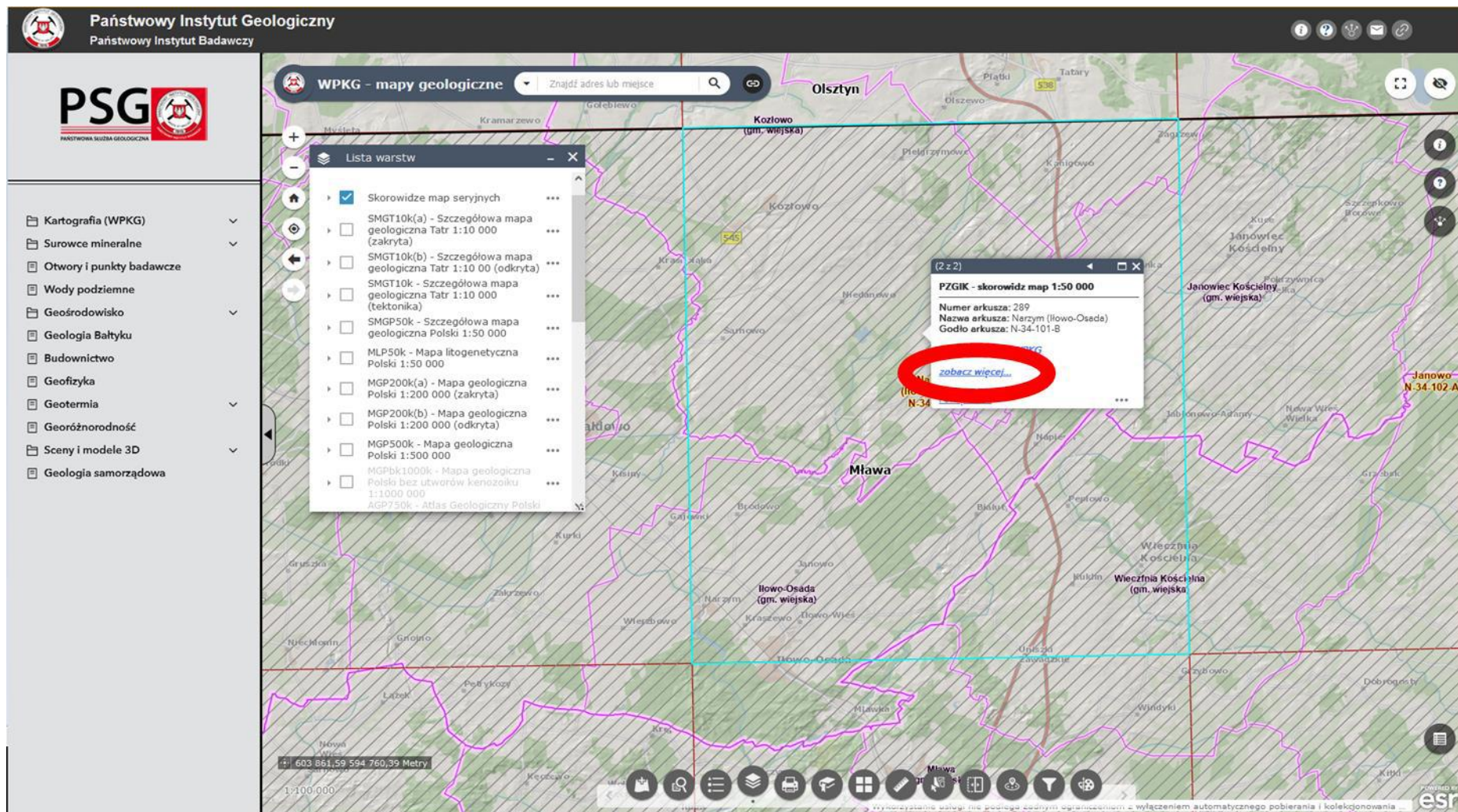
Na (Iłowo) N-34

603 861,59 594 760,39 Metry

1:100 000

esri

5. Następnie, należy nacisnąć **zobacz więcej...**, otwierając tym samym w nowym oknie **Seryjne mapy geologiczne Polski w skali 1:50 000**, dla danego **Arkusza**.



**Seryjne mapy geologiczne Polski w skali 1:50 000, arkusz 289 – Narzym (Iłowo-Osada) (N-34-101-B)****Serial geological maps of Poland 1:50 000, sheet 289 – Narzym (Iłowo-Osada) (N-34-101-B)**

SMGP – tekst do mapy (DGMP – Explanation to the map)

SMGP – skan mapy (DGMP – Scanned map)

MHP-GUPW – tekst do mapy (HMP-MUA – Explanation to the map)

MHP-GUPW – mapa (HMP-MUA – map)

MHP-PPW-WH – tekst do mapy (HMP-FA-OH – Explanation to the map)

MHP-PPW-WH – występowanie i hydrodynamika (HMP-FA-OH – occurrence and hydrodynamics)

MHP-PPW-WJ – tekst do mapy (MHP-FA-VQ – Explanation to the map)

MHP-PPW-WJ – jakość (MHP-FA-Q – quality)

MHP-PPW-WJ – wrażliwość (MHP-FA-V – vulnerability)

MGŚP – tekst do mapy (GEMP – Explanation to the map)

MGŚP plansza A (GEMP Sheet A)

MGŚP plansza B (GEMP Sheet B)

MGŚP (II) – tekst do mapy (GEMP (II) – Explanation to the map) woj./voi. – warmińsko-mazurskie

MGŚP (II) – tekst do mapy (GEMP (II) – Explanation to the map) woj./voi. – mazowieckie

MGŚP (II) plansza A (GEMP (II) Sheet A)

MGŚP (II) plansza B (GEMP (II) Sheet B)

6. Szukana **mapa Głównego Użytkowego Poziomu Wodonośnego** znajduje się pod skrótem **MHP-GUPW – mapa** (HMP-MUA – map).

 CBDG Zobacz więcej | See more

CBDG

Kontakt 

Seryjne mapy geologiczne Polski w skali 1:50 000, arkusz 289 – Narzym (Iłowo-Osada) (N-34-101-B)

Serial geological maps of Poland 1:50 000, sheet 289 – Narzym (Iłowo-Osada) (N-34-101-B)

SMGP – tekst do mapy (DGMP – Explanation to the map)
SMGP – skan mapy (DGMP – Scanned map)
MHP-GUPW – tekst do mapy (HMP-MUA – Explanation to the map)
MHP-GUPW – mapa (HMP-MUA – map)
MHP-PPW-WH – tekst do mapy (HMP-FA-OH – Explanation to the map)
MHP-PPW-WH – występowanie i hydrodynamika (HMP-FA-OH – occurrence and hydrodynamics)
MHP-PPW-WJ – tekst do mapy (MHP-FA-VQ – Explanation to the map)
MHP-PPW-WJ – jakość (MHP-FA-Q – quality)
MHP-PPW-WJ – wrażliwość (MHP-FA-V – vulnerability)
MGŚP – tekst do mapy (GEMP – Explanation to the map)
MGŚP plansza A (GEMP Sheet A)
MGŚP plansza B (GEMP Sheet B)
MGŚP (II) – tekst do mapy (GEMP (II) – Explanation to the map) woj./voi – warmińsko-mazurskie
MGŚP (II) – tekst do mapy (GEMP (II) – Explanation to the map) woj./voi – mazowieckie
MGŚP (II) plansza A (GEMP (II) Sheet A)
MGŚP (II) plansza B (GEMP (II) Sheet B)

Państwowy Instytut Geologiczny – PIB

7. Szukana **mapa Pierwszego Poziomu Wodonośnego** znajduje się pod skrótem **MHP-PPW-WH – występowanie i hydrodynamika** (HMP-FA-OH – occurrence and hydrodynamics).


CBDG Zobacz więcej | See more

CBDG
Kontakt

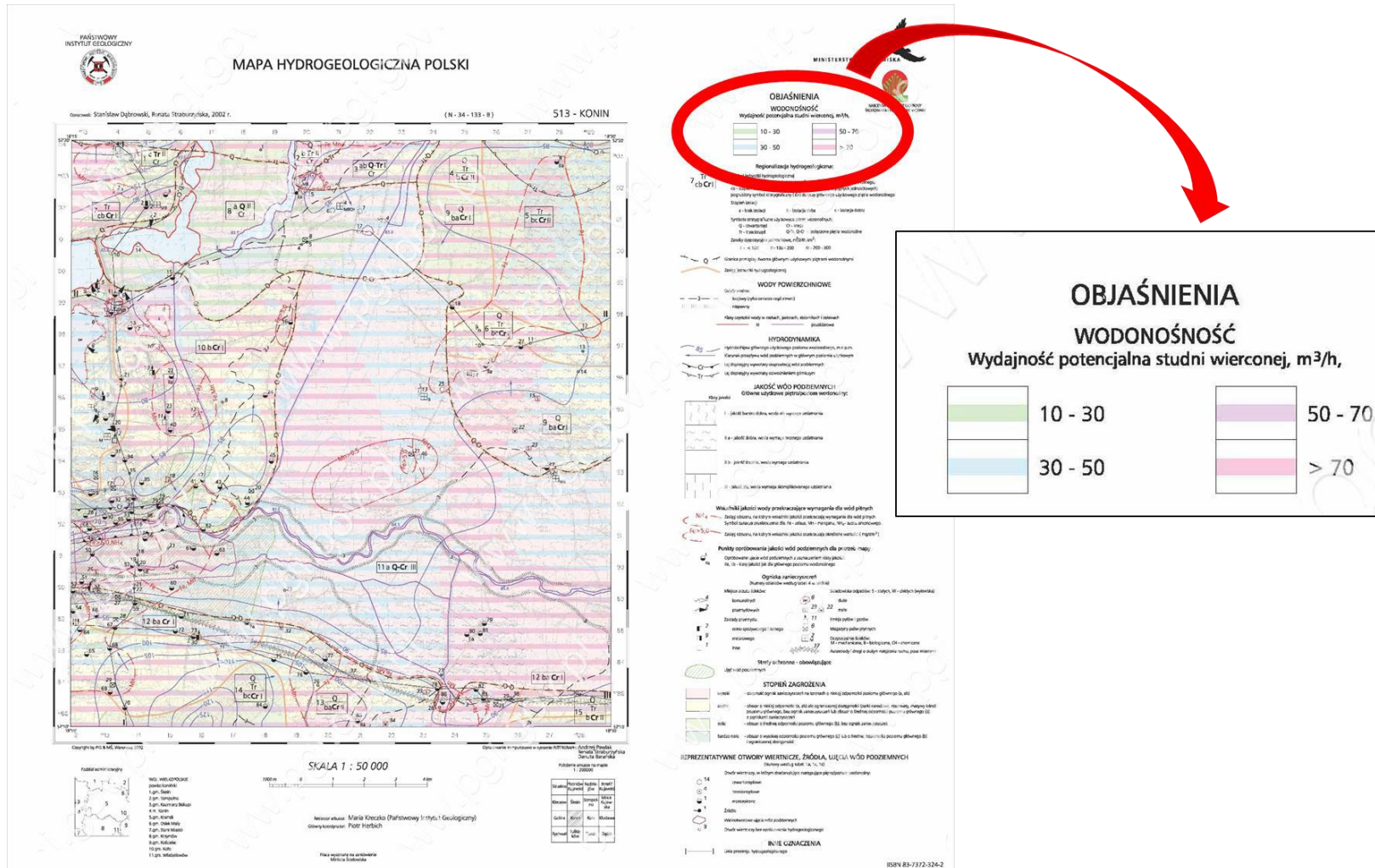

Seryjne mapy geologiczne Polski w skali 1:50 000, arkusz 289 – Narzym (Iłowo-Osada) (N-34-101-B)

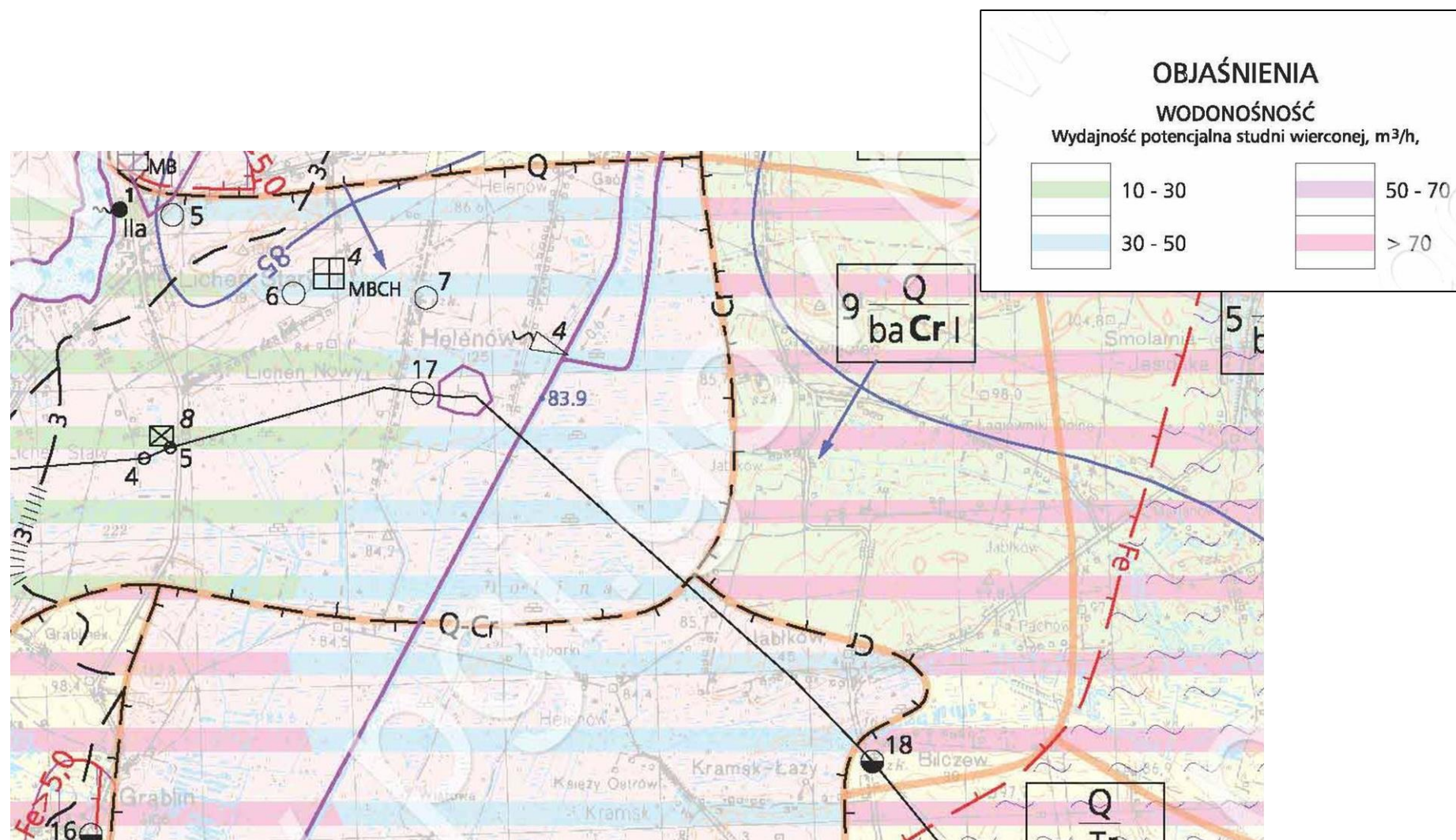
Serial geological maps of Poland 1:50 000, sheet 289 – Narzym (Iłowo-Osada) (N-34-101-B)

SMGP – tekst do mapy (DGMP – Explanation to the map)
SMGP – skan mapy (DGMP – Scanned map)
MHP-GUPW – tekst do mapy (HMP-MUA – Explanation to the map)
MHP-GUPW – mapa (HMP-MUA – map)
MHP-PPW-WH – tekst do mapy (HMP-FA-OH – Explanation to the map)
MHP-PPW-WH – występowanie i hydrodynamika (HMP-FA-OH – occurrence and hydrodynamics)
MHP-PPW-WJ – tekst do mapy (HMP-FA-Q – Explanation to the map)
MHP-PPW-WJ – jakość (MHP-FA-Q – quality)
MHP-PPW-WJ – wrażliwość (MHP-FA-V – vulnerability)
MGŚP – tekst do mapy (GEMP – Explanation to the map)
MGŚP plansza A (GEMP Sheet A)
MGŚP plansza B (GEMP Sheet B)
MGŚP (II) – tekst do mapy (GEMP (II) – Explanation to the map) woj./voi – warmińsko-mazurskie
MGŚP (II) – tekst do mapy (GEMP (II) – Explanation to the map) woj./voi – mazowieckie
MGŚP (II) plansza A (GEMP (II) Sheet A)
MGŚP (II) plansza B (GEMP (II) Sheet B)

2.3.5. Instrukcja korzystania z mapy Głównego Użytkowego Poziomu Wodonośnego (MHP-GUPW)

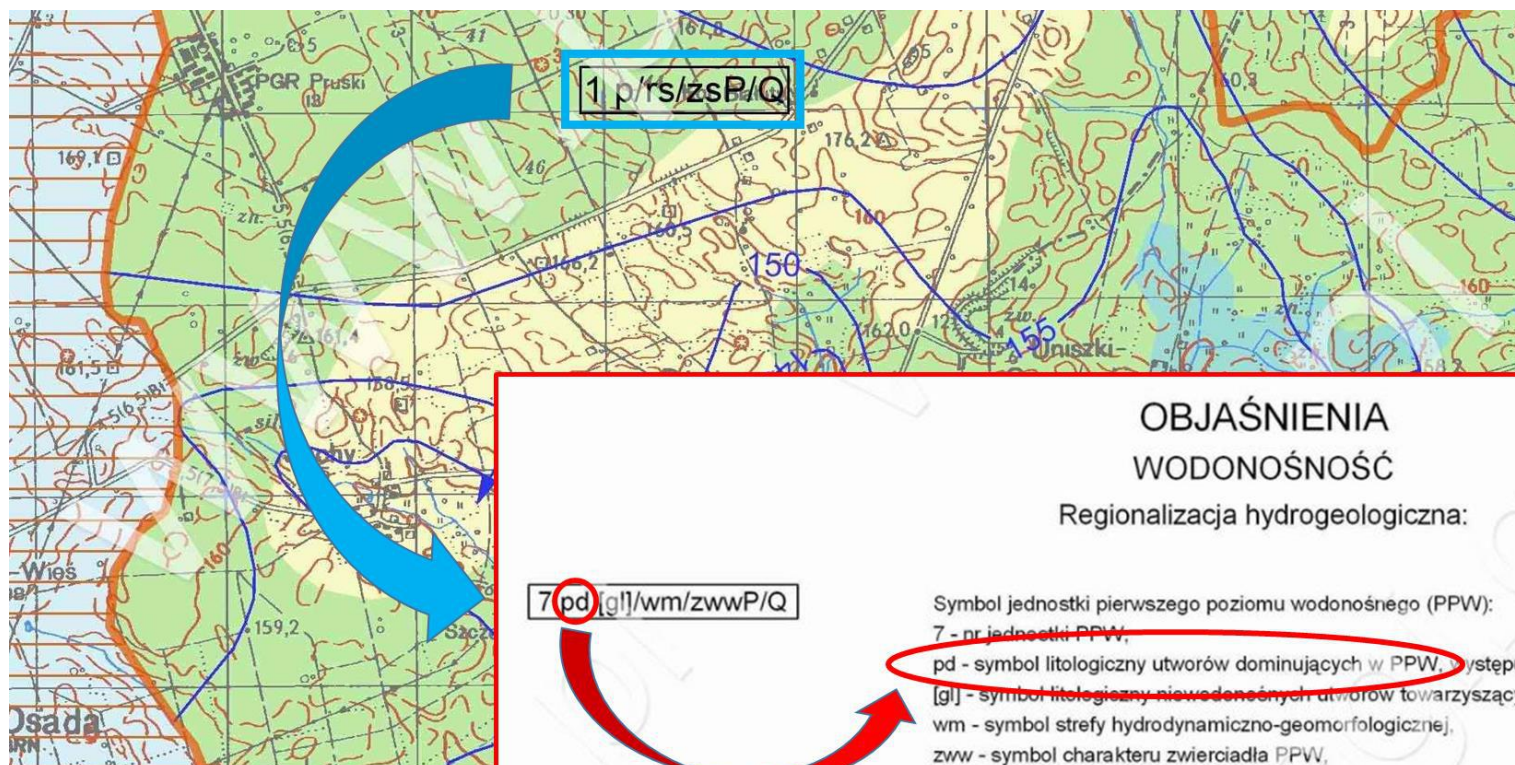
- Po otwarciu mapy, należy odnaleźć na niej **szukaną lokalizację** i odczytać, zgodnie z oznaczeniami na legendzie, jaka jest **Wydajność potencjalna studni wierconej w m^3/h** dla szukanej lokalizacji.





1. Po otwarciu mapy, należy odnaleźć na niej **szukaną lokalizację** i odczytać z legendy, zgodnie z oznaczeniami na mapie, jaki jest **symbol litologiczny utworów dominujących w PPW** (w szukanej lokalizacji). Na podstawie tej identyfikacji można określić **współczynnik filtracji** utworów w Pierwszym Poziomie Wodonośnym.





OBJAŚNIENIA WODONOŚNOŚĆ

Regionalizacja hydrogeologiczna:

7 pd [gl]/wm/zwwP/Q

Symbol jednostki pierwszego poziomu wodonośnego (PPW):

7 - nr jednostki PPW,

pd - symbol litologiczny utworów dominujących w PPW, występujących w strefie zwierciadła PPW,

[gl] - symbol litologiczny niewodonośnych utworów towarzyszących,

wm - symbol strefy hydrodynamiczno-geomorfologicznej,

zww - symbol charakteru zwierciadła PPW,

P - symbol rodzaju PPW,

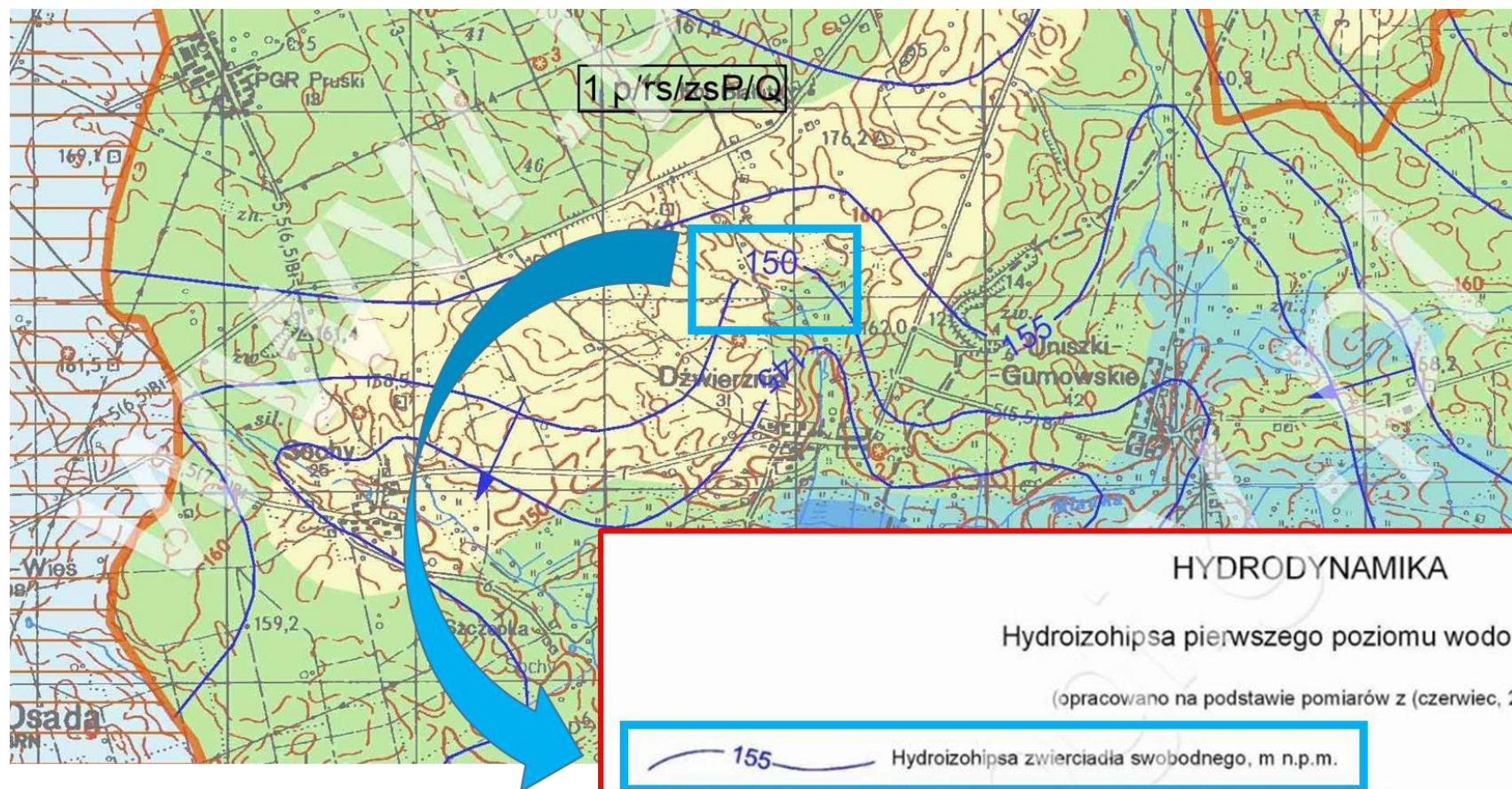
Q - symbol stratygrafii PPW.

Litologia utworów pierwszego poziomu wodonośnego:

ż - żwiry, p - piaski różnoziarniste, pd - piaski drobnoziarniste, t - torfy, n - namuly.

Litologia niewodonośnych utworów towarzyszących (obszary zww):

[gl] - glina.



2.3.7. Instrukcja korzystania z portalu otworywiertnicze.pgi.gov.pl (wyszukiwanie danych dotyczących litologii otworów wiertniczych)

- Po otwarciu linku, wyświetlony zostanie ekran startowy z mapą Polski. Należy powiększać mapę aż do momentu znalezienia **szukanej lokalizacji**.


CBDG Otwory wiertnicze

[Pomoc](#)
[Lista](#)
[CBDG](#)
[Kontakt](#)



Szukaj

Wyczyść

Pokaż na mapie

Ogólne

Nazwa

Nr CBDG

Głębokość [m]

Rok zakończenia wiercenia

Wysokość [m] n.p.m.

Lokalizacja

Województwo

Powiat

Gmina

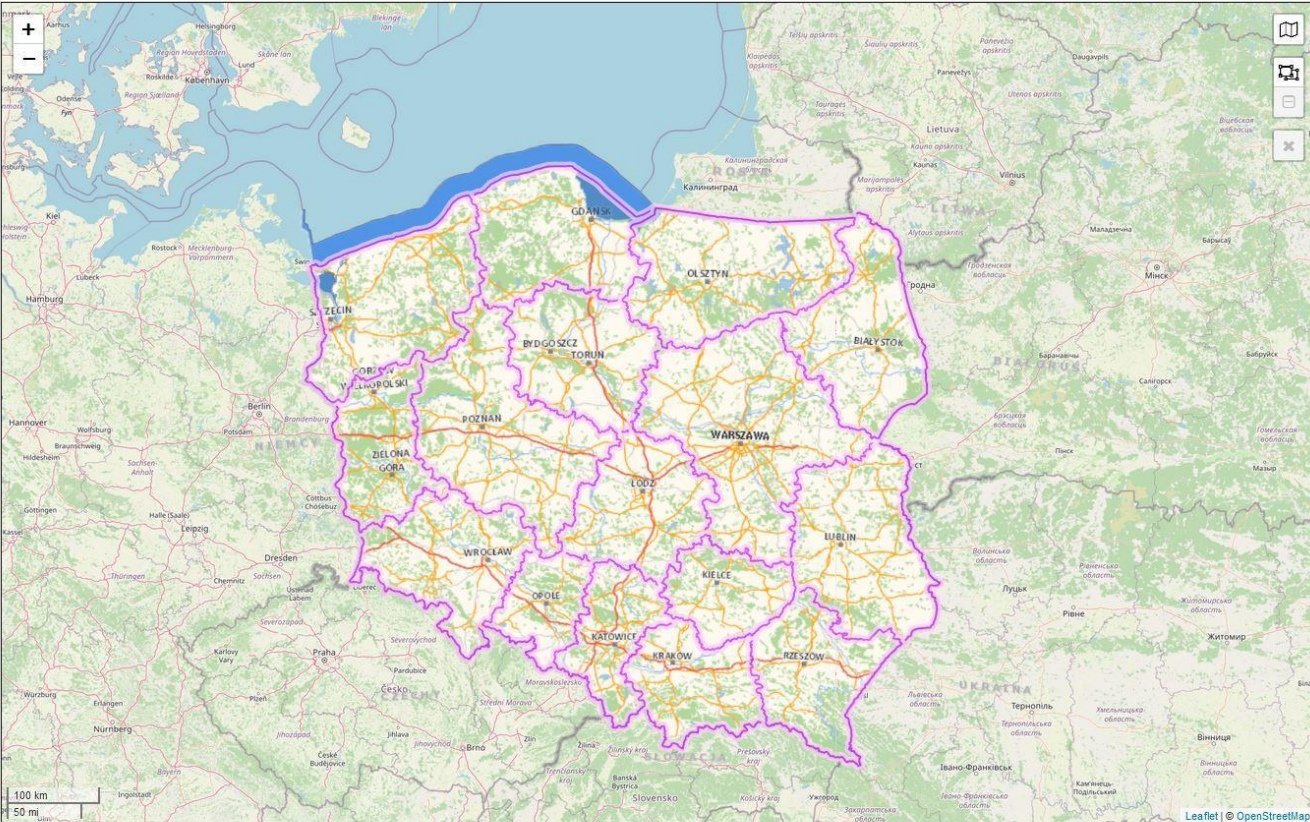
Miejscowość

Arkusze 1:50 000

Arkusze 1:100 000 (BG)

Stratygrafia, litologia

Informacje dodatkowe



Państwowy Instytut Geologiczny – PIB

– 46 –

- Po znalezieniu **szukanej lokalizacji**, należy nacisnąć przycisk **Pokaż na mapie**. Wszystkie istniejące w bazie danych **otwory wiertnicze** na danym obszarze, zostaną przedstawione graficznie na mapie w postaci pomarańczowych punktów.


CBDG Otwory wiertnicze

[Pomoc](#)
[Lista](#)
[CBDG](#)
[Kontakt](#)



Szukaj
Wyczyść
Pokaż na mapie

Ogólne

Nazwa
Nr CBDG

Głębokość [m]

Rok zakończenia wiercenia

Wysokość [m] n.p.m.

Lokalizacja

Województwo

Powiat

Gmina

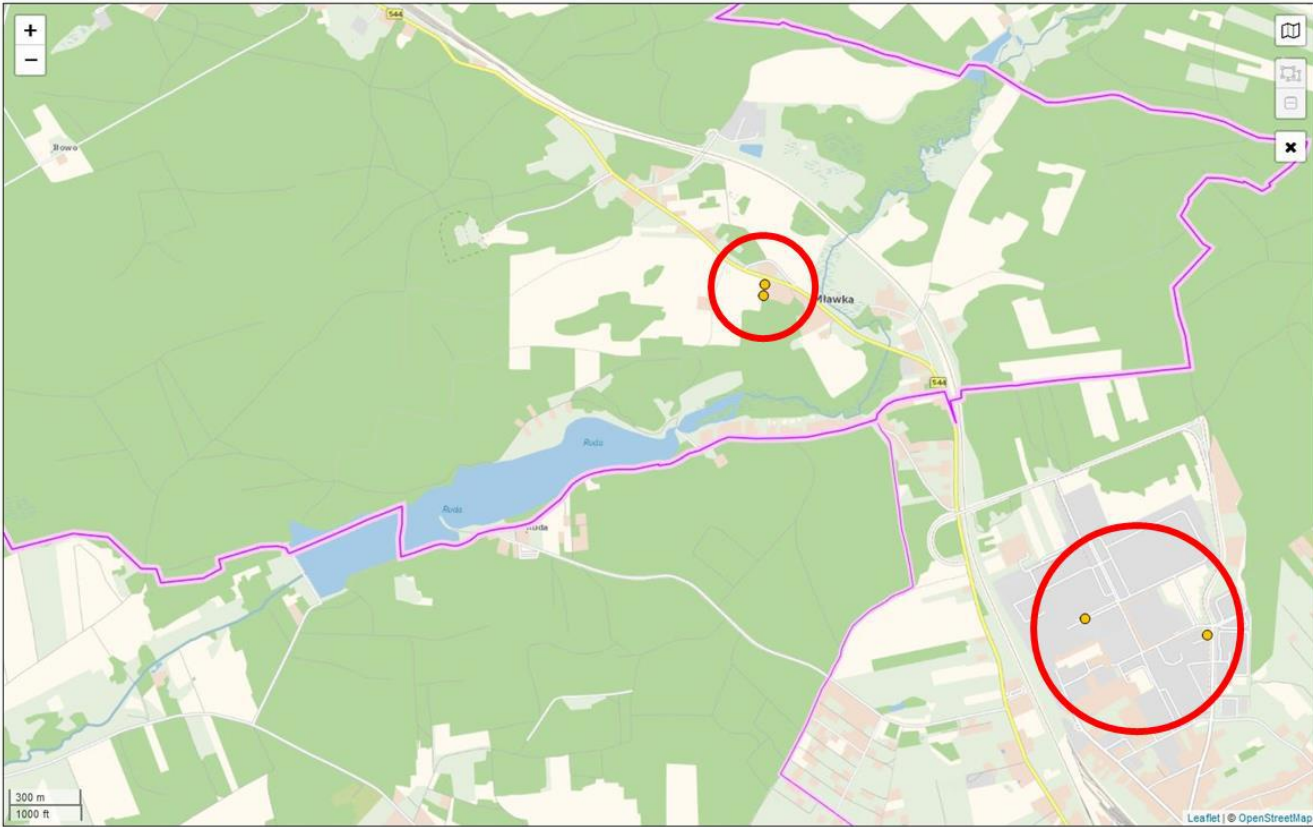
Miejscowość

Arkusze 1:50 000

Arkusze 1:100 000 (BG)

Stratygrafia, litologia

Informacje dodatkowe



Państwowy Instytut Geologiczny - PIB

3. Należy wybrać **otwór wiertniczy** zlokalizowany jak najbliżej **szukanej lokalizacji**. Wówczas **litologię wybranego otworu można przyjąć jako reprezentatywną dla szukanej lokalizacji**. Wyboru dokonujemy naciskając *lewym przyciskiem myszy* na wybrany punkt. Wybrany punkt zmieni kolor na czerwony, natomiast po lewej stronie ekranu wyświetli się jego nazwa, wraz z głębokością i numerem CBDG.

CBDG Otwory wiertnicze Pomoc Lista CBDG Kontakt

Otwory zaznaczonego obszaru

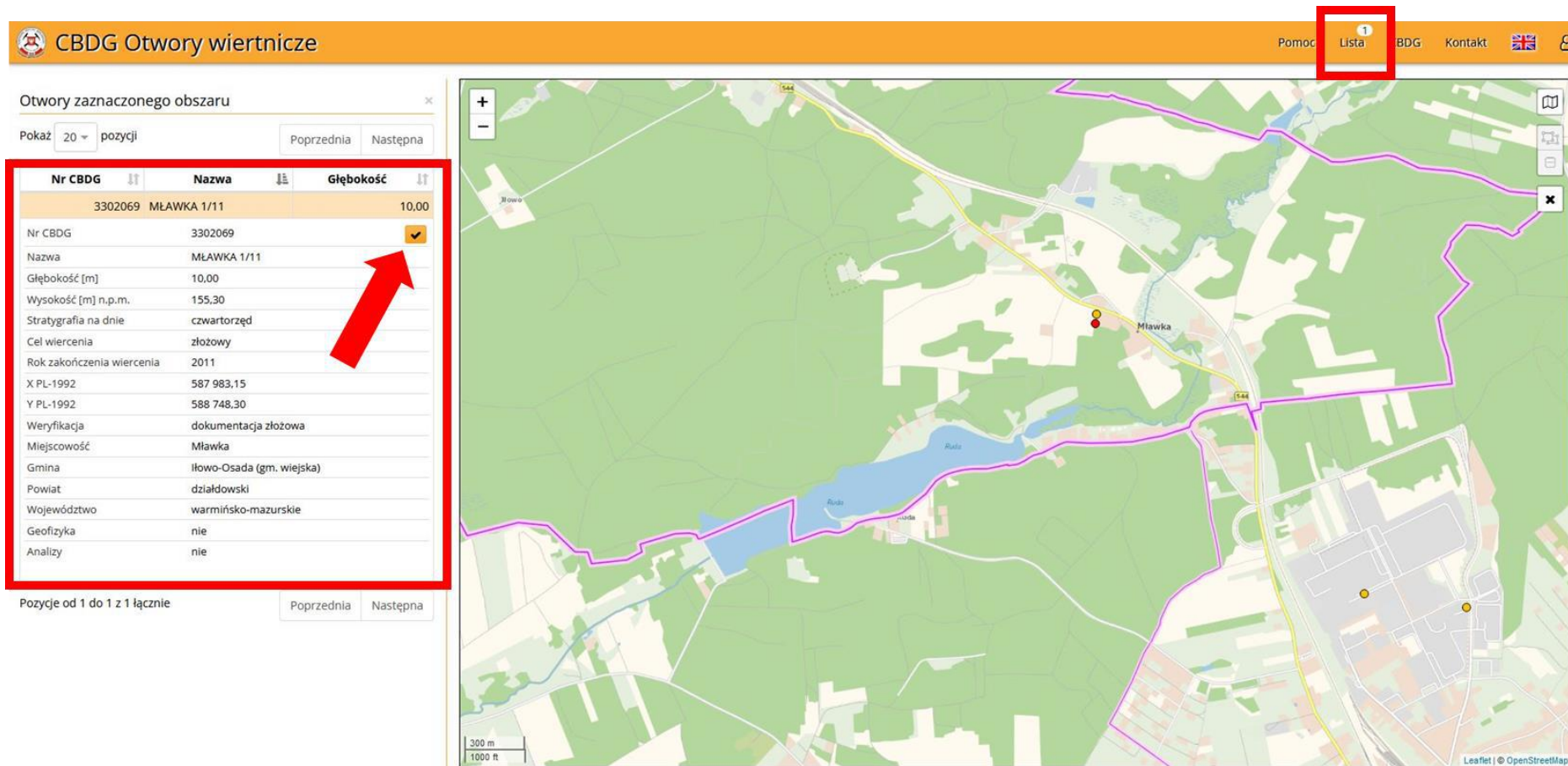
Pokaż 20 pozycji Poprzednia Następna

Nr CBDG	Nazwa	Głębokość
3302069	MŁAWKA 1/11	10.00

Pozycje od 1 do 1 z 1 łącznie Poprzednia Następna

Państwowy Instytut Geologiczny – PIB

4. Po naciśnięciu na nazwę **otworu wiertniczego** (np. Mławka 1/11), rozwinie się tabela z parametrami dotyczącymi wybranego otworu. Należy nacisnąć **znacznik** zlokalizowany pod głębokością otworu, aby dodać wybrany otwór do **Listy**. Wówczas w prawym górnym rogu nad etykietą **Lista** pojawi się cyfra 1.



CBDG Otwory wiertnicze

Pomoc **Lista** BDG Kontakt

Otwory zaznaczonego obszaru

Pokaż 20 pozycji Poprzednia Następna

Nr CBDG	Nazwa	Głębokość
3302069	MŁAWKA 1/11	10,00

Nr CBDG 3302069 ✓

Nazwa MŁAWKA 1/11

Głębokość [m] 10,00

Wysokość [m] n.p.m. 155,30

Stratygrafia na dnie czwartorzęd

Cel wiercenia złożowy

Rok zakończenia wiercenia 2011

X PL-1992 587 983,15

Y PL-1992 588 748,30

Weryfikacja dokumentacja złożowa

Miejscowość Mława

Gmina Iłowo-Osada (gm. wiejska)

Powiat działdowski

Województwo warmińsko-mazurskie

Geofizyka nie

Analizy nie

Pozycje od 1 do 1 z 1 łącznie Poprzednia Następna

Państwowy Instytut Geologiczny - PIB

5. Po naciśnięciu na zakładkę **Lista**⁽¹⁾, otworzy się okno z **tabelą** z wybranym **otworem wiertniczym**. Należy nacisnąć na nazwę **otworu lewym przyciskiem myszy**, aby utworzyć okienko z wyborem działania. Następnym krokiem jest wybór opcji **Szczegóły**. Po naciśnięciu opcji **Szczegóły**, otworzy się okno z rozbudowaną charakterystyką wybranego **otworu wiertniczego**.

CBDG Otwory wiertnicze Pomoc ¹ Lista CBDG Kontakt  

Lista Wyczyść 

Pokaż 10 pozycji Poprzednia 1 Następna

Nr CBDG	Nazwa	Głębokość	Cel wiercenia	Stratygrafia na dnie	Rok wiercenia	Szer. geogr.	Dług. geogr.	Miejscowość
3302069	MŁAWKA 1/11	10,00	złożowy	czwartorzęd	2011	53°08'59,06"	20°19'38,82"	Mławka

Pozycje od 1 do 1 z 1 łącznie Poprzednia 1 Następna

Analityzuj
Szczegóły
Usuń z listy

Państwowy Instytut Geologiczny – PIB

CBDG Otwory wiertnicze Pomoc ¹ Lista CBDG Kontakt  

MŁAWKA 1/11 Id: 3302069 • Głębokość [m]: 10,00 • Wysokość [m] n.p.m.: 155,30 Analityzuj Dodaj do listy Powrót

Podstawowe **Stratygrafia** Litologia Mapa Profile

Lokalizacja

Miejscowość	Mławka
Gmina	Iłowo-Osada (gm. wiejska)
Powiat	działdowski
Województwo	warmińsko-mazurskie
Arkusz 1:50 000	Mława [328] [N-34-101-D]
Arkusz 1:100 000 (BG)	Działdowo [114] [36-30]
Weryfikacja	dokumentacja złożowa
Szerokość geogr.	53°08'59,06"
Długość geogr.	20°19'38,82"
X PL-1992	587 983,15
Y PL-1992	588 748,30

Inne

Głębokość całkowita (MD) [m]	10,00
Cel wiercenia	złożowy
Efekt wiercenia	Plaski
Zleceniodawca	Sklep Spoż.-Przem. Mini-Bar E. Jarecka, Mławka
Wykonawca	GEOPROTECT Sadowska M., IHAR 9A/1, Radzików

Historia otworu

Zakończenie wiercenia	20.05.2011
-----------------------	------------

Dokumentacje powiązane z otworem 

Nr CBDG	Tytuł	Rok	Autorzy	Numer archiwalne	Skany
980303	Dokumentacja geologiczna złoża kruszywa naturalnego Mławka w kat C1 w miejsc. Mławka, gm. Iłowo- Osada, pow. działdowski, woj. warmińsko- mazurskie	2011	Sobczuk Henryk	3932/2011,CAG PIG, Warszawa;	

Pozycje od 1 do 1 z 1 łącznie

Państwowy Instytut Geologiczny – PIB

6. Należy nacisnąć zakładkę **Litologia**, o ile wybrany otwór posiada opis **Litologii**. W otwartej zakładce **Litologia** należy nacisnąć na nazwę otworu wiertniczego (np. Profil otworu MŁAWKA 1/11) w celu otwarcia **Informacji o wydzieleniu litologicznym**. W przypadku braku zakładki **Litologia** należy cofnąć się do widoku mapy klikając na nagłówek **CBDG Otwory wiertnicze**. Należy ponownie szukać na mapie **otworu** w najbliższej okolicy, względem **szukanej lokalizacji**, aż do momentu, w którym wybrany otwór będzie posiadał opis **Litologii**.

CBDG Otwory wiertnicze Pomoc Lista CBDG Kontakt

MŁAWKA 1/11 Id: 3302069 • Głębokość [m]: 10,00 • Wysokość [m] n.p.m.: 155,30

Podstawowe Stratygrafia **Litologia** Mapa Profile

Profile

Nazwa	Kategoria	Źródło informacji	Data utworzenia
Profil otworu MŁAWKA 1/11	Podstawowy	NAG - dokumentacja złożowa	10.10.2019

Informacje o wydzieleniu litologicznym Profil otworu MŁAWKA 1/11

Od	Do	Opis	Chronostratygrafia	Litostratygrafia	Podstawa opisu
0,00	0,30	gleba	czwartorzęd		okruchowe
0,30	0,80	piasek drobnoziarnisty, pylasty, żółty	czwartorzęd		okruchowe
0,80	5,60	piasek drobnoziarnisty, z domieszką żwiru, brązowo-żółty	czwartorzęd		okruchowe
5,60	8,70	piasek drobnoziarnisty, żółto-szary	czwartorzęd		okruchowe
8,70	10,00	piasek różnoziarnisty ze żwirem, szaro-żółty	czwartorzęd		okruchowe

Pozycje od 1 do 5 z 5 łącznie

Państwowy Instytut Geologiczny – PIB

7. Dane zamieszczone w tabeli **Informacje o wydzieleniu litologicznym** powinny być wykorzystane do określenia miąższości **Pierwszego Poziomu Wodonośnego**. W tym celu należy przeanalizować „Opis” (kolumna trzecia) każdego utworu w tabeli, zaczynając od góry, pod kątem odnalezienia **utworu półprzepuszczalnego** (np. gliny, namuły, ily piaszczyste) lub **nieprzepuszczalnego** (np. ily, łupki ilaste, zwarte gliny ilaste, margle ilaste) położonego najpłycej pod poziomem terenu. Należy przyjąć, że wszystkie utwory znajdujące się powyżej **szukanego utworu półprzepuszczalnego** lub **nieprzepuszczalnego** tworzą **Pierwszy Poziom Wodonośny**.

W celu określenia miąższości **Pierwszego Poziomu Wodonośnego** należy odczytać wartość z **pierwszej kolumny („Od”)** dla **znalezionego utworu półprzepuszczalnego** lub **nieprzepuszczalnego**. Wartość tę przyjmujemy jako głębokość pod poziomem terenu do jakiej występuje **Pierwszy Poziom Wodonośny**. Odejmując tę wartość od rzędnej terenu, wyznaczymy **rzędną spagu Pierwszego Poziomu Wodonośnego**.

2.4. Przykład obliczeń wydajności studni

Przykładowe obliczenia wydajności studni wierconej zostały przeprowadzone dla hipotetycznej **dogłębionej** oraz **niedogłębionej** studni nawierconej w **Pierwszym Poziomie Wodonośnym** o swobodnym zwierciadle wody. Studnia o średnicy 160 mm została nawiercona w wybranej, przykładowej lokalizacji, dla której określono: parametry hydrogeologiczne **Pierwszego Poziomu Wodonośnego** (na podstawie mapy **Pierwszego Poziomu Wodonośnego** MH PPW-WH i informacji z bazy danych **CBDG Otwory wiertnicze**) oraz rzędna terenu z mapy topograficznej z warstwicami. Kolejne etapy obliczeń zostały przedstawione w punktach.

Dodatkowo, określona została **wydajność potencjalna studni wierconej**, na podstawie mapy **Głównego Użytkowego Poziomu Wodonośnego** MHP-GUPW.

Lokalizacja przykładowej studni wierconej

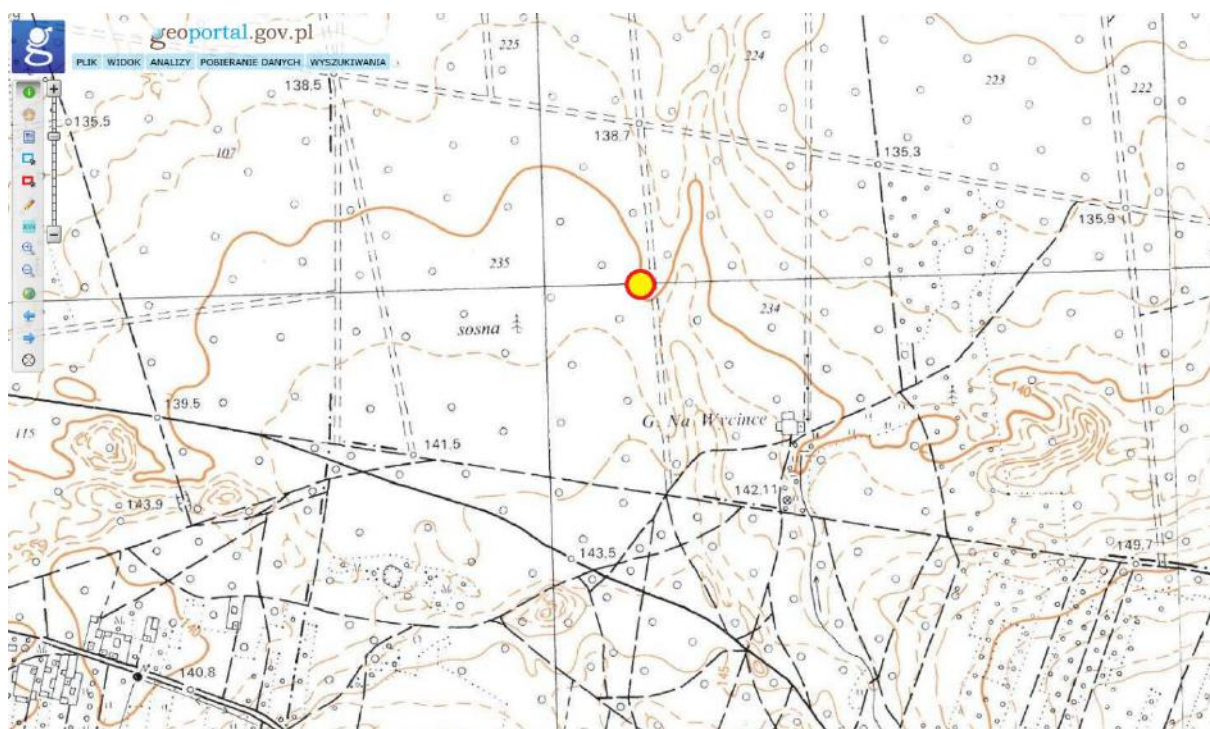
Studnia wiercona została zlokalizowana w odległości około 2,5 km od miejscowości Waliska w województwie mazowieckim, powiecie grójeckim, w gminie Nowe Miasto nad Pilicą (rys. 14).



Rys. 14. Lokalizacja studni wierconej w zlewni rzeki Pilicy

Rzędna terenu w miejscu wykonania studni

Na podstawie mapy topograficznej z warstwicami (rys. 15) została określona rzędna terenu w miejscu wiercenia studni. Rzędna terenu wyniosła **140,00 m n.p.m.**



Rys. 15. Lokalizacja studni wierconej na mapie topograficznej z warstwicami

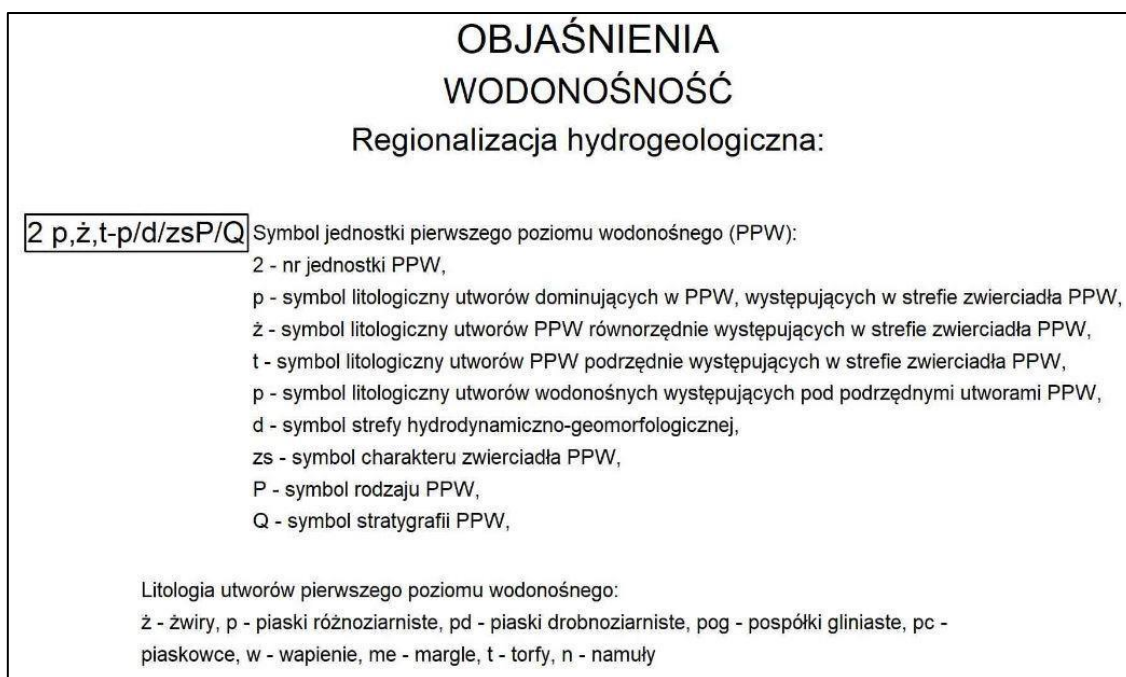
Dane z mapy Pierwszego Poziomu Wodonośnego MH PPW-WH

Na podstawie mapy Pierwszego Poziomu Wodonośnego (rys. 16-18) zostały określone następujące parametry:

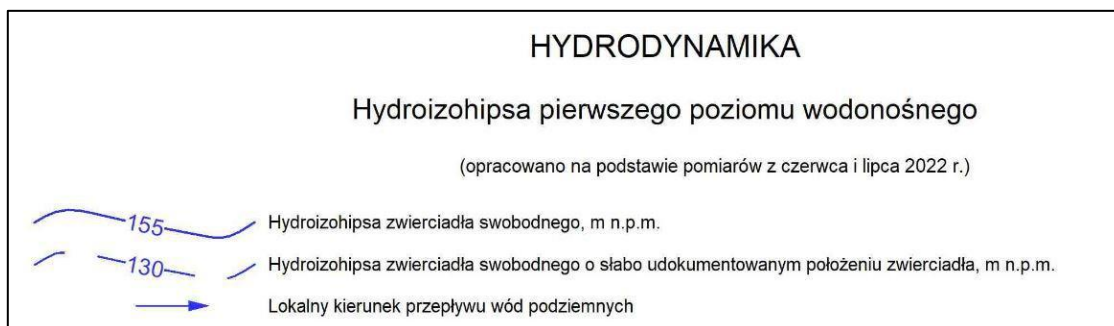
- Rzędna swobodnego zwierciadła wody (m n.p.m.),
- Współczynnik filtracji k utworów dominujących w Pierwszym Poziomie Wodonośnym



Rys. 16. Mapa Pierwszego Poziomu Wodonośnego



Rys. 17. Legenda na mapie MH PPW-WH do określenia symbolu litologicznego utworów dominujących w Pierwszym Poziomie Wodonośnym



Rys. 18. Legenda na mapie MH PPW-WH do określenia rzędnej swobodnego zwierciadła wody (m n.p.m.)

Zgodnie z narysowanymi hydroizohipsami zwierciadła swobodnego, rzędna swobodnego zwierciadła wody w danej lokalizacji została określona na poziomie **135 m n.p.m. (tzn. 5,0 m poniżej rzędnej terenu).**

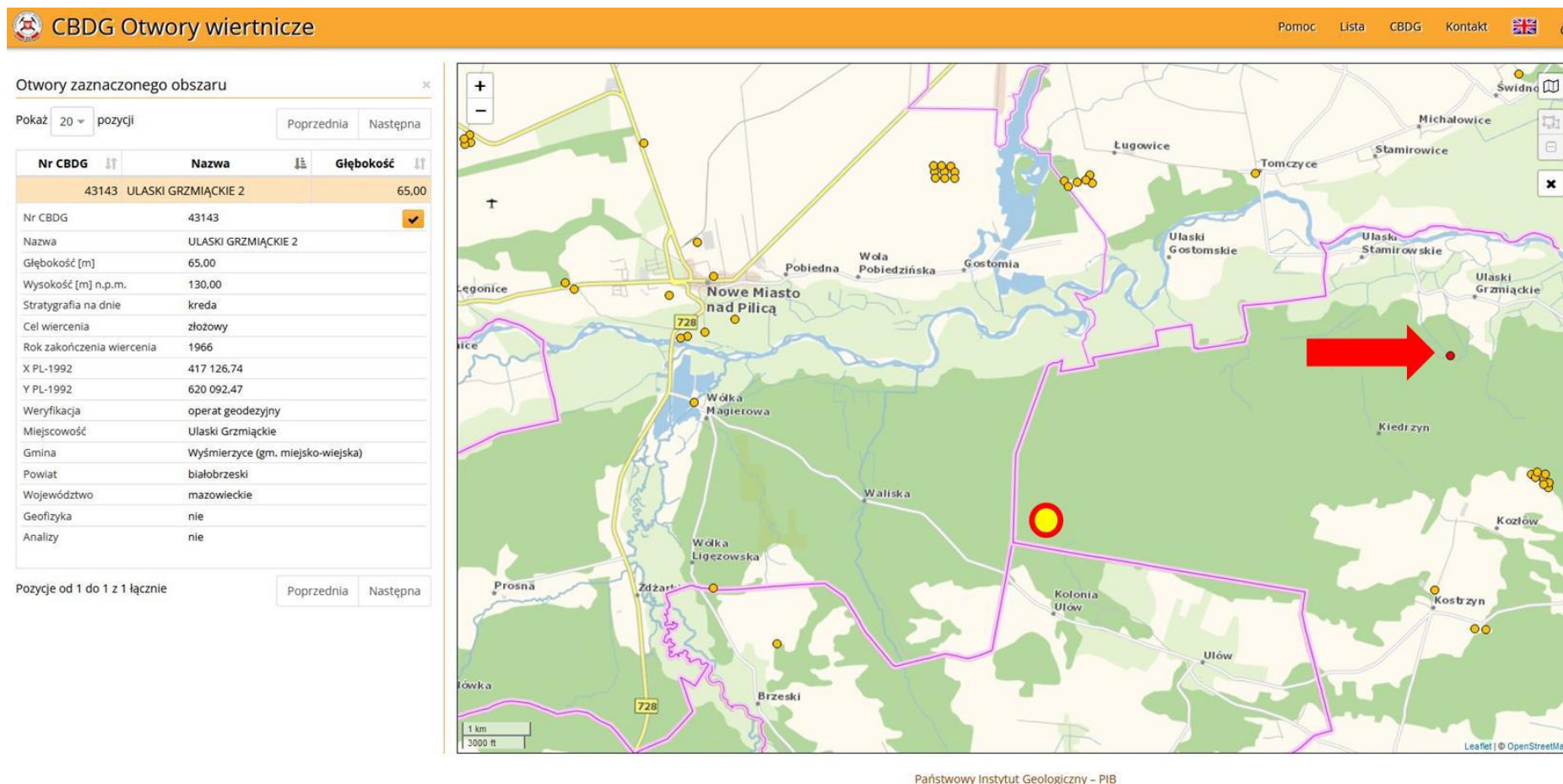
Zgodnie z oznaczeniami na mapie, **dominującymi utworami w Pierwszym Poziomie Wodonośnym** w danej lokalizacji są **piaski różnoziarniste (p)**, dla których został przyjęty współczynnik filtracji wynoszący $k = 5 \text{ m/d} = 0,2083 \text{ m/h} = 5,79 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (wg tabeli 6).

Informacje z bazy danych CBDG Otwory wiertnicze

Na podstawie informacji z bazy danych **CBDG Otwory wiertnicze** zostały określone następujące parametry:

- Miąższość Pierwszego Poziomu Wodonośnego (m)
- Rzędna spągu Pierwszego Poziomu Wodonośnego (m n.p.m.)

Jako reprezentatywny dla danej lokalizacji został wybrany **Otwór wiertniczy** o nazwie **Ulaski Grzmiąckie 2** o głębokości całkowitej **65 m** zlokalizowany ok. 6,4 km na północny-wschód od lokalizacji studni (rys. 19).



Rys. 19. Lokalizacja wybranego otworu wiertniczego **Ulaski Grzmiąckie 2** względem lokalizacji studni

Analiza **Informacji o wydzieleniu litologicznym** ww. otworu i odnalezienie utworu nieprzepuszczalnego położonego najpłycej pod poziomem terenu (rys. 20) umożliwiła określenie **miąższości Pierwszego Poziomu Wodonośnego równej 60 m**. Na tej podstawie została obliczona **rzędna spągu Pierwszego Poziomu Wodonośnego wynosząca 140 – 60 = 80 m n.p.m.**

CBDG Otwory wiertnicze Pomoc Lista CBDG Kontakt

ULASKI GRZMIĄCKIE 2 Id: 43143 • Głębokość [m]: 65,00 • Wysokość [m] n.p.m.: 130,00

Analizy Dodaj do listy Powrót

Podstawowe Stratygrafia Litologia Mapa Profile

Profile

Nazwa	Kategoria	Źródło informacji	Data utworzenia
Profil otworu ULASKI GRZMIĄCKIE 2	Podstawowy	NAG - dokumentacja złożowa	13.10.1999

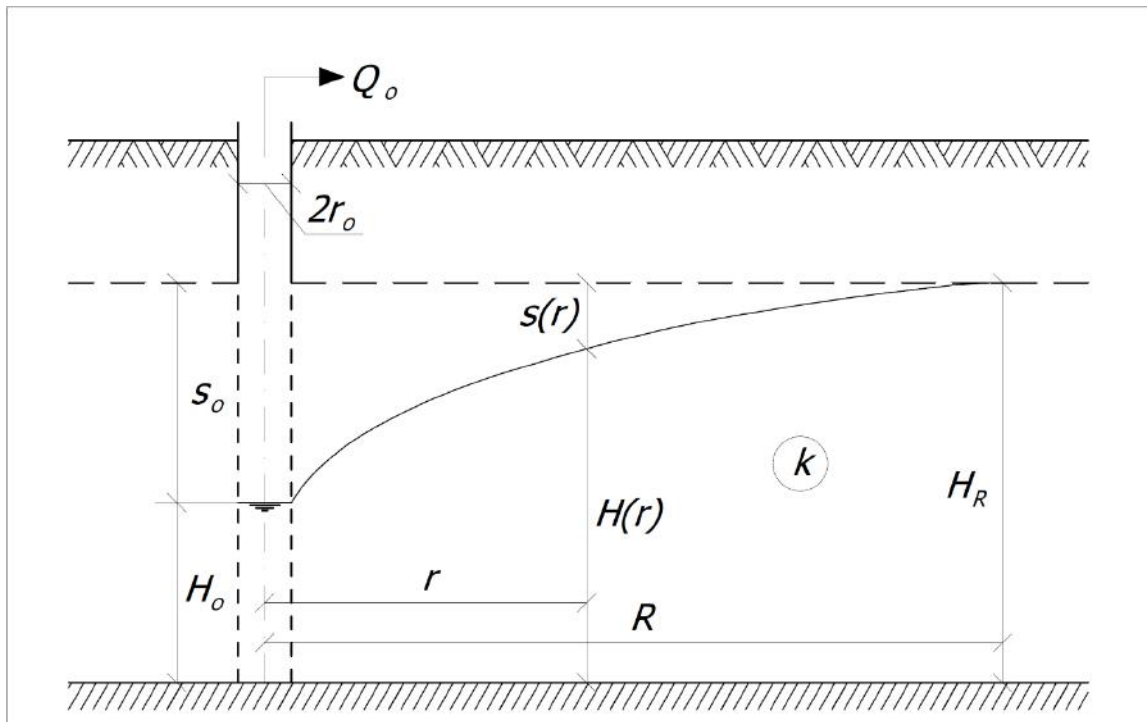
Informacje o wydzieleniu litologicznym Profil otworu ULASKI GRZMIĄCKIE 2

Od	Do	Opis	Chronostratygrafia	Litostratygrafia	Podstawa opisu
0,00	0,30	gleba	czwartorzęd		okruchowe
0,30	7,50	piasek średnioziarnisty, kwarcowo-skaliowy, żółty	czwartorzęd		okruchowe
7,50	25,00	piasek średnioziarnisty, kwarcowo-skaliowy, żółty i szaro-żółty	czwartorzęd		okruchowe
25,00	60,00	piasek drobny, jasnoszary, kwarcowy	trzeciorzęd		okruchowe
60,00	60,50	margiel ilasty, biało-szary	kreda		rdzeń
60,50	65,00	wapień marglisty, kremowo-biały	kreda		rdzeń

Pozycje 1 do 6 z 6 łącznie

Rys. 20. Informacje o wydzieleniu litologicznym dla otworu **Ulaski Grzmiąckie 2**

Obliczenie wydajności studni dogłębionej



Rys. 21. Schemat dopływu do studni dogłębionej w warstwie o zwierciadle swobodnym
(oprac. B. Kierasinski, na podstawie KOWALSKI (1998))

Dane wejściowe:

k (współczynnik filtracji) = **0,2083 m/h**,

S_0 (depresja studni) = **1,2 m** (wartość przyjęta na podstawie literaturowych wartości średnich depresji w studniach wierconych w piaskach),

H_R (miąższość Pierwszego Poziomu Wodonośnego pomniejszona o głębokość do swobodnego zwierciadła w gruncie (poza lejem depresji) = **60,0 – 5,0 = 55,0 m**,

H_0 (głębokość wody w studni do spągu Pierwszego Poziomu Wodonośnego) = $H_R - S_0 = 55,0 - 1,2 = 53,8$ m,

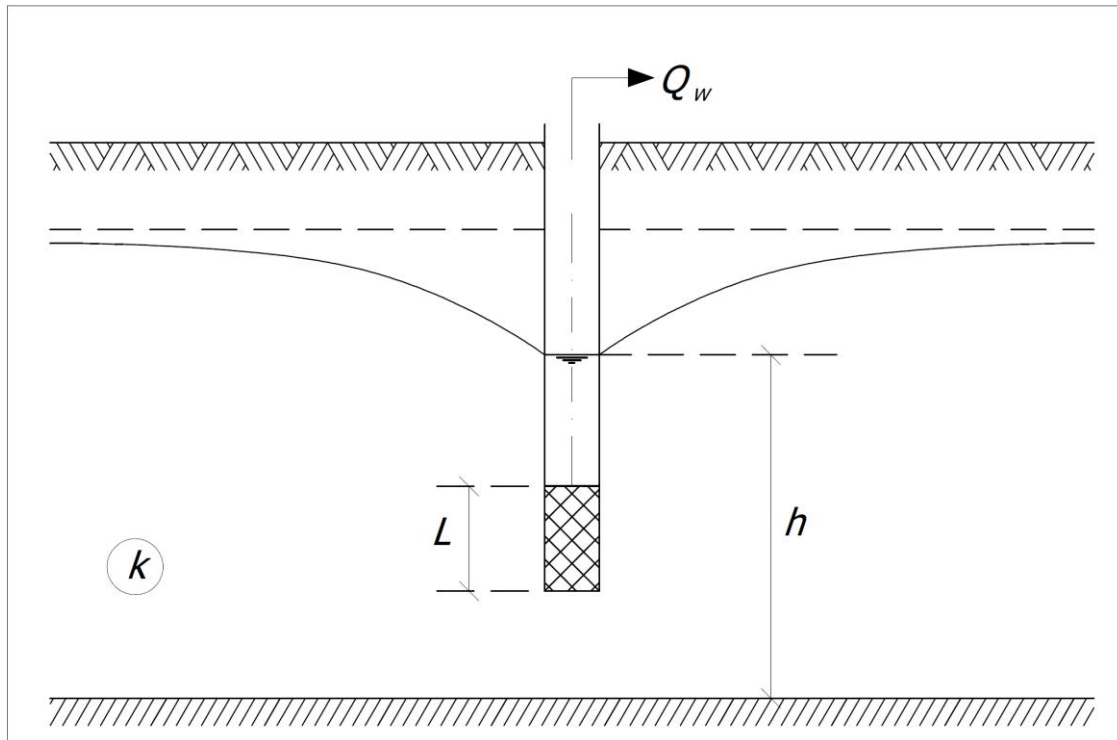
r_0 (promień studni) = **0,08 m**,

H (miąższość Pierwszego Poziomu Wodonośnego) = **60,0 m**,

R (promień lejka depresji) = $575 S_0 \sqrt{kH} = 575 \cdot 1,2 \cdot (5,79 \cdot 10^{-5} \cdot 60,0)^{0,5} = 40,66$ m.

Obliczona wydajność studni dogłębionej:

$$Q_0 = \pi k \frac{H_R^2 - H_0^2}{\ln \left(\frac{R}{r_0} \right)} = 3,14 \cdot 0,2083 \cdot \frac{55,0^2 - 53,8^2}{\ln \left(\frac{40,66}{0,08} \right)} = 13,714 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Obliczenie wydajności studni niedogłębionej:

Rys. 22. Schemat dopływu do studni niedogłębionej w warstwie o zwierciadle swobodnym
(oprac. B. Kierasiński na podstawie Pazdro (1983))

Dane wejściowe:

Q_0 (obliczona wydajność studni dogłębionej) = **13,714 m³/h**,

L (długość robocza filtra, tzn. długość tego odcinka, który przepuszcza przez siebie wodę do wnętrza studni) = **1,4 m** (średnia wartość przyjęta na podstawie standardowych długości filtrów z przedziału 0,8 ÷ 2,0 m),

h (odległość od poziomego obniżonego zwierciadła wody w studni niedogłębionej do spągu Pierwszego Poziomu Wodonośnego) = **53,8 m** (przy założeniu, że depresja w studni wynosi 1,2 m),

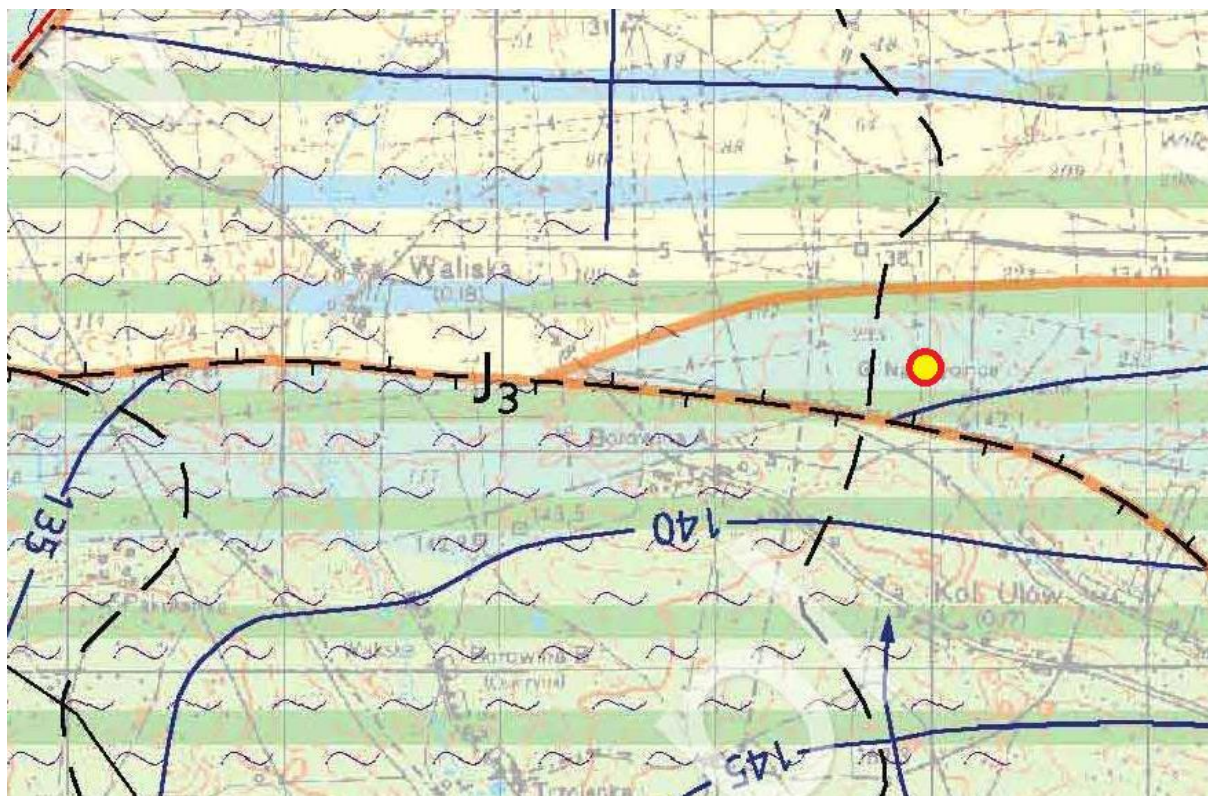
b (poprawka Forchheimera):

$$b = \left(\frac{L}{h}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{2h - L}{h}\right)^{0,25} = \left(\frac{1,4}{53,8}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{2 \cdot 53,8 - 1,4}{53,8}\right)^{0,25} = \mathbf{0,191}$$

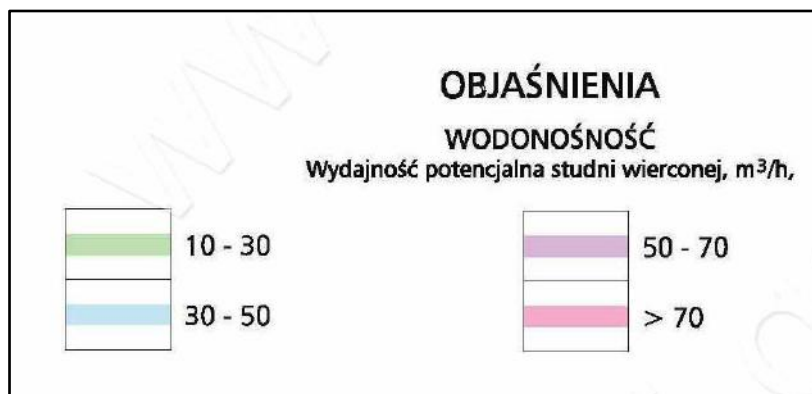
Obliczona wydajność studni niedogłębionej:

$$Q_w = Q_0 \cdot b = 13,714 \cdot 0,191 = 2,619 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Wydajność potencjalna studni wierconej, na podstawie mapy MHP-GUPW



Rys. 23. Mapa Głównego Użytkowego Poziomu Wodonośnego



Rys. 24. Oznaczenia na mapie MHP-GUPW do określenia wydajności potencjalnej studni wierconej

Zgodnie z zakresem kolorystycznym na mapie, wydajność potencjalna studni wierconej dla lokalizacji przykładowej studni wynosi **od 10 do 30 m³/h**.

LITERATURA:

KOWALSKI J. 1998. Hydrogeologia z podstawami geologii. Wydanie II. Wydaw. AR we Wrocławiu. Wrocław.

PAZDRO Z. 1983. Hydrogeologia ogólna. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa.

3. Pogoda i rolnictwo (B. Bąk)

Jednym z większych odbiorców prognoz meteorologicznych jest rolnictwo. Ta gałąź gospodarki jest w znaczny sposób uzależniona od warunków pogodowych, ponieważ mogą one zarówno sprzyjać wzrostowi produkcji rolniczej, jak również mogą doprowadzić gospodarstwa do ruiny finansowej.

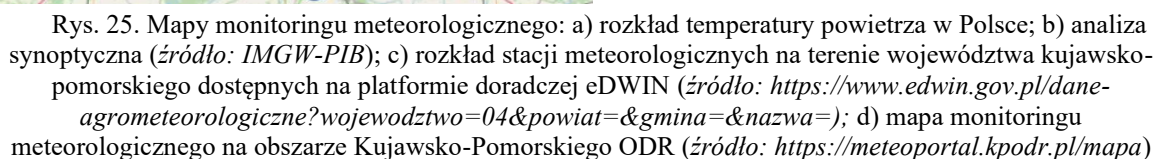
Woda stanowi niezbędny element życia wszystkich mieszkańców naszej planety. W Polsce około 60% upraw rolniczych jest uzależnionych od dwóch czynników: opadów atmosferycznych oraz zapasów wody glebowej zgromadzonej w okresie zimy. Losowa natura opadów, która objawia się naprzemiennością okresów mokrych i suchych, czyni to naturalne źródło wody jeszcze cenniejszym. Dla roślin dostępność wody jest warunkiem dla ich rozwoju zwłaszcza w uprawach polowych na glebach o gospodarce opadowo-retencyjnej. I chociaż naukowcy starają się wyhodować odmiany roślin bardziej odpornych na suszę, to jednak niewystarczające zapasy wody w glebie są nadal często czynnikiem limitującym wielkość produkcji polowej.

W okresach, kiedy problem wody dla rolnictwa staje się krytyczny, z niecierpliwością oczekujemy prognoz opadów dających nadzieję na złagodzenie suszy glebowej, roślinnej i hydrologicznej. Niestety, spośród wielu parametrów meteorologicznych są one najtrudniejsze do prognozowania. Oprócz czynników charakteryzujących właściwości fizyczne napływającego powietrza, na ostateczny przebieg opadów wpływa wiele innych czynników. Są one związane z rzeźbą i pokryciem terenu, obecnością zbiorników wodnych, rozkładem temperatury w różnych środowiskach, zwłaszcza w dużych aglomeracjach, gdzie występują tzw. wyspy ciepła i inne lokalne uwarunkowania. Tak więc prognozowanie opadów jest procesem skomplikowanym i trzeba też przyznać, że często prognozy te nie sprawdzają się zarówno pod względem wielkości opadu, jak i samego wystąpienia zjawiska. Opady mają charakter losowy i często ich zasięg jest niewielki, a nawet punktowy. Skoro trudno jest dokładnie przewidzieć wystąpienie opadów, tym bardziej - w przypadku uprawy roślin - potrzebne jest zwiększenie efektywności wykorzystania dostępnych zasobów wody lub znajdowania jej alternatywnych źródeł.

Decydująca rola wody nie świadczy o nieważności pozostałych czynników pogodowych, takich jak temperatura powietrza, nasłonecznienie, wilgotność powietrza czy prędkość wiatru. Są one również kluczowe do prawidłowej uprawy roślin, a ich rola może się zmieniać w zależności od np. fazy rozwojowej rośliny, czy dokonywania zabiegów profilaktycznych (np. opryski). Możliwość przewidywania zjawisk takich jak przymrozki, silny wiatr czy opady gradu pomaga przedsięwziąć kroki zaradcze i zmniejszać negatywne skutki wpływu tych zjawisk pogodowych, szczególnie w sadownictwie, warzywnictwie czy uprawach specjalnych.

3.1. Monitoring meteorologiczny

Pojęcie **monitoring meteorologiczny** oznacza ciągłe obserwacje oraz pomiary parametrów pogodowych przez specjalistyczne urządzenia pomiarowe. Aktualnie stawia się na pomiary automatyczne, które z ustaloną częstością rejestrują potrzebne parametry. Zebrane dane można pobrać korzystając ze specjalnego oprogramowania lub bezpośrednio przekazywać do odpowiednich serwerów. W obu przypadkach dane te są odczytywane poprzez odpowiednie zobrazowanie. Te, zamieszczane na stronach internetowych różnych centrów meteorologicznych, są na ogół ogólnie dostępne i korzystanie z nich do własnych celów jest bezpłatne.



Pierwsza z prezentowanych map (rys. 25a) jest aktualizowana co godzinę w oparciu o dane temperatury pochodzące z sieci stacji IMGW. Następna powstała na podstawie danych meteorologicznych pochodzących z obszaru Europy i stacji morskich, i przedstawia rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza, temperaturę powietrza oraz prędkość i kierunek wiatru. Uzupełnieniem tych danych są nałożone strefy zachmurzenia zaczerpnięte z obserwacji satelitarnych i zaznaczone położenia frontów atmosferycznych.

Zdarza się, że w danym regionie gęstość stacji meteorologicznych jest zbyt mała i w trosce o jakość plonów lub zbiorów, może być konieczny zakup przez rolnika własnej stacji monitoringowej. Rynek jest w stanie dostarczyć wiele takich urządzeń, od bardzo prostych, kosztujących kilkaset złotych, do droższych, ale za to w pełni zautomatyzowanych i zapewniających bezprzewodową transmisję danych. W przypadku dużych obszarów użytkowanych rolniczo przez gospodarstwo i zróżnicowanych np. pod względem występowania opadów, ukształtowania terenu lub lokalnego rozkładu temperatury, można rozważyć potrzebę założenia własnej sieci monitoringowej. W przypadku rozmieszczania deszczomierzy jako osobnych urządzeń pomiarowych lub jako elementów stacji meteorologicznej do celów monitoringu, jedni autorzy wskazują na powierzchnię 10 km² jako wartość, przy której opad może być traktowany jako niezmienny, inni zalecają lokalizację jednego deszczomierza na każde 4 km². Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO) zaleca przestrzeganie pewnych gęstości stacji deszczomierzy dla różnych typów zlewni. W przypadku małych regionów górskich z nieregularnymi opadami zaleca się jedną stację na 25 km², natomiast w regionach wysoko rozwiniętych, w których nawet najmniejsze ciekі wodne mają znaczenie gospodarcze, gęstość stacji wzrasta do 10-20 km².

Dane dotyczące warunków meteorologicznych można również pozyskać z danych satelitarnych i radarowych udostępnianych przez różne centra pogodowe np. IMGW-PIB (www.meteo.imgw.pl, <http://agrometeo.pogodynka.pl/monitoring>), Sat24 (www.sat24.com), WetterOnline (www.wetteronline.de). Udostępniane dane są pomocne w przewidywaniu intensywności zjawisk pogody i ich wpływu na planowany harmonogram prac polowych.

3.2. Inne rodzaje monitoringu

Monitoring wilgotności gleby

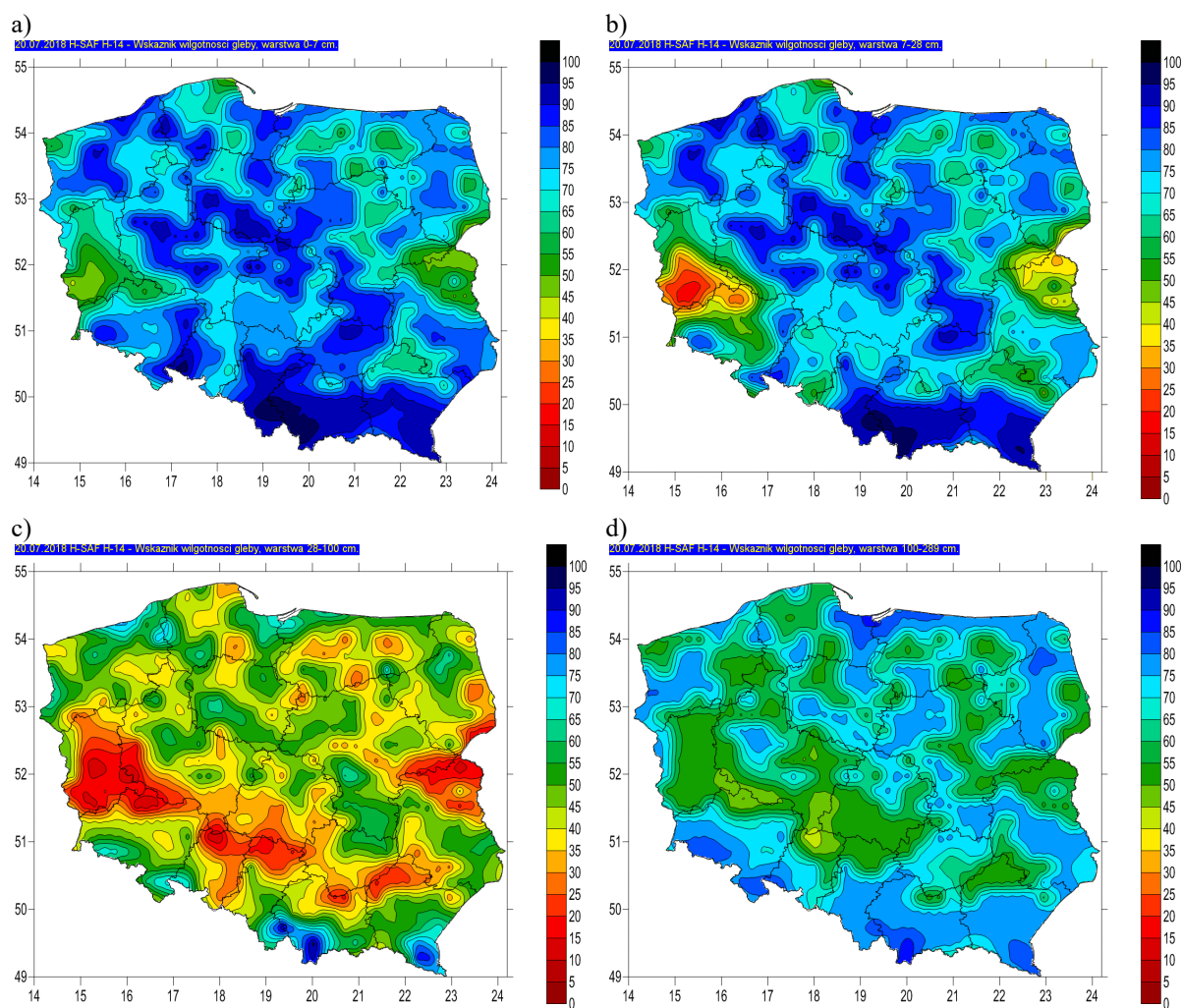
Szczególnym rodzajem monitoringu, który powinien zainteresować rolników i instytucje ogólnorolnicze jest monitoring wilgotności gleby. W tym przypadku IMGW-PIB strona https://agrometeo.imgw.pl/monitoring/susza_glebowa udostępnia wykresy rozkładu wskaźnika wilgotności gleby (w %) w skali powiatu, od stanu od pełnego wyschnięcia (wartość bliska zeru) do pełnego nasycenia wodą (wartość 100%). Przykładowy przebieg dla powiatu bydgoskiego (województwo kujawsko-pomorskie) przedstawiono na rys. 26.

Przyjęta skala powiatu w wielu przypadkach jest mało precyzyjna w odniesieniu do konkretnego gospodarstwa i ma raczej charakter poglądowy. Jeśli sygnalizuje np. suszę glebową to oznacza, że susza taka może występować na różnych typach gleb, przy czym w pierwszej kolejności pojawia się na glebach lekkich i ma ona większą intensywność niż na glebach cięższych (bardziej zwięzłych), charakteryzujących się większą retencją wody. W przypadku trwałych użytków zielonych (TUZ) susza w pierwszej kolejności pojawi się w siedliskach suchych, a najpóźniej, a czasami i wcale, w siedliskach wilgotnych i bardzo

wilgotnych. Podobne informacje o rozkładzie wilgotności gleby pokazują ogólnopolskie mapy wskaźnika wilgotności gleby opracowane dla czterech warstw gleby na podstawie danych teledetekcyjnych z ostatnich 3 miesięcy (rys. 27).



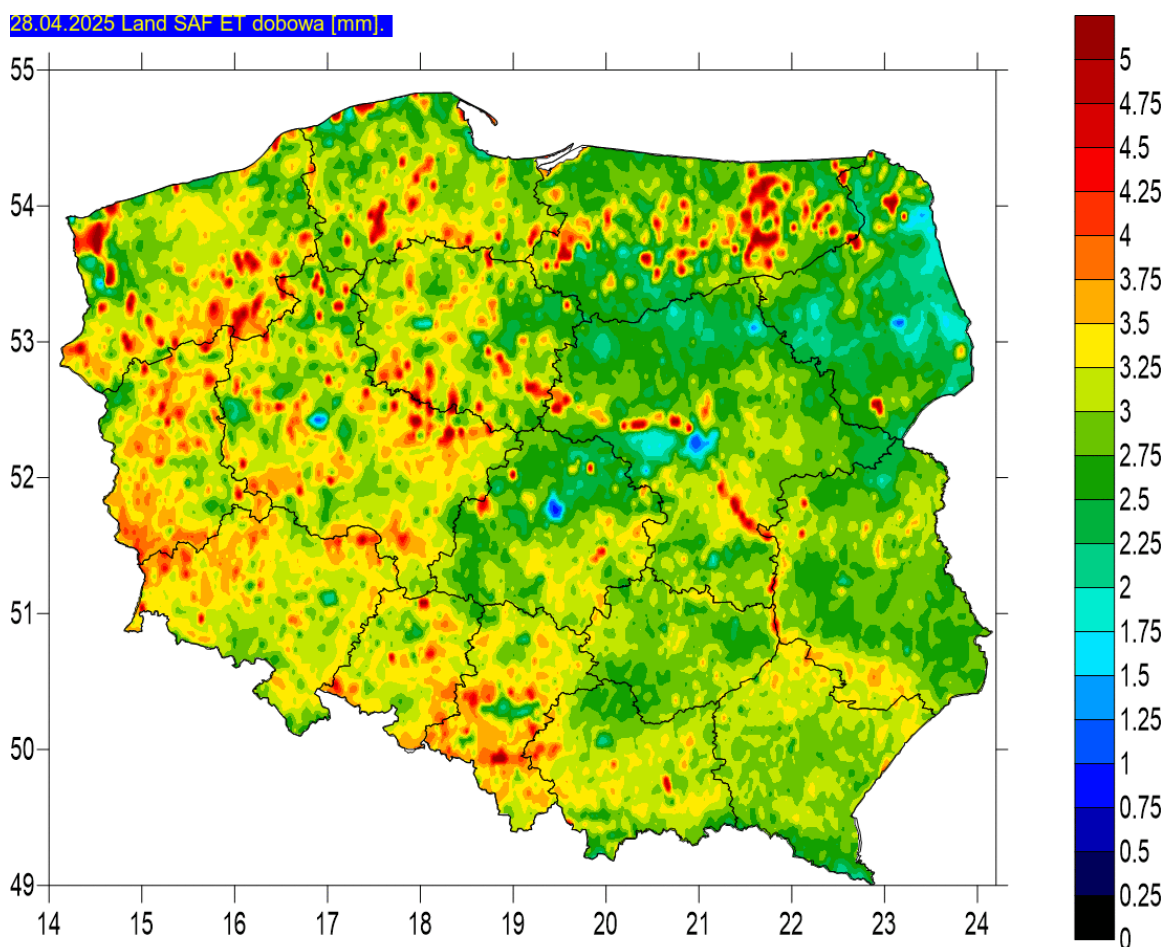
Rys. 26. Wskaźnik wilgotności gleby 0-100% - województwo kujawsko-pomorskie - powiat bydgoski
(źródło: IMGW-PIB)



Rys. 27. Rozkład wskaźnika wilgotności gleby (0-100%) na różnej głębokości: a) 0-7 cm; b) 7-28 cm; c) 28-100 cm; d) 100-289 cm (źródło: IMGW-PIB: https://agrometeo.imgw.pl/monitoring/rozklad_opadow)

Monitoring ewapotranspiracji ET

Produkt o nazwie „Ewapotranspiracja” (ET) jest tworzony przez EUMETSAT Land SAF (Satelitarne Centrum Aplikacyjne dla Powierzchni Ziemi) i przedstawia mapę ewapotranspiracji rzeczywistej (rys. 28). Rozdzielczość przestrzenna wynosi ok. 5-6 km dla obszaru Polski. Na podstawie obliczonej ET w kroku 30 min, tworzone są mapy sumy ewapotranspiracji za ostatnią dobę. Wysokie wartości ET świadczą o istotnym ubytku wody z gleby. Gdy deficyt wody już ogranicza procesy fotosyntetyczne roślin (początek rozwoju suszy), ewapotranspiracja rzeczywista (aktualna) spada. Również obszary nie pokryte roślinnością wykazują istotnie niższe wartości ET. Prezentowane na mapie wartości ewapotranspiracji są wyrażone w milimetrach.

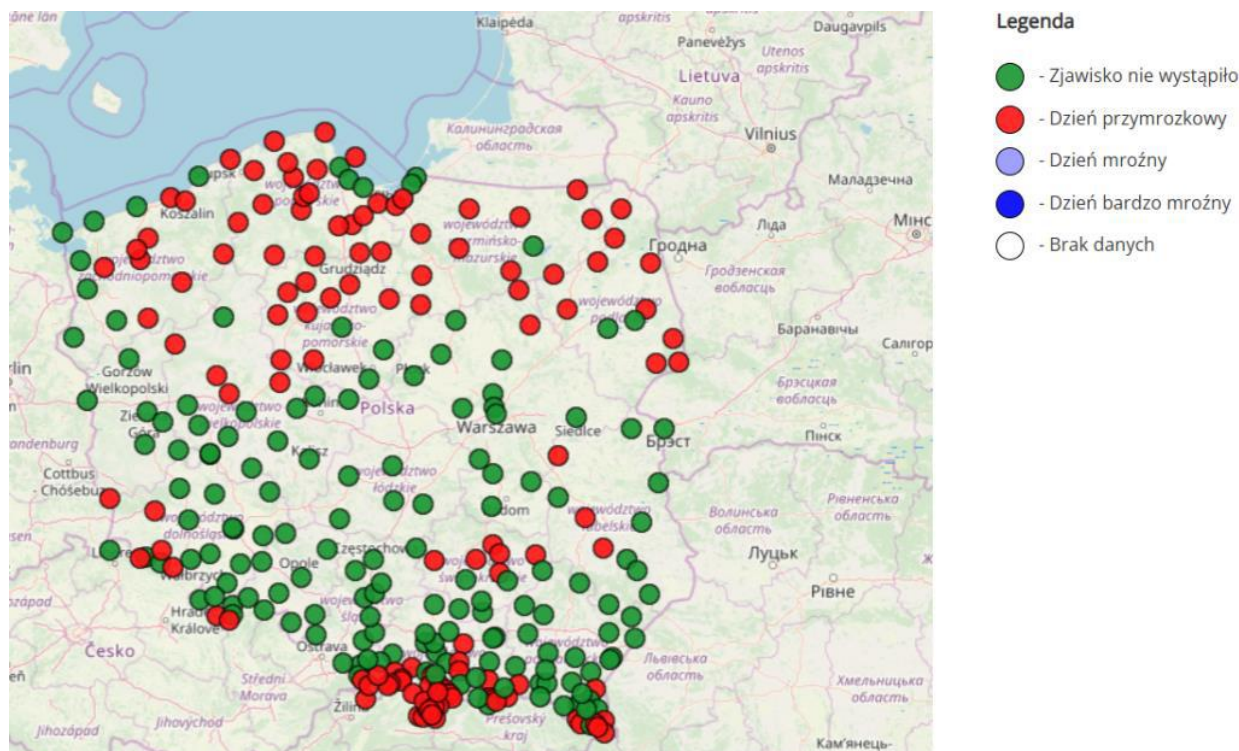


Rys. 28. Mapa ewapotranspiracji rzeczywistej (aktualnej) ET z dnia 28.04.2025.
(źródło: IMGW-PIB (<https://agrometeo.imgw.pl/obrazysat>))

Mapa przedstawiona na rys. 28 ma szczególne znaczenie w okresach suszy meteorologicznej charakteryzujących się okresami pogody bezchmurnej lub z małym zachmurzeniem. Są to warunki sprzyjające zwiększonemu parowaniu z gleby, które prowadzi do przesuszania wierzchniej warstwy gleby. Dodatkowym czynnikiem jest również temperatura powietrza, której wzrost powoduje przyspieszenie efektu przesuszania. W okresie wiosny i jesieni, skumulowane działanie tych czynników połączone z silnym wiatrem przyczynia się do erozji glebowej, która często wyjawia glebę.

Monitoring przymrozków

W przypadku upraw sadowniczych, warzywniczych, a niekiedy również polowych, istotną rolę odgrywa monitoring przymrozków. Przykładową mapę zagrożenia przymrozkami przedstawiono na rys. 29.

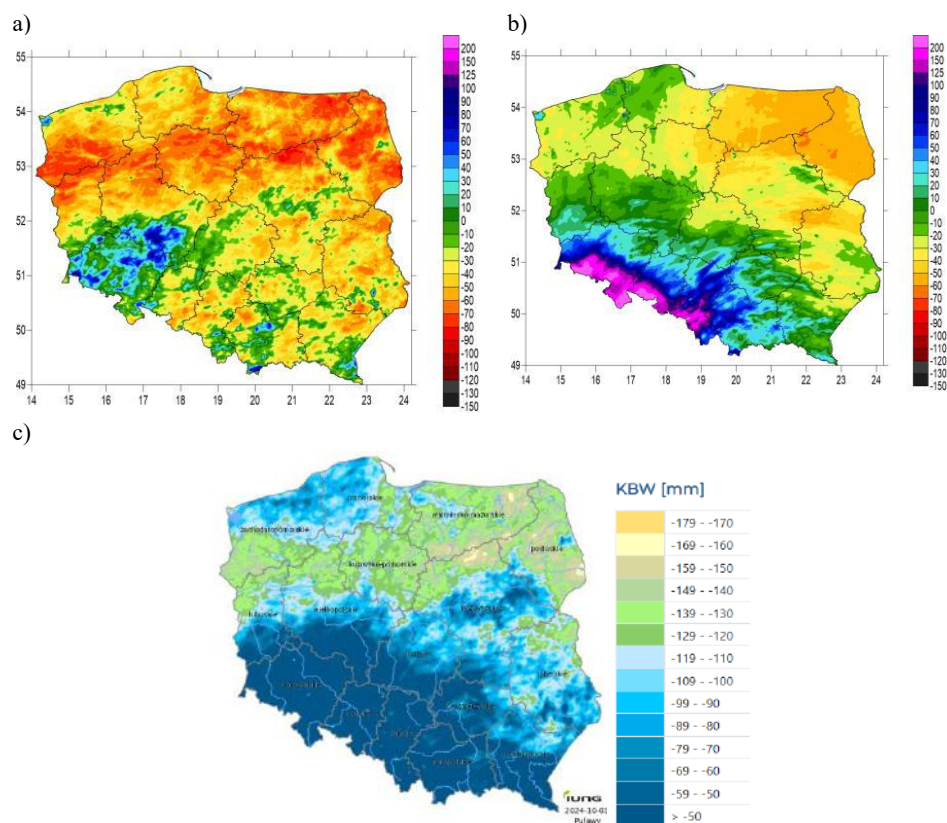


Rys. 29. Mapa zagrożenia przymrozkami z dnia 5.04.2025.
(źródło: IMGW-PIB (<https://agrometeo.imgw.pl/przymrozki>))

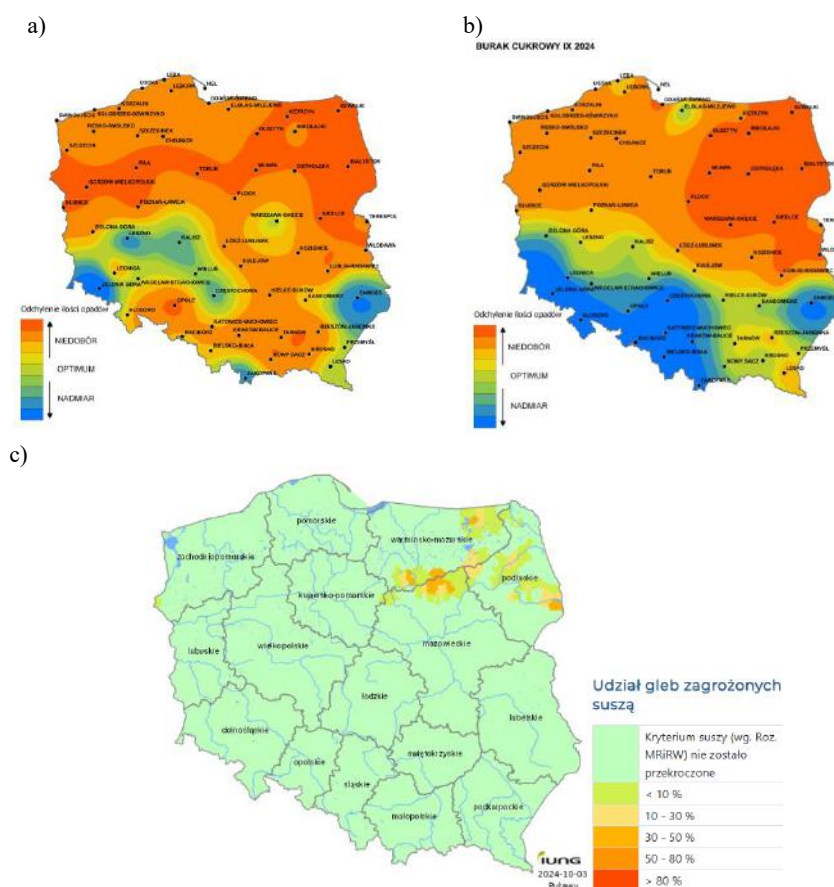
Powyższa mapa pokazuje sytuację, która już miała miejsce konkretnego dnia i ma raczej charakter poglądowy o skali występowania zjawiska na obszarze kraju. Dla właścicieli sadów, upraw warzywniczych większe znaczenie ma przewidywanie zagrożeń przymrozkiem, aby móc podejmować wyprzedzające środki zaradcze.

Monitoring hydrologiczny

Stany wód powierzchniowych w zlewni świadczą o ich zasobności i możliwości ich wykorzystania do różnych celów w gospodarce, w tym również w rolnictwie. Jeśli susza hydrologiczna występuje na rzekach w danym regionie, to z dużym prawdopodobieństwem można oczekiwać obniżenia się lustra wody w małych zbiornikach wodnych i rowach melioracyjnych lub ich całkowitego wyschnięcia. W warunkach normalnych są to istotne źródła wody dla upraw polowych i trwałych użytków zielonych (TUZ). Śledząc mapy sytuacji hydrologicznej można obserwować zachodzące zmiany stanów wód i w przypadku pogarszającej się sytuacji hydrologicznej wstępnie przygotowywać się na poszukiwanie alternatywnych źródeł wody dla upraw. W Polsce monitoring hydrologiczny jest prowadzony przez IMGW-PIB, a jego wyniki są prezentowane na stronie internetowej (rys. 30).



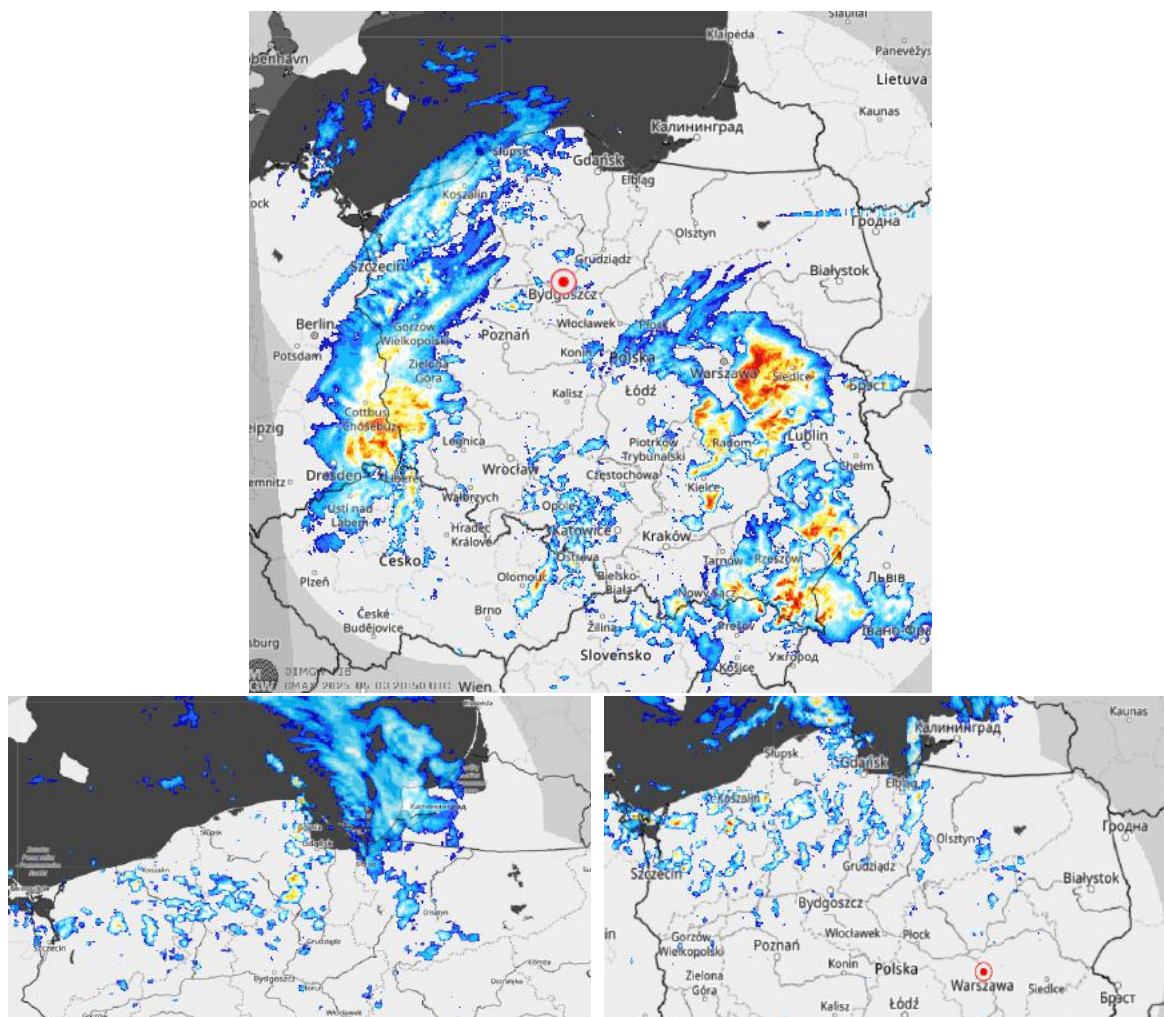
Rys. 31. Mapy monitoringu suszy w 2024 r. na podstawie wskaźnika KBW. a) sierpień ; b) wrzesień (źródło: IMGW-PIB); c) 6-dekadowy okres 01.08-30.09.2024 (źródło: IUNG-PIB)



Rys. 32. Mapy monitoringu suszy w uprawie buraka cukrowego w 2024 r.: a) sierpień; b) wrzesień (źródło: IMGW-PIB); c) 6-dekadowy okres 01.08-30.09.2024 (źródło: IUNG-PIB)

Monitoring radarowy

Ten rodzaj monitoringu jest preferowany do operacyjnego planowania prac polowych. Obserwując na bieżąco przemieszczanie się strefy opadowo-burzowej oraz intensywność tych zjawisk można ocenić termin ich pojawienia się w rejonie gospodarstwa i odpowiednio zaplanować harmonogram prac polowych. Aktualnie w Internecie można znaleźć wiele stron, na których ten rodzaj monitoringu jest prezentowany. Przykład takiego zobrazowania na stronach internetowych IMGW-PIB pokazano na rys. 33.



Rys. 33. Przykład monitoringu radarowego (źródło: IMGW-PIB)

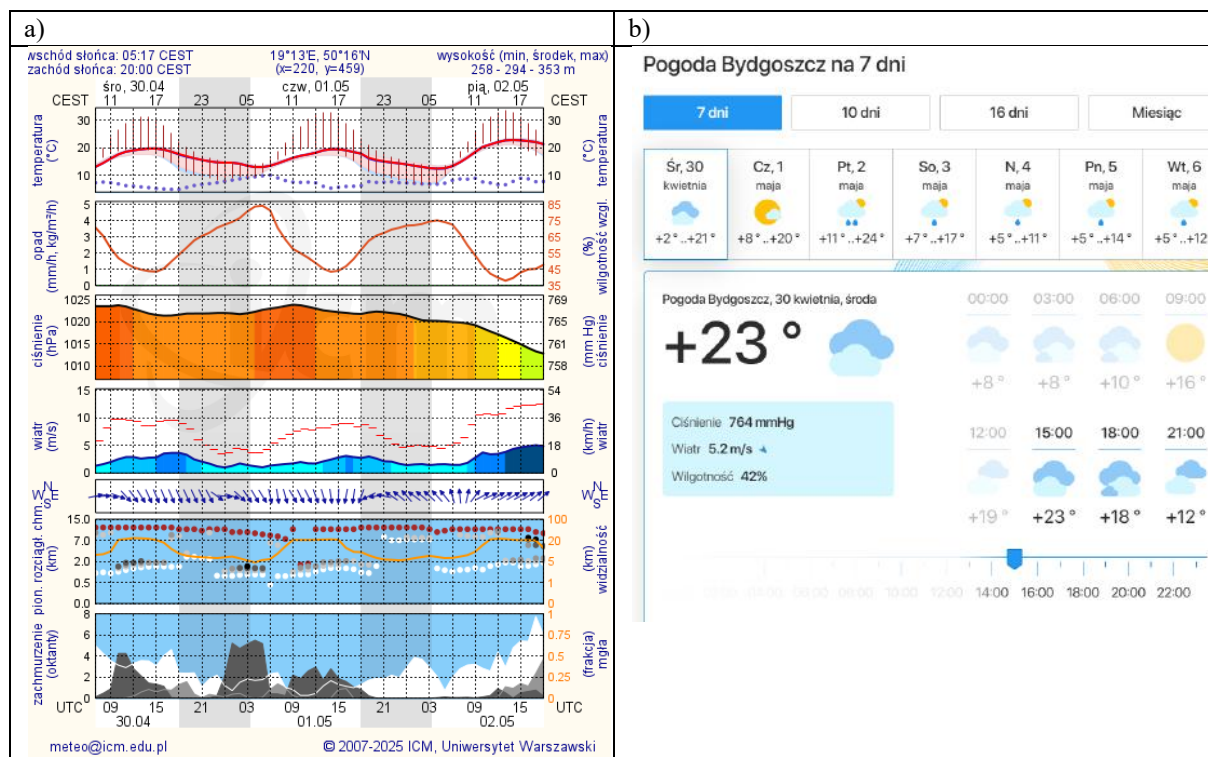
3.3. Źródła prognostycznych informacji meteorologicznych dla rolnictwa

Monitoring meteorologiczny i pozostałe - wymienione w rozdziale 3.2. - dostarczają informacje o rzeczywistym stanie pogody w różnych skalach czasowych i przestrzennych, natomiast prognoza dotyczy przewidywanych zmian określonych parametrów pogody w ustalonej jednostce czasu. Najczęściej wykorzystujemy prognozy krótkoterminowe (do 72 godzin), średnioterminowe (do 5-7 dni) i długoterminowe (do 14-16 dni). W Internecie możemy znaleźć również prognozy dłuższe, np. miesięczne lub sezonowe, przy czym należy pamiętać, że im dłuższy okres prognozowania, tym mniejsza jest sprawdzalność takich scenariuszy pogodowych.

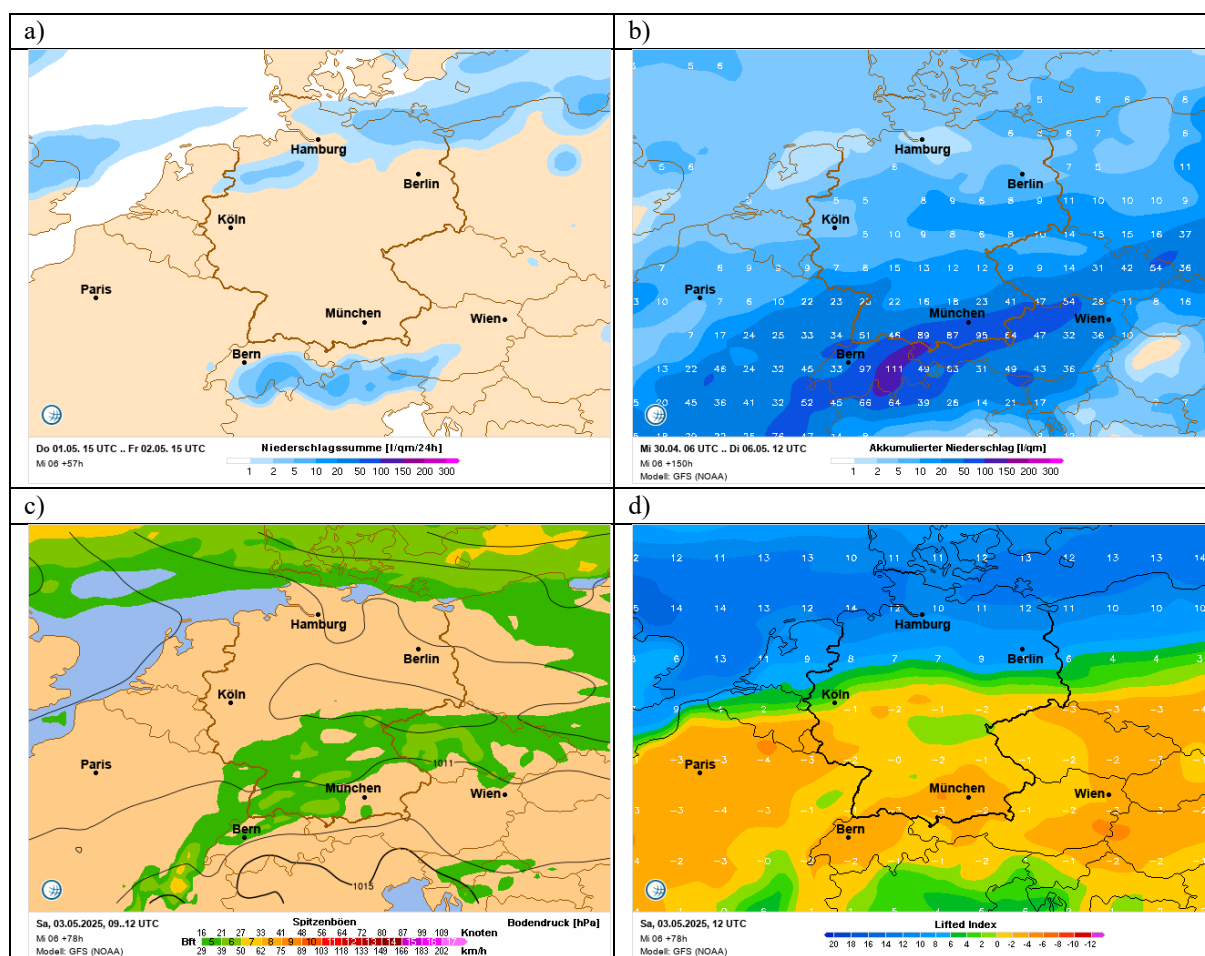
Istnieje wiele ośrodków naukowych wyspecjalizowanych w przygotowaniu różnych prognoz dotyczących pogody. Część użytkowników Internetu ma swoje preferowane strony internetowe, inni szukają informacji na jednej stronie i potwierdzenia na stronach innych ośrodków. Problem pojawia się, kiedy trzeba podejmować określone decyzje, a prognozy podają niekiedy rozbieżne scenariusze.

W tej części e-Przewodnika przedstawiono przykładowe strony internetowe, z których można pobierać prognozy pogody wspomagające planowanie prac polowych i około gospodarskich. Powyższy wybór jest subiektywny i oparty na wieloletnich doświadczeniach autora (B. Bąka) w pracy synoptycznej (ICM 2025; IMGW-PIB 2025; WetterOnline 2025). Jednak o ich wartości, czyli sprawdzalności, trzeba przekonać się samemu, najlepiej poprzez systematyczne przeglądanie powyższych stron internetowych, a także konfrontowanie prognoz pozyskanych z innych źródeł. Może się okazać, że prognozy opracowane przez któryś z podanych ośrodków dość dobrze sprawdzają się w jednym regionie, natomiast są mniej wiarygodne w innych częściach kraju. Na przykład w przypadku prognoz dotyczących zachodniej i środkowej Polski autor często korzysta z prognoz dostarczanych z ośrodka WetterOnline, natomiast nie ma wiedzy, jaka jest ich sprawdzalność na wschód od Wisły.

Ponieważ rolnictwo jest związane na dobre i na złe z warunkami pogody, więc częste zagłębienie na te lub inne preferowane strony, także poza sezonem wegetacyjnym, daje możliwość zweryfikowania przedstawianych prognoz i ocenę ich przydatności w prowadzeniu gospodarstwa rolnego. Przykłady stron internetowych z prognozami opracowanymi dla różnych przedziałów czasu, od 3 dni do miesiąca, przedstawiono na rys. 34 i 35.



Rys. 34. Przykład prognozy a) krótkoterminowej (3-dniowej) (źródło: https://www.meteo.pl/um/php/meteorogram_id_um.php?ntype=0u&id=690); b) 7-dniowej prognozy pogody (źródło: <https://meteo.imgw.pl/>)



Rys. 35. Przykłady prognoz długoterminowych (16-dniowych): a) prognoza dobowej sumy opadów (mm/24 h); b) prognoza skumulowanej sumy opadów (mm/dni); c) prognoza prędkości wiatru (km/h); d) prognoza możliwości rozwoju działalności burzowej (źródło: <https://www.wetteronline.de/profiwetter>)

Na rysunku 35d przedstawiono mapę zagrożenia występowaniem zjawisk burzowych. Wartości dodatnie wskaźnika Lifted Index świadczą o braku możliwości rozwoju burz. W przypadku wartości ujemnych, im mniejsza jest wartość tego wskaźnika, tym większe jest zagrożenie wystąpieniem burz i wzrostem ich intensywności.

W przestrzeni Internetu, co jakiś czas, pojawiają się nowe strony pogodowe, często bardzo efektowne, które próbują przekonać nas do korzystania właśnie z ich produktów, czyli analiz i prognoz. Trzeba jednak mieć na uwadze fakt, że na świecie funkcjonuje tylko kilkanaście centrów pogody, gdzie w sposób naukowy i z wykorzystaniem najpotężniejszych mocy obliczeniowych, tworzy się lub modyfikuje już istniejące modele matematyczne, będące podstawą numerycznych prognoz pogody. Są one źródłem danych dla twórców większości portali pogodowych, którzy wykorzystują je na swoich stronach internetowych i przedstawiają w postaci tabel, wykresów, map, a niekiedy również komentarzy własnych synoptyków. W ostatnich latach coraz częściej do procesu prognozowania włączana jest też sztuczna inteligencja AI, która nie tylko weryfikuje prognozowane warunki z rzeczywistymi, ale także wprowadza korekty do istniejących modeli.

Dotychczas prezentowano ogólnodostępne źródła informacji agrometeorologicznej, które mają tę podstawową zaletę, że są bezpłatne. Natomiast zarówno w literaturze, jak i w Internecie można znaleźć coraz częściej pojawiające się informacje o powstających firmach oferujących

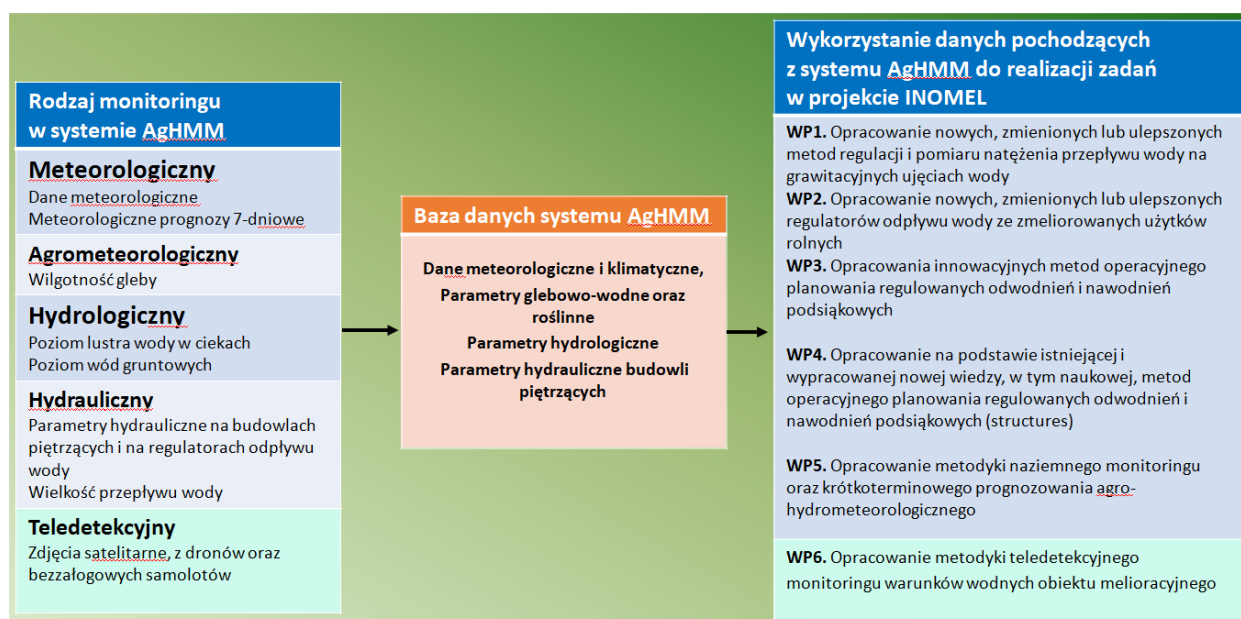
szeroko pojętą obsługę gospodarstw, w tym monitorowanie i prognozowanie agrometeorologiczne. Usługa ta jest oczywiście płatna, przy czym niektóre firmy oferują możliwość wykupienia sezonowego abonamentu, który umożliwia rolnikom dostęp do zastrzeżonych stron internetowych, na których znajdują się powyższe dane odnoszące się do konkretnych gospodarstw. Inna forma takiej usługi przewiduje przekazywanie drogą SMS-ową codziennych informacji o sytuacji agrometeorologicznej na polach rolnika i dostarczanie krótkoterminowej prognozy, najczęściej 3- 5-dniowej wybranych parametrów meteorologicznych. Istnieje również możliwość zamówienia w którymś z ośrodków przygotowujących prognozy usługi prognozowania wybranych parametrów pogody dla konkretnej lokalizacji, np. siedziby dużego gospodarstwa, przy czym ta forma usługi jest najczęściej najdroższa. Zaletą wspomnianych alternatywnych usług jest oszczędność czasu rolnika, bo otrzymuje konkretne dane, które mogą mu pomóc w produkcji rolniczej. Minusem jest dodatkowy koszt i brak gwarancji co do rzetelności dostarczanych informacji.

3.4. Monitoring agro-hydro-meteorologiczny (AgHMM) w projekcie INOMEL

Problemowi monitorowania zjawisk pogodowych i ich prognozowania, jak również przewidywania skutków w środowisku rolniczym, poświęcony był jeden z elementów projektu naukowo-badawczego pod nazwą INOMEL. Był on realizowany w latach 2018-2021 przez konsorcjum składające się z ośrodków naukowych oraz prywatnych firm. Liderem tego przedsięwzięcia był Instytut Technologiczno-Przyrodniczy (ITP). Projekt przewidywał utworzenie na 6 obiektach melioracyjnych (pola uprawne i TUZ) systemu pomiarów i obserwacji, które zapewniły okresowe pomiary elementów hydrologicznych na ciekach wodnych na obiektach nawodnień podsiąkowych i obiektach drenarskich oraz ciągłe pomiary elementów meteorologicznych i agrometeorologicznych w sezonach wegetacyjnych 2019–2020. Powyższe zadania były realizowane w ramach systemu występującego pod nazwą **Monitoring agro-hydro-meteorologiczny (AgHMM)**.

Zasadniczym celem systemu AgHMM obiektów nawadniająco/odwadniających na gruntach ornych i TUZ było dostarczanie niezbędnych danych, które wspomagają prowadzenie racjonalnej gospodarki wodnej w rolnictwie, zmniejszają ryzyko wystąpienia suszy rolniczej lub nadmiernego uwilgotnienia gleby na obiekcie melioracyjnym, zapewniają stabilną produkcję rolniczą, a także przyczyniają się do utrzymywania naturalnych źródeł wody i ograniczenia degradacji gleb. Ogólny schemat działania różnych rodzajów monitoringu w ramach systemu AgHMM przedstawiono na rys. 36.

Dane meteorologiczne oraz wyniki pomiarów agrometeorologicznych i hydrologicznych służyły do bieżącej oceny środowiska atmosfery, gleby i wody na badanych obiektach. Monitoring naziemny był wspierany pozyskiwanymi z IMGW-PIB średnioterminowymi (7-dniowymi) prognozami elementów meteorologicznych, które były efektem uruchomionego modelu prognostycznego COSMO. Zebrane dane pomiarowe i prognozowane były elementami tygodniowego biuletynu meteorologicznego, który był opracowywany w okresie pomiarowym i przesyłany do konsorcjantów projektu w celu wykorzystania ich w opracowywanych modelach matematycznych. Na ich podstawie analizowano bieżące zmiany parametrów agro-hydro-meteorologicznych oraz prognozowano ich zmiany w kolejnych dniach prognozy (tab. 8).

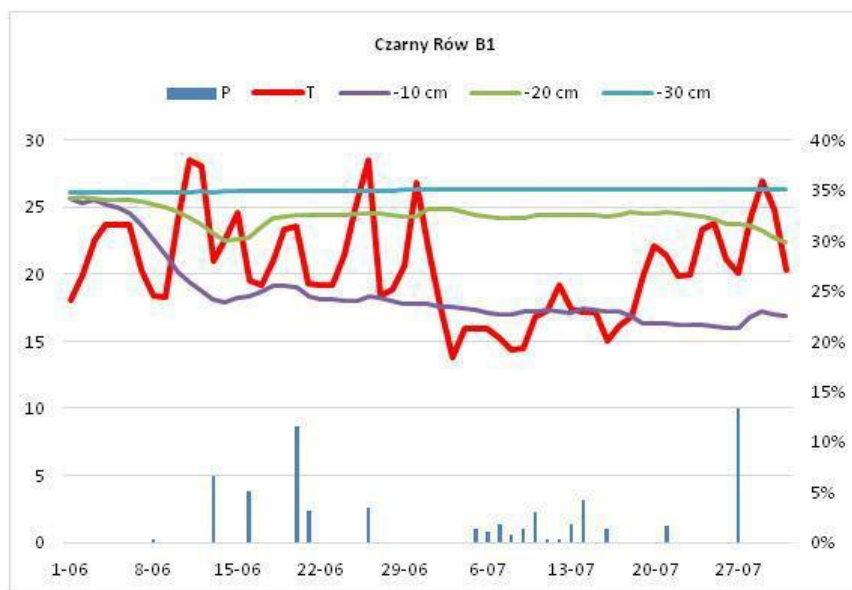


Rys. 36. Ogólny schemat działania systemu AgHMM (oprac. B. Bąk)

Tabela 8. Przykład tygodniowego biuletynu meteorologicznego opracowywanego dla obiektu Czarny Rów (powiat Szubin, woj. kujawsko-pomorskie) (oprac. B. Bąk)

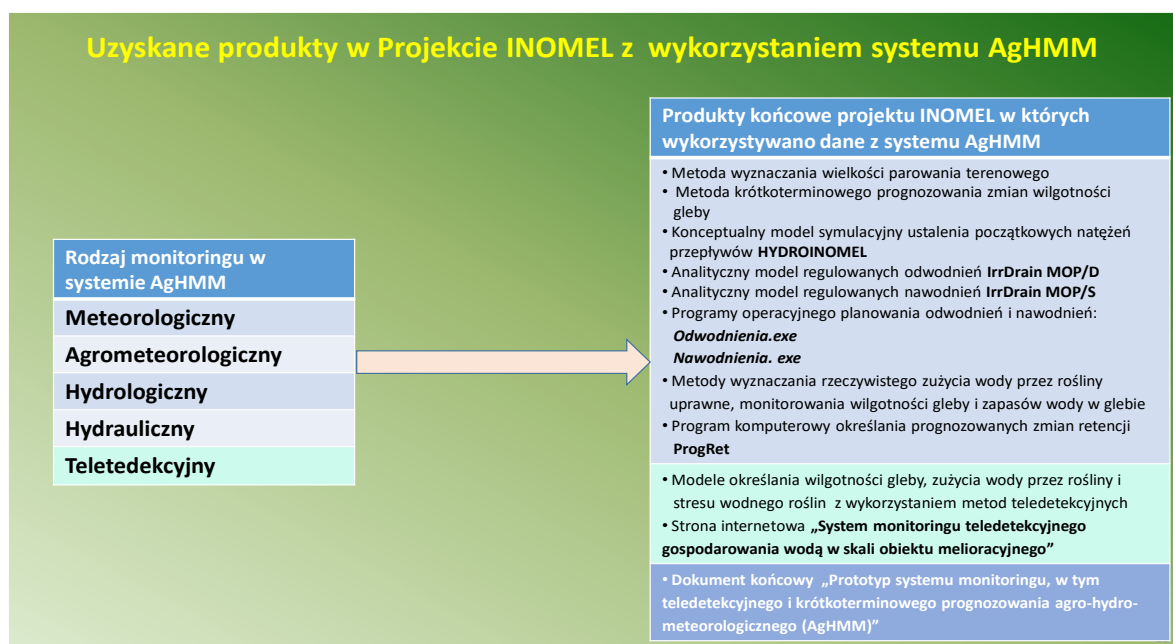
Obserwacje							
Dzień	24/09/19	25/09/19	26/09/19	27/09/19	28/09/19	29/09/19	30/09/19
P [mm]	0,0	0,2	0,5	3,5	0,3	1,1	3,0
T [°C]	8,3	11,9	13,4	13,7	13,9	14,1	13,1
f [%]	98,6	94,9	92,0	97,1	92,4	90,7	95,4
R _s [W/m ²]	48,9	58,6	71,8	63,1	70,6	64,1	26,8
v [m/s]	0,7	0,5	0,4	1,5	2,4	3,6	3,5
Prognozy							
Dzień	01/10/19	02/10/19	03/10/19	04/10/19	05/10/19	06/10/19	07/10/19
P [mm]	0,1	1,2	0,0	1,3	0,9	0,0	0,0
T [°C]	14,5	14,5	14	13,8	13,6	13,8	13,7
f [%]	73,2	81,6	85,3	87,7	79,2	71,2	71,6
R _s [W/m ²]	157,8	42,4	79,6	55,9	136,4	101	158,5
v [m/s]	3,1	2,0	0,9	3,5	4,0	5,2	5,1

Celem monitoringu agrometeorologicznego było zbieranie informacji dotyczących uwilgotnienia gleby na różnych głębokościach. Dla celów rolniczych najczęściej wykonuje się pomiary co 10 cm od powierzchni terenu, w warstwach od 0 do 60 cm lub od 0 do 100 cm. Na obiekcie Czarny Rów B1 wykorzystywano sondy profilowe (do 60 cm) i czujniki wilgotności gleby (do 30 cm). Zastosowane mierniki zapewniały ciągłe pomiary wilgotności gleby i ich transmisję na serwer dzięki modułowi GPRS. Ponadto urządzenia były wyposażone w pamięć o dużej pojemności (tzw. data logger), co umożliwiało zapis do kilku tysięcy danych. Przykładowe zobrazowanie danych pomiarowych wilgotności gleby na tle rozkładu opadów i temperatury powietrza przedstawiono na rys. 37.



Rys. 37. Zmiany wilgotności gleby na poziomach 10, 20 i 30 cm na tle przebiegu temperatury i opadów w okresie 1.06-31.07.2019 r. (oprac. B. Bąk)

Monitoring AgHMM był niezbędny do przeprowadzenia wielu zadań badawczych i rozwojowych w projekcie INOMEL o czym świadczy poniższe zestawienie (rys. 38).



Rys. 38. Uzyskane produkty w Projekcie INOMEL z wykorzystaniem systemu AgHMM (oprac. B. Bąk)

Budowa i eksploatacja systemu AgHMM, a tak naprawdę sześciu niezależnych podsystemów uwzględniających specyfikę każdego monitorowanego obiektu melioracyjnego, była pionierskim przedsięwzięciem w Polsce. Zebrane doświadczenia, powstała literatura (BINIAK i in. 2020; KACA i in. 2020; BĄK i in. 2021; KANECKA-GESZKE i in. 2021) oraz dokumentacja (KORONCZOK 2022) mogą być inspiracją do tworzenia podobnych systemów w różnych regionach kraju.

Być może powyższa informacja zainteresuje zarówno osoby indywidualne, jak i podmioty zajmujące się zagadnieniem sterowania wodą na obiektach melioracyjnych nawodnień podsiąkowych oraz drenarskich, i stanie się przyczynkiem stworzenia podobnego systemu na obszarach szczególnie predysponowanych do adaptacji do zmian klimatu. Wśród potencjalnych zainteresowanych tworzeniem własnych systemów monitorowania i prognozowania w środowisku gleba-powietrze-woda mogą być wielkoobszarowi rolnicy, grupy producenckie, stowarzyszenia rolników gospodarujących na terenach zmeliorowanych, spółki wodne, doradcy ds. wody działający w ośrodkach doradztwa rolniczego, terenowe oddziały Wód Polskich sp. z o.o., wydziały rolnictwa administracji państwowej i samorządowej, a także lokalne partnerstwa dla wody.

LITERATURA:

- BINIAK-PIERÓG M., CHALFEN M., ŻYROMSKI A., DOROSZEWSKI A., JÓZWICKI T. 2020. The Soil Moisture during Dry Spells Model and Its Verification. Resources, 9(7), 85; <https://doi.org/10.3390/resources9070085>
- BINIAK-PIERÓG M., BOLEWSKI T., KACA E., KANECKA-GESZKE E., KASPERSKA-WOŁOWICZ W., KUBRAK J., LIBERADZKI D., NAPIERAŁA M., OLESZCZUK R., STASIK R., SZYMCZAK T., ŻYROMSKI A. 2021. Prototyp systemu monitoringu, w tym teledetekcyjnego i krótkoterminowego prognozowania agro-hydro-meteorologicznego (AgHMM). Pr. zb. red. naukowa Bogdan Bąk, ITP Falenty
- KACA E., OLESZCZUK R., KUBRAK J., ŁABĘDZKI L., BĄK B., KASPERSKA-WOŁOWICZ W., KANECKA-GESZKE E., NAPIERAŁA M., ŻYROMSKI A., BINIAK-PIERÓG M. 2020. Monitoring i prognozy na potrzeby metod operacyjnego planowania. W: Operacyjne sterowanie procesem nawodnień podsiąkowych i odwodnień – komputerowy system wspomagania decyzji wraz z przykładami zastosowania. Pr. zb. red. nauk. E. KACA. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. pp. 187. ISBN 978-83-7986-335-8
- KANECKA-GESZKE E., BĄK B., BOLEWSKI T., KACA E. 2021. Concept and implementation of the Polish innovative agro-hydro-meteorological monitoring (AgHMM) in INOMEL Project. Journal of Water and Land Development. No. 51 (X–XII): 256–264. DOI: 10.24425/jwld.2021.13903
- KORONCZOK J. 2022. Zadanie WP8: Przygotowanie do wdrożenia nowych technologii melioracyjnych oraz metod operacyjnego planowania regulowanych odwodnień i nawodnień podsiąkowych, wraz z systemem monitoringu i prognoz agro-hydro-meteorologicznych. Program BIOSTRATEG3 Projekt INOMEL Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Nr umowy BIOSTRATEG3/347837/11/NCBR/2017. Żędnice

WYKAZ SKRÓTÓW:

- eDWIN. 2025 -Platforma doradcza. <https://www.edwin.gov.pl/dane-agrometeorologiczne>
- IMGW-PIB - Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Państwowy Instytut Badawczy. www.meteo.imgw.pl
- ITP-PIB - Instytut Technologiczno-Przyrodniczy - Państwowy Instytut Badawczy. <https://www.itp.edu.pl/>
- IUNG-PIB - Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa.. Państwowy Instytut Badawczy. <https://www.itp.edu.pl/>
- KPODR - Kujawsko-Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego. Portal meteorologiczny. <https://meteoportal.kpodr.pl/mapa>
- WetterOnline - WetterOnline Meteorologische Dienstleistungen GmbH. www.wetteronline.de
- WMO - World Meteorological Organisation (Światowa Organizacja Meteorologiczna). <https://wmo.int/>

CZEŚĆ II

Mała retencja wodna i retencyjność (potencjał retencyjny) obszarów wiejskich

*mgr inż. Katarzyna Karpińska, mgr inż. Weronika Warowna,
dr inż. Wiesława Kasperska-Wołowicz, dr inż. Tymoteusz Bolewski*
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy - Państwowy Instytut Badawczy

Spis treści:

1. Rodzaje retencji (K. Karpińska, W. Warowna)	75
2. Potencjał ekosystemu w kształtowaniu małej retencji (K. Karpińska, W. Warowna).....	81
3. Agrotechniczne metody kształtowania retencji glebowej (T. Bolewski, W. Kasperska-Wołowicz, W. Warowna)	99
4. Przykłady dobrych praktyk małej retencji (W. Kasperska-Wołowicz, K. Karpińska, W. Warowna).....	107

Wprowadzenie. Mała retencja to wszelkie działania, mające na celu zatrzymywanie lub spowalnianie spływu wód w obrębie małych zlewni z jednoczesnym zachowaniem i wspieraniem rozwoju krajobrazu naturalnego. Retencja w Polsce często kojarzona jest jedynie z dużymi zbiornikami wodnymi, powstającymi najczęściej w wyniku przegrodzenia rzek. Tymczasem, woda zmagazynowana w istniejących zbiornikach retencyjnych wynosi zaledwie 6,5% objętości średniorocznego odpływu rzeczno- (około 4 mld m³), natomiast możliwości retencji wynikające z istniejących warunków geograficznych szacowane są na 15% średniego rocznego odpływu. Mała retencja to przede wszystkim zwiększenie odnawialnych zasobów wody i poprawa jej jakości, ale również wzrost bioróżnorodności, ochrona cennych siedlisk, ochrona próchnicy glebowej i wymierne korzyści gospodarcze.

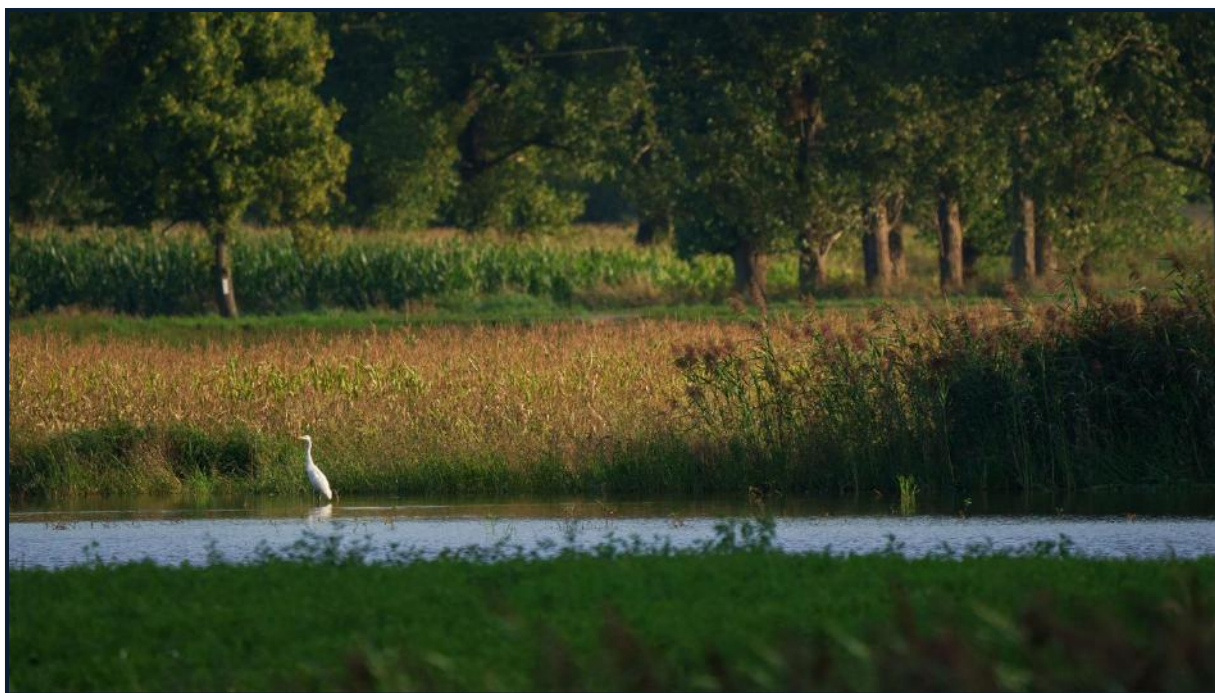
1. Rodzaje retencji (K. Karpińska, W. Warowna)

W zakres retencji wchodzi działania techniczne i nietechniczne, przyczyniające się do zwiększenia potencjalnej zdolności retencyjnej niewielkich zlewni oraz zabiegi hamujące szybki odpływ wód opadowych i roztopowych. Te zabiegi powinny być zawsze traktowane jako komplementarne względem siebie. Większość form małej retencji jest tzw. „retencją niesterowalną”, co oznacza, że choć działania małej retencji prowadzą do zwiększenia zdolności do zatrzymywania wody, to jednak aktywna ich kontrola jest ograniczona. Tworzone są potencjalne zdolności do retencjonowania wody, ale ich wykorzystanie zależy od przebiegu warunków atmosferycznych.

1.1. Retencja krajobrazowa

Retencja krajobrazowa to zwiększanie pojemności retencyjnej zlewni rzecznej w wyniku zmian w planowaniu przestrzennym i użytkowaniu ziemi. Celem jest ograniczanie spływu powierzchniowego i zwiększanie pojemności retencyjnej gleb. Innymi słowy, retencja

krajobrazowa zależy od ukształtowania terenu, jego zagospodarowania, sposobu użytkowania i roślinności. Im więcej różnego typu barier dla odpływu wody, tym więcej opadu zostanie tam, gdzie spadł. Elementami krajobrazu sprzyjającymi magazynowaniu wody w zlewni są lasy, wszelkie zadrzewienia i zakrzaczenia (liniowe, kępowe, pojedyncze drzewa), strefy buforowe, tereny podmokłe i torfowiska, bezodpływowe zagłębienia okresowo retencjonujące wodę, łąki i pastwiska, oczka wodne (fot. 1). Równie dużą rolę odgrywa odpowiedni układ pól ornych i użytków zielonych, a także ich sposób użytkowania, który powinien uwzględniać naturalne procesy przyrodnicze, takie jak okresowe zalania. Przykładowo doliny rzeczne, które często charakteryzują się dużą żyznością, ale ze względu na sezonowe zalewy, nie są odpowiednim miejscem do uprawy np. kukurydzy, która to nie jest odporna na takie warunki, w przeciwieństwie do roślinności łąkowej i szuwarowej.



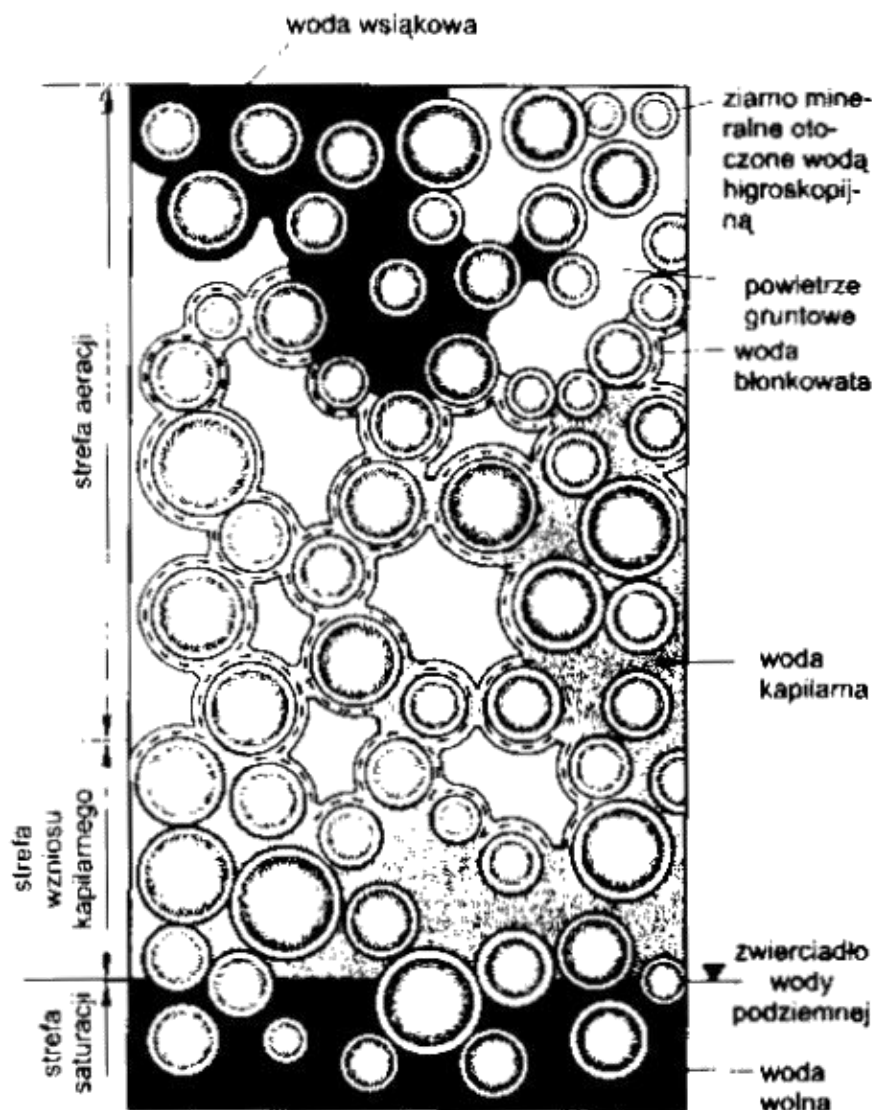
Fot. 1. Obszar rolniczy o zróżnicowanym krajobrazie, woj. mazowieckie (fot. K. Karpińska)

1.2. Retencja glebowa

Retencja glebowa jest to zdolność gleby do zatrzymywania wody w swoim profilu. Woda w glebie jest retencjonowana w warstwie powyżej wód gruntowych, które zalegają na warstwie nieprzepuszczalnej. W glebie istnieją różne rodzaje wód w trzech różnych strefach (rys. 1):

- **strefa saturacji**, czyli strefa nasycenia wodą, gdzie wszystkie pory i szczeliny w glebie wypełnione są w całości wodą;
- **strefa wzniosu kapilarnego**, czyli strefa nad zwierciadłem wód podziemnych (nad strefą saturacji), gdzie woda z głębszych warstw podnosi się w drobnych porach i szczelinach materiału skalnego lub glebowego w wyniku zjawisk kapilarnych takich jak siła napięcia powierzchniowego, czy ciśnienie kapilarne. Wysokość wzniosu jest zależna od wielkości porów, im gleba cięższa tym wyższy wznios kapilarny. Jest to obszar przejściowy między strefą saturacji a strefą aeracji;

- **strefa aeracji**, czyli strefa napowietrzenia, gdzie między porami i szczelinami znajduje się woda oraz powietrze gruntowe.



Rys. 1. Strefy i rodzaje wód w glebie (źródło: <https://instsani.pl>)

W tych strefach występuje kilka rodzajów wody (rys. 1):

- **wody związane** (nie dostępne dla roślin):
 - **wody higroskopijne** – wody znajdujące się na powierzchniach cząstek glebowych. Są to wody trudno przemieszczające się;
 - **wody błonkowe** – wody otaczające cząstki gruntu mniejszą siłą niż wody higroskopijne, ale grubszą warstwą, dlatego mogą zawierać w sobie wody higroskopijne. Są to wody najczęściej trudno przemieszczające się i nie dostępne dla roślin, oprócz przypadków gdy znajdują się blisko wód wolnych, od których przejmują cechy;
 - **wody kapilarne** – wody znajdujące się w strefie wzniosu kapilarnego, gdzie działają zjawiska kapilarne między granicami fazy stałej i cieczy;
- **wody wolne** (dostępne dla roślin):

- **wody wsiąkowe** – wody wsiąkające w głąb gleby. Są to najczęściej wody opadowe, które grawitacyjnie przemieszczają się w głąb warstw do momentu dotarcia do warstwy nieprzepuszczalnej lub strefy saturacji, gdzie zasilają wody gruntowe;
- **wody zawieszone** – wody wsiąkające w głąb gruntu do momentu natrafienia na soczewkę nieprzepuszczalnego gruntu mieszczącego się w przepuszczalnej warstwie.

Możliwości retencjonowania wody w glebie zależą od jej rodzaju i zdolności do przepuszczania wody. Gleby bardzo lekkie szybko przepuszczają wodę w głąb siebie, dlatego nie jest ona zatrzymywana w wierzchnich warstwach, dostępnych dla roślin. Natomiast gleby bardzo ciężkie tworzą warstwę słabo przepuszczalną co utrudnia wsiąkanie wody w głąb gruntu i powoduje zwiększony spływ powierzchniowy.

W celu zwiększenia możliwości zatrzymania opadu w miejscu jego występowania, aby jak najdłużej mógł zasilać rośliny i całe środowisko, należy zwiększać retencję poprzez stosowanie różnych zabiegów uprawowych, kształtujących gospodarowanie wodą w profilu glebowym. Należą do nich:

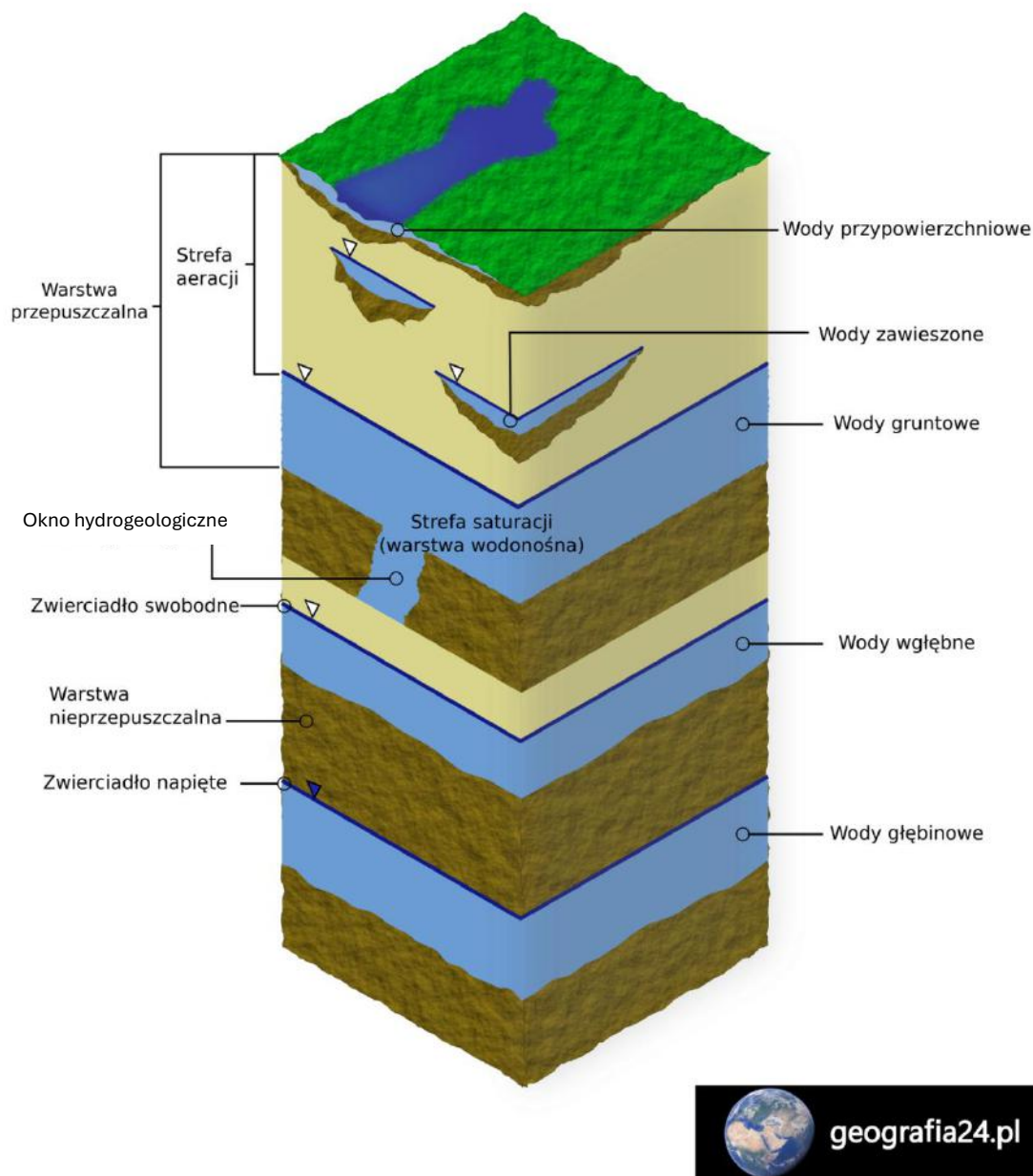
- poprawa struktury gleby,
- zabiegi agromelioracyjne,
- wapnowanie,
- prawidłowa agrotechnika,
- odpowiedni płodozmian,
- zwiększenie zawartości próchnicy w glebie.

1.3. Retencja gruntowa i podziemna

Retencja gruntowa i podziemna to magazynowanie wody w strefie saturacji, poniżej zwierciadła wód podziemnych, w tym między warstwami bardzo słabo przepuszczalnymi (nieprzepuszczalnymi).

Wody podziemne to wszystkie wody znajdujące się pod powierzchnią ziemi. Można do nich zaliczyć (w zależności od głębokości ich występowania) (rys. 2):

- **wody przypowierzchniowe** – wody znajdujące się tuż pod powierzchnią terenu;
- **wody gruntowe** – wody znajdujące się w strefie nasycenia (saturacji), mające ciągłą styczność z warstwą przepuszczalną w glebie lub podglebiu. Poziom ich występowania zależy od typu gleby (im gleba lżejsza tym niżej znajduje się zwierciadło wód gruntowych) oraz od ilości opadów atmosferycznych (im więcej opadów tym wyżej znajduje się zwierciadło);
- **wody wgłębne** – wody znajdujące się między warstwami nieprzepuszczalnymi, na głębokości dostępnej do użytkowania (głębokość tzw. warstw wodonośnych);
- **wody głębinowe** – wody znajdujące się na znacznych głębokościach, niedostępne dla zwykłych użytkowników, pod warstwami nieprzepuszczalnymi. Są to najczęściej wody reliktowe, praktycznie nieodnawialne i niepodlegające wpływom warunków atmosferycznych. Ze względu na swoją wysoką temperaturę mogą być wykorzystywane do celów energetycznych.



Rys. 2. Rodzaje wód podziemnych (źródło: geografia24.pl - z korektą autorów)

Głębokość zalegania wód podziemnych oraz ich ilość zależy od budowy geologicznej miejsca oraz wielkości opadów i innych źródeł ich zasilania. Dodatkowo należy pamiętać, że zasoby wód gruntowych i podziemnych stanowią ponad 90% zasobów wód słodkich na całej kuli ziemskiej (nie wliczając w to wód w lodowcach), dlatego należy dbać o te zasoby. W tym celu należy stosować różne zabiegi/ systemy uprawowo-melioracyjne ograniczające odpływ powierzchniowy. Należą do nich:

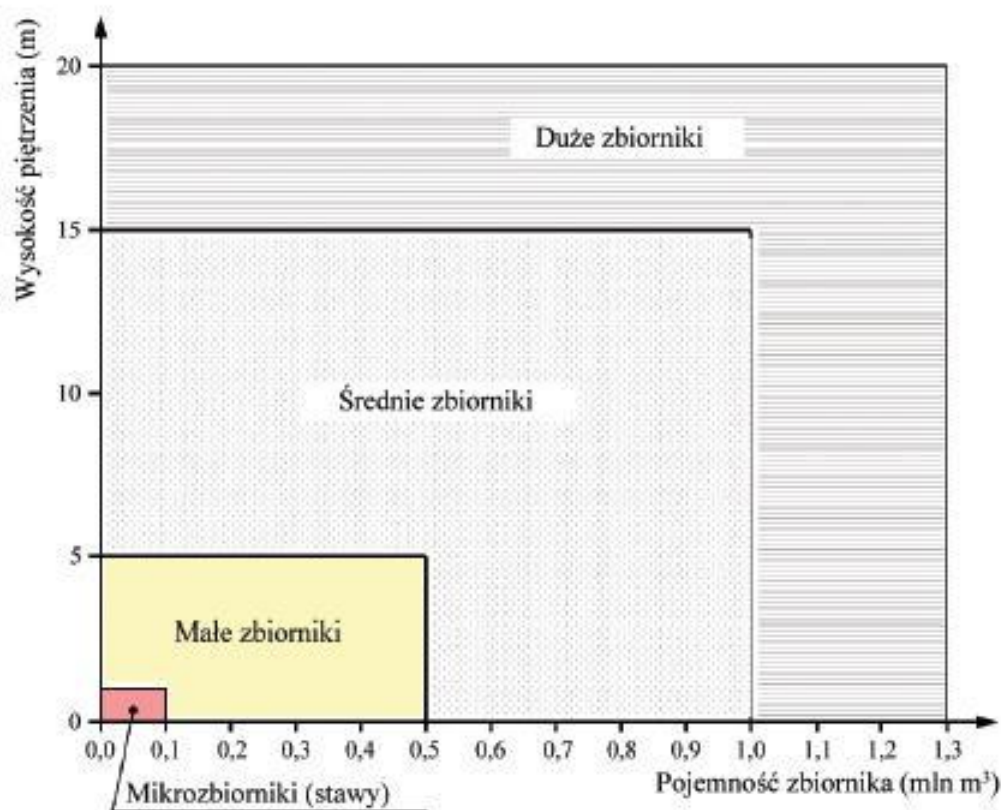
- ograniczanie spływu powierzchniowego,
- zwiększanie przepuszczalności gleb,
- zabiegi przeciwoerozyjne, fitomelioracyjne i agromelioracyjne,
- regulowanie odpływu z sieci drenarskiej,
- stawy i studnie infiltracyjne, w tym do odprowadzania wód deszczowych z uszczelnionych powierzchni.

1.4. Retencja korytowa i zbiornikowa (powierzchniowa)

Retencja korytowa i zbiornikowa to magazynowanie wody powierzchniowej w zbiornikach oraz ciekach wodnych (w tym wszelkiego typu rowach, kanałach i ciekach, na których istnieją budowle umożliwiające regulację poziomów i odpływów wody) na powierzchni terenu. Do retencji powierzchniowej zaliczają się zarówno naturalne jak i sztuczne obiekty.

Retencja powierzchniowa jest ściśle powiązana z retencją wód gruntowych i podziemnych, ponieważ wody powierzchniowe i podziemne wzajemnie na siebie oddziałują. Wody powierzchniowe są zasilane przez opad, odpływ powierzchniowy i podziemny. Jednocześnie w przypadku nadmiernego poboru wód powierzchniowych zwierciadło wód podziemnych może obniżyć się, natomiast w przypadku gromadzenia się wody w zbiorniku, zwierciadło wód podziemnych może się podnieść.

Retencja powierzchniowa może znacząco poprawiać bilans wodny terenu, podnosząc jednocześnie jego walory krajobrazowe. Należy przy tym pamiętać, że zbiorniki małe, a nawet mikrozbiorniki, są przyjaźniejsze dla środowiska niż zbiorniki duże (rys. 3). Powinno zwiększać się liczbę obiektów należących do małej retencji, gdyż korzystniejszy jest wpływ kilku małych zbiorników na środowisko niż wpływ jednego dużego. W ramach polityk krajowych (PROW, WPR, KPO) istnieją działania, które umożliwiają otrzymanie dofinansowania na małe zbiorniki kopane o powierzchni do 5 tys. m² oraz do 3 m głębokości.



Rys. 3. Podział zbiorników wodnych ze względu na ich wielkość
(źródło: MIODUSZEWSKI, 2014)

Retencja powierzchniowa jest również istotna ze względu na organizmy potrzebujące wody do życia. Wodę dostępną na powierzchni terenu mogą łatwo wykorzystać do zaspokojenia potrzeb życiowych, takich jak odżywianie, zaspokojenie pragnienia czy jako miejsce do życia czy rozmnażania.

Retencję powierzchniową należy zwiększać stosując m.in. hydrotechniczne systemy rozrządu i magazynowanie wód, takie jak:

- małe zbiorniki wodne,
- regulacja odpływu ze stawów, oczek wodnych,
- gromadzenie wody w rowach melioracyjnych, kanałach itp.,
- retencjonowanie odpływów z systemów drenarskich,
- zwiększenie retencji dolinowej.

1.5. Retencja śnieżna i lodowcowa

Retencja śnieżna i lodowcowa to magazynowanie wody w postaci stałej: jako opad śniegu oraz zamrożona woda tworząca lód. Stopniowe topnienie śniegu czy lodu pozytywnie wpływa na podnoszenie się zwierciadła wód gruntowych, a także spowalnia odpływ opadu, dzięki czemu zmniejsza się zagrożenie powodziowe, występujące w przypadku nagłych i znacznych roztopów lub nawałnych deszczy.

Retencje śnieżną i lodowcową można zwiększać poprzez:

- zwiększanie zadrzewień (w lasach i na terenach zadrzewionych śnieg topnieje wolniej, i zwiększa się pozytywny wpływ na wody gruntowe),
- zwiększanie szorstkości terenu (np. uprawy międzyplonu w zimie).

2. Potencjał ekosystemu w kształtowaniu małej retencji

(K. Karpińska, W. Warowna)

Myśląc o małej retencji należy zawsze w pierwszej kolejności promować i rozważać działania promujące naturalne metody retencji. Należy też zdawać sobie sprawę, że głównym potencjałem do odzyskania jest pojemność retencyjna gleb w zlewni, a nie pojemność samych cieków, z których trudno przywrócić wodę na teren zlewni bez dodatkowych działań technicznych. Działania oparte na potencjale ekosystemu to zarówno właściwe planowanie przestrzenne, działania agrotechniczne poprawiające warunki wodno-powietrzne w glebie, ochrona siedlisk czy zachowanie powierzchni nieutwardzonych, jak i działania obejmujące renaturyzację cieków i ochronę bierną ekosystemów, umożliwiającą niezakłócony przebieg procesów naturalnych.

2.1. Mokradła

Mokradła traktowano kiedyś jako nieużytki, a angielskie słowo „wetlands” oznaczało często w praktyce „wasteland”. W języku polskim słowo „bagno” również nie kojarzy się raczej zbyt dobrze. Tereny te postrzegano jedynie w kontekście ich przyszłego rolniczego zagospodarowania, a w tym celu konieczne było ich odwodnienie. Takie podejście wyrządziło

wiele nieodwracalnych szkód, zarówno w kontekście bilansu wodnego, jak i bioróżnorodności siedlisk hydrogenicznych. Ochronę terenów podmokłych po raz pierwszy zaproponowano w 1975 roku, uchwalając Konwencję Ramsarską, której głównym celem była ochrona ptactwa wodnego.

Obecnie mokradła to ekosystemy zagrożone – w skali światowej ponad połowa, a w Europie ok. 80% tych terenów zostało przekształconych lub osuszonych w takim stopniu, że przestały pełnić swoje pierwotne funkcje w krajobrazie jako siedliska specyficznych gatunków roślin i zwierząt, funkcje retencyjne wód wezbraniowych, miejsce zasilania wód podziemnych, akumulacji zasobów organicznego węgla oraz retencjonowania substancji biogennych.

Siedliska bagienne to obszary, na których występuje nasilony proces retencjonowania wody z różnych źródeł (wody podziemne i opadowe) (fot. 2). Nie należy jednak traktować mokradeł jako źródła wody. Porównując je do zbiorników retencyjnych, można przyjąć, że stanowią zbiorniki o pewnej pojemności całkowitej oraz zerowej pojemności użytecznej, gdyż woda w nich zgromadzona nie może być bezpośrednio wykorzystana przez użytkowników zlewni. Nie oznacza to jednak, że mokradła nie pełnią żadnych istotnej roli w realizacji podstawowych celów gospodarki wodnej, czyli utrzymania dobrego stanu wód, zrównoważonego zaopatrzenia użytkowników w wodę oraz ochrony przed powodzią.



Fot. 2. Obszar Wilcza Struga w Kampinoskim Parku Narodowym (fot. Z. Kowalewski)

Podstawowe funkcje mokradeł w środowisku przyrodniczym to:

- retencja wód wezbraniowych;
- retencja wód opadowych i zasilanie niżej położonych warstw wodonośnych;

- wpływ na klimat lokalny – zwiększanie wilgotności powietrza, zmniejszanie średniej temperatury maksymalnej i zwiększanie minimalnej, zmniejszanie amplitudy temperatury dobowej, miesięcznej i rocznej;
- wpływ na klimat globalny – akumulacja węgla i azotu;
- immobilizacja (zatrzymanie) substancji biogenych oraz substancji toksycznych dla ryb i skorupiaków;
- kształtowanie składu chemicznego wód powierzchniowych i gruntowych;
- miejsce bytowania wyspecjalizowanych gatunków roślin i zwierząt,
- tworzenie złożonych układów krajobrazowych, zapewniających siedliska, szlaki migracji oraz miejsca żerowania i schronienia wielu gatunkom zwierząt, zwłaszcza ptakom.

Działalność rolnicza nierozzerwalnie wiąże się z przekształceniem ekosystemów, w tym szczególnie mokradłowych. Zmianie ulegają pierwotne stosunki wodne, pokrywa roślinna, rzeźba terenu, a nawet utwory gleb powierzchniowych (fot. 3). Niektóre funkcje mokradeł po ich przekształceniu zanikają zupełnie (np. retencjonowanie wód po uregulowaniu rzeki), inne stopniowo (akumulacja węgla), a jeszcze inne są modyfikowane (wpływ na klimat). Co więcej, pojawiają się również zupełnie nowe funkcje (np. ostoje gatunków obcych).



Fot. 3. Odwodnione torfowisko w Biebrzy (fot. K. Karpińska)

Nadmierne przesuszenie siedlisk hydrogenicznych (zanik sezonowych zalewów, obniżenie zwierciadła wody gruntowej, intensywny drenaż) jest główną przyczyną ich nieodwracalnych przemian. Zmiany mają bezpośredni wpływ zarówno na reżim hydrologiczny cieków, jak i na zasoby wodne na terenach przyległych do torfowisk.

W związku z nasilającymi się skutkami zmian klimatu i rosnącą świadomością konsumentów w tym temacie, coraz więcej przedsiębiorstw podejmuje działania na rzecz ograniczania emisji gazów cieplarnianych. Firmy coraz chętniej kompensują swoje emisje wykupując tzw. kredyty węglowe – jeden kredyt odpowiada jednej niewyemitowanej lub usuniętej z atmosfery tonie CO₂. Stanowi to szansę dla rolników, którzy podnosząc poziom wody gruntowej na swoim torfowisku, mogą sprzedać powstrzymane emisje. Rolnik posiadający odpowiednie grunty i chęć utrzymywania wody na nich na poziomie 10 cm poniżej powierzchni gruntu może nawiązać współpracę z organizacjami przyrodniczymi (np. Centrum Ochrony Mokradeł) i czerpać z tego tytułu zyski. Tereny te mogą być wciąż użytkowane i nie trzeba rezygnować z dopłat rolno-środowiskowo-klimatycznych. Dodatkowo, na tym samym terenie można wprowadzić **paludikulturę**, czyli produkcję rolną na mokrych torfowiskach. W Polsce już istnieją gospodarstwa, które uprawiają trzcinę na strzechy dachowe i powstają w tym zakresie kolejne projekty. Oczywiście, uprawa rolna na terenach podmokłych wymaga często stosowania innego, dostosowanego do specyficznych warunków, sprzętu. W najbliższych latach spodziewa się, że paludikultura będzie gałęzią rolnictwa, która przy wsparciu różnych instytucji będzie się rozwijać bardzo dynamicznie.

2.2. Trwale użytki zielone

Trwale użytki zielone (TUZ) są to ekosystemy trawiaste, które w Polsce zajmują ok. 10% powierzchni kraju i ponad 20% użytków rolnych. Ich powierzchnia systematycznie maleje, w związku ze zmniejszającym się pogłowiem i zmianami w systemach żywienia bydła. Trwale użytki zielone stanowią źródło wartościowych i niedrogich pasz dla zwierząt gospodarskich, pełniąc przy tym wiele cennych funkcji przyrodniczych:

- agroklimatyczne,
- hydrologiczne,
- ochronne,
- filtracyjne,
- fitosanitarne,
- krajobrazowe,
- estetyczne,
- biocenotyczne.

Trwale użytki zielone zwykle zlokalizowane są w terenach zalewowych dolin rzecznych, jako strefy buforowe pomiędzy gruntami rolnymi, oraz na skrajach pól, wzdłuż dróg i cieków. Są to tereny w użytkowaniu kośnym lub kośno-pastwiskowym.

Tereny pokryte na stałe roślinnością spowalniają spływ powierzchniowy i umożliwiają większą infiltrację wody, a co za tym idzie, magazynują wodę w glebie oraz chronią glebę przed erozją. Stanowią bariery biogeochemiczne, które ograniczają migrację różnych związków chemicznych i materiałów z pól uprawnych do wód powierzchniowych i wgłębnych. Trwale użytki zielone, podobnie jak lasy, pełnią istotną rolę w poprawie warunków wilgotnościowych, w tym nawilżania powietrza atmosferycznego. Po nocnym ochłodzeniu woda, w postaci pary, mgły, rosy i opadów, częściowo wraca na teren, który ją utracił, poprawiając tym samym warunki wilgotnościowe również na przyległych gruntach

ornych (fot. 4). Trwałe użytki zielone stanowią największą rezerwę naturalnej próchnicy glebowej, która poprawia strukturę gleby, zwiększa udział porów o średnich rozmiarach, co ma istotne znaczenie dla ilości wody dostępnej dla roślin. Zasoby próchnicy w glebie determinują efektywność retencjonowania wody – zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie o 1% to zwiększenie retencyjności w warstwie ornej (30 cm) o 10 mm (RYSZKOWSKI, BAŁAZY, KĘDZIORA 2003).



Fot. 4. Poranna mgła nad trwałymi użytkami zielonymi (źródło:

<https://www.wodr.poznan.pl/doradztwo/produkcja-roslinna/jak-prawidlowo-zadbac-o-trwale-uzytki-zielone>)

Trwałe użytki zielone pełnią rolę biologicznej ochrony przeciwpowodziowej – obniżenia terenowe porośnięte trwałą roślinnością skutecznie pełnią funkcje polderów zalewowych, ścinając falę powodziową i magazynując okresowo nadmiar wody. Dzięki temu można obniżyć wymagania w zakresie ochrony technicznej przed powodzią, tym samym znacznie obniżyć koszty tej ochrony. Podczas zalewania łąk następuje naniesienie przez wodę namulów, które użyźniają łąki. Następuje znaczne obniżenie powstałych szkód gospodarczych spowodowanych przez powódź.

Utrzymywanie TUZ sprzyja zachowaniu różnorodnego krajobrazu rolniczego, a w związku z tym wspomaga różnorodność biologiczną na terenach rolnych. Wilgotne, ekstensywnie użytkowane łąki i pastwiska to siedlisko dla 10-30 gatunków ptaków, nie występujących w innych siedliskach. Na łąkach zagospodarowanych występuje około 400 gatunków roślin naczyniowych, w tym kilkadziesiąt gatunków rzadkich i zagrożonych. Najbardziej wartościowe przyrodniczo są użytki zielone dolin rzecznych ekstensywnie użytkowane. Skład gatunkowy i liczebność wynika z warunków hydrologicznych i intensywności gospodarowania. Często pełnią funkcje korytarzy ekologicznych, łącząc tereny wodne i leśne i stanowią centra bioróżnorodności w krajobrazie rolniczym, skąd następuje migracja gatunków na sąsiednie tereny.

Trwałe użytki zielone można podzielić ze względu na powiązania ich z różnie uwilgotnionymi siedliskami:

1. łągi (około 20% Tuz) występują w dolinach zalewanych, są to siedliska żyzne, dobrze i nadmiernie uwilgotnione,
2. grądy (około 40% Tuz) to siedliska o słabym i średnim stopniu uwilgotnienia, które korzystają głównie z wód opadowych, stanowiska zróżnicowane – żyzne (np. grądy właściwe) ale także bardzo ubogie (np. grądy zubożałe),
3. łąki pobagienne/murszowiska (około 32% Tuz) to odwodnione i częściowo przeobrażone tereny mokradłowe, które przy odpowiednim nawożeniu i poprawnej gospodarce wodnej są bardzo wydajne, natomiast bez nawodnień, zabiegów i użytkowania ulegają dalszej degradacji,
4. łąki bagienne/bielawy (około 8% Tuz) to tereny nadmiernie uwilgotnione w okresie całego lata, zbiorowiska turzycowiskowe i obszary bardzo cenne przyrodniczo.

Większość zbiorowisk łąkowych powstało w wyniku działalności człowieka (ekosystemy półnaturalne) więc ich utrzymanie i funkcjonowanie wymaga ingerencji poprzez użytkowanie kośne lub pastwiskowe. Brak prowadzonej gospodarki na łąkach oznacza sukcesję wtórną (zarastanie) i zubożenie tych cennych zbiorowisk. Główne zagrożenia dla ekosystemów trawiastych to zaprzestanie koszenia i/lub wypasu zwierząt, eliminacja łąk z krajobrazu poprzez przekwalifikowanie ich na grunty orne lub zalesianie, zbyt intensywna gospodarka kośna, brak konserwacji i użytkowania systemów melioracyjnych. Bezpośrednimi przyczynami zanikania Tuz są:

- brak ekonomicznej zachęty do zwiększenia produkcji pasz z użytków zielonych,
- brak zainteresowania hodowlą zwierząt przeżuwających,
- postępująca dewastacja urządzeń melioracyjnych,
- wysokie koszty nowych inwestycji.

2.3. Śródpolne wyspy środowiskowe

Jedną z metod kształtowania małej retencji w oparciu o potencjał ekosystemu są śródpolne wyspy środowiskowe, do których można zaliczyć zadrzewienia śródpolne oraz oczka wodne.

Zadrzewienia śródpolne to zbiorowiska drzew i krzewów na terenach publicznych oraz prywatnych, z wykluczeniem lasów i terenów zieleni miejskiej. Zadrzewienia należące do śródpolnych wysp środowiskowych to:

- **obiekty linearne** – zadrzewienia zajmujące obszary o długim, ale wąskim kształcie. Są to:
 - miedze,
 - śródpolne skarpy,
 - pobocza dróg,
 - rowy melioracyjne,
 - pasy roślinności brzegowej pomiędzy roślinnością antropogeniczną (pola, łąki) a roślinnością naturalną.
- **wyspy ekologiczne** – niewielkie powierzchnie roślinne między skupiskami innej roślinności, przeciwdziałające fragmentacji siedliska spowodowanej przez naturalne procesy lub człowieka. Są to:
 - starorzecza,

- niewielkie torfowiska,
- piaskowe wyniesienia terenowe otoczone użytkami zielonymi lub polami,
- nieczynne kamieniołomy lub żwirownie i inne podobne obiekty,
- zadrzewienia w obrębie i przy zakładach przemysłowych takie jak na zwałach, hałdach i wyrobiskach.

Zadrzewienia śródpolne mogą kształtować małą retencję poprzez m.in.:

- **działanie na mikroklimat** – drzewa i krzewy wpływają na obniżenie temperatury w swoim otoczeniu (fot. 5) i w konsekwencji na wzrost wilgotności. Im więcej zadrzewień śródpolnych tym większa retencja wody dla rolnictwa, zwłaszcza w okresach suszy;



Fot. 5. Różnice temperatur na terenach niezadrzewionych i zadrzewionych
(źródło: wiedzadrzewiej.weebly.com)

- **łagodzenie niedoborów wody** – zadrzewienia śródpolne wpływają na zmniejszenie strat wody w glebie oraz korzystnie wpływają na retencję śnieżną i lodowcową (powodują wolniejsze, optymalne topnienie śniegu). Zadrzewienia tworzą bariery dla spływu powierzchniowego, dzięki czemu większe ilości wody mogą infiltrować w glebę, zwiększając retencję wód podziemnych;

- ochrona wód przed zanieczyszczeniami – drzewa, krzewy oraz pasy roślin zielnych przechwytyują zanieczyszczenia zarówno z powietrza jak i z wód powierzchniowych i podziemnych; tak zretencjonowana woda jest lepszej jakości;
- zapobieganie erozji wietrznej – drzewa i krzewy spowalniają prędkość wiatru, dzięki czemu ograniczają wywiewanie cząstek gruntu z pól i innych powierzchni. Działa to ochronnie na glebę, która odpowiada za retencję;
- zapobieganie erozji wodnej – korzenie drzew wzmacniają strukturę gleby, dzięki czemu jest ona bardziej zasobna w materię organiczną, ograniczając erozję, a co za tym idzie wspierając retencję.

Dodatkowo zadrzewienia śródpolne tworzą miejsca do życia różnych zwierząt.

Oczka wodne to małe zbiorniki wodne utworzone przez człowieka lub w wyniku procesów naturalnych. Można wyróżnić oczka wodne o lustrze wodnym:

- odkrytym całkowicie,
- częściowo zarośniętym,
- okresowo wysychającym.

Oczka wodne zwiększają retencję poprzez spowalnianie spływu powierzchniowego na danym terenie. Następuje to poprzez:

- ich właściwości wodne – pozytywne oddziaływanie na sąsiadujące z nimi pola uprawne;
- zaspokajanie potrzeb wilgotnościowych gleb na danym terenie;
- zwiększanie wilgoci w powietrzu;
- obniżanie pobliskiej temperatury powietrza w dzień oraz podnoszenie w nocy;
- oczyszczanie wód powierzchniowych i podziemnych poprzez zatrzymywanie biogenów.

2.4. Strefy buforowe

Strefy buforowe to wszystkie trwałe środowiska chroniące przyległe do nich ekosystemy, czyli swoiste bariery o różnej szerokości chroniące przede wszystkim wrażliwe i cenne przyrodniczo środowiska. Od szerokości i zróżnicowania roślinności takich pasów ochronnych zależna jest wydajność ich funkcjonowania. Strefy buforowe występują (lub powinny występować) na styku pól uprawnych lub intensywnych łąk ze środowiskami nierolniczymi, nad brzegami śródpolnych zbiorników i cieków wodnych i wszelkiego rodzaju wysp środowiskowych, na nieuprawianych pasach terenu rozgraniczających pola (miedze), oraz wzdłuż dróg oraz wszelkich cieków wodnych (fot. 6).

Funkcje stref buforowych:

- poprawa jakości wody,
- zatrzymywanie metali ciężkich,
- kumulacja materii organicznej,
- zatrzymywanie wód powodziowych i roztopowych (łagodzenie fal wezbraniowych),
- zwiększanie produkcji pierwotnej i wtórnej,
- zwiększanie różnorodności siedlisk,
- zwiększanie obszarów tarliskowych wielu gatunków ryb (zwalone drzewa, gałęzie w korycie cieków),

- korytarze powietrzne do przemieszczania się zwierząt i tworzenie połączeń między poszczególnymi siedliskami (korytarze ekologiczne),
- urozmaicanie krajobrazu,
- dostarczanie miejsc rekreacji i relaksu.



Fot. 6. Oczko wodne z dobrze rozwiniętą strefą buforową, położone wśród gruntów rolnych i trwałych użytków zielonych, powiat grodziski (fot. K. Karpińska)

Strefy buforowe są szczególnie ważne dla jakości wód powierzchniowych położonych w terenach rolniczych. W sytuacji intensywnego nawożenia ogromna część składników nawozowych spływa wraz z opadami bezpośrednio do wód, co stwarza zagrożenie dla ich jakości i jest stratą dla rolnika. Strefa buforowa nawet o szerokości zaledwie 2 m może zredukować odpływ azotu ogólnego o 27%, a fosforu o 19%, w przypadku szerokości 20 m efektywność redukcji odpływu wzrasta odpowiednio do 55 i 37%.

2.5. Działalność bobrów

Bóbr europejski (fot. 7) to jeden z nielicznych gatunków, który potrafi dostosowywać środowisko do swoich potrzeb. Swoją działalnością wpływa na różnorodność biologiczną, retencję czy zanieczyszczenie wód, a pośrednio na gospodarkę człowieka:

- Stawy bobrowe utrzymują wodę na poziomie stosunkowo stałym w porównaniu z poziomem wody w cieku.
- Pojedynczy staw może magazynować różną ilość wody – od 100 do 200 tys. m³, drugie tyle mieści się w osadach przechwytywanych przez tamy; jedna niewielka tama może zatrzymać ok. 5 tys. m³ rocznie.
- Siedliska bobrowe chłoną wodę wiosną i oddają latem.



Fot. 7. Bóbr europejski (fot. K. Karpińska)

- Tamy bobrowe zwiększają retencję zlewni, a jej wielkość zależy od zagęszczenia siedlisk bobrowych i warunków panujących w zlewni (kształt, rodzaj gleby, stosunki wodne).
- Lokalnie zmniejszają szczyt fali powodziowej.
- W okolicy tam bobrowych podnosi się i stabilizuje poziom wody gruntowej, zmniejsza się ryzyko erozji, a zwiększa osadzanie cząstek mineralnych i organicznych.
- Inicjują się naturalne procesy bagienne. Płytką, nasłoneczniona woda w stawie stwarza korzystne warunki do rozwoju zbiorowisk bagiennych z turzycami, trzinami i szuwarami.
- Bobry poważnie zmieniają charakter i kształt linii brzegowej cieków lub zbiornika (poprzez kopanie nor i kanałów, transportowania drewna z lądu i podwyższenia poziomu wody w wyniku budowy tam). Nurt staje się łagodniejszy, pojawiają się wypłyccia i zagłębienia, brzeg stabilizowany jest przez zarośla wierzby.
- W warunkach dużego zagęszczenia bobrów modyfikacji może ulec nawet 40% całkowitej długości cieków, a w czasie sezonu letniego ich rozlewiska magazynują nawet 30% wody w całych zlewniach.
- W stawach bobrowych stwierdza się znaczne zwiększenie aktywności metabolicznej mikroorganizmów w porównaniu z ciekami wpływającym i wypływającym.
- Rozlewisko bobrowe działa niczym oczyszczalnia – skład chemiczny wody w stawie zmienia się, zwiększa się zawartość azotu, a w beztlenowych osadach magazynowane są związki azotu, fosforu i węgla. Zatrzymywane są też metale ciężkie, a zanieczyszczone kwasami i zasadami wody wpływające do stawu ulegają zobojętnieniu. Pływające i wykopujące muł bobry powodują mieszanie się wody i przyspieszają procesy chemiczne. Woda opuszczająca staw jest klarowniejsza i czystsza, co pozytywnie wpływa na rośliny i inne zwierzęta zamieszkujące siedliska bobrowe.

- W siedlisku bobrowym zmiane ulega struktura i skład gatunkowy roślinności. Inicjowane są procesy odtwarzania naturalnych zespołów zaroślowych (łozowisk i zarośli wierzbowo-brzozowych) oraz zespołów leśnych łęgów, olsów i grądów, charakterystycznych dla dolin rzek. Rozwija się również warstwa runa z trawami i ziołoroślami. Powstaje szeroka strefa ekotonowa.
- W stawach bobrowych powstają dogodne warunki do rozwoju planktonu roślinnego i zwierzęcego oraz bezkręgowców wodnych, będących źródłem pożywienia dla wielu gatunków ryb.
- Zróżnicowane warunki (płytsza i głębsza woda, nory, wysepki, martwe drzewa) tworzą atrakcyjne siedliska dla wielu zwierząt, m.in. płazów, gadów, drobnych ssaków (wydr, piżmaków, norek), saren, jeleni, dzików oraz wielu ptaków (m.in. bocianów czarnych, czapli siwych, żurawi).
- Stawy bobrowe i ich otoczenie mogą stanowić miejsce edukacji, lokalną atrakcję turystyczną lub też miejsce dla wędkarzy (fot. 8).



Fot. 8. Retencja sztuczna (po lewej) i retencja naturalna, wykonana przez bobry (po prawej)
(fot. A. Czech)

Pomimo tak dużego i pozytywnego wpływu bobrów na środowisko, ich obecność na terenach rolnych najczęściej postrzegana jest w negatywnym świetle. Wskazują na to choćby dane opublikowane w 2024 r. w raporcie Stowarzyszenia Nasz Bóbr pt. „Nie jest dobrze bobrze! Rzeczywistość ochrony częściowej”. Jak wskazują autorzy, podmiotami wnioskującymi o zabijanie bobrów są głównie osoby fizyczne, przedsiębiorcy i rolnicy, a głównym uzasadnieniem wydanych derogacji jest zalewanie pól, łąk i terenu. Skala tego zjawiska obrazuje, jak ogromne jest wciąż niezrozumienie naturalnych procesów przyrodniczych. Pozbywając się (teoretycznie) bobrów z naszego otoczenia, jednocześnie pozbywamy się (lub zmniejszamy) zasobów wody powierzchniowej i gruntowej, co prowadzi ostatecznie do dużych strat w uprawach i zwiększonych nakładów na produkcję. Zalewanie pól i łąk stanowi integralną część ich żyzności i produktywności, a w dobie ograniczonych zasobów wodnych,

każde stanowisko bobrów w sąsiedztwie powinno cieszyć, a nie motywować do walki o odzyskanie terenu. Bobry pomagają retencjonować wodę tam, gdzie jest ona potrzebna najbardziej – bezpośrednio na rowach melioracyjnych i małych ciekach rolniczych (fot. 9), bez potrzeby ubiegania się o pozwolenia wodnoprawne, bez ponoszenia kosztów budowy.



Fot. 9. Kaskada tam bobrowych na rzece Utrata (fot. K. Karpińska)

Szkody powodowane przez bobry (fot. 10) zwykle mają miejsce w strefie przybrzeżnej do szerokości około 10 m, gdyż bobry nigdy nie wychodzą na pola i lasy tam, gdzie nie ma wody. W miarę rozwoju i stabilizacji ich populacji zakres powodowanych przez nie szkód zmniejsza się, a po osiedleniu się i zagospodarowaniu przez nie terenu wielkość szkód nie zwiększa się. Szkody te zazwyczaj koncentrują się na terenach zamieszkałych przez pojedyncze rodziny, a w przypadku blokowania przepustów drogowych i dziurawienia grobli - są dobrze zlokalizowane, tzn. występują regularnie w tym samych miejscach. Zgłaszanie działalności bobrów jako szkód często zależy od osobistego stosunku właścicieli lub zarządzających gruntami do bobrów – często zdarza się, że edukacja poszkodowanych lub nawet wysłuchanie skutkuje zaprzestaniem ubiegania się o odszkodowania. Usuwanie bobrów i ich budowli jest tylko chwilowym rozwiązaniem problemu – wędrujące osobniki szybko zajmują zwolnione miejsce i problem powraca zwykle po roku. Zabiegi techniczne w stanowiskach bobrowych (syfony w tamach, ogradzanie cennych drzew itp.) dobrze spełniają swoją funkcję, pod warunkiem prawidłowości i fachowości ich wykonania.



Fot. 10. Charakterystyczne ślady świadczące o obecności bobrów
w zlewni rzeki Mławka (fot. K. Karpińska)

Idealnym rozwiązaniem, zarówno dla bobrów jak i ludzi, jest tworzenie szerokich (20-50 m) stref buforowych przy ciekach i zbiornikach, w których nie prowadzi się intensywnych działań gospodarczych. W ten sposób zostawiamy miejsce do życia bobrom, a jednocześnie ograniczamy erozję, zmniejszamy zagrożenie powodziowe, oczyszczamy i obniżamy temperaturę wód, tworzymy miejsca różnorodne biologicznie oraz korytarze ekologiczne. Wystarczy wyłączyć część gruntów z użytkowania lub zmienić sposób ich użytkowania.

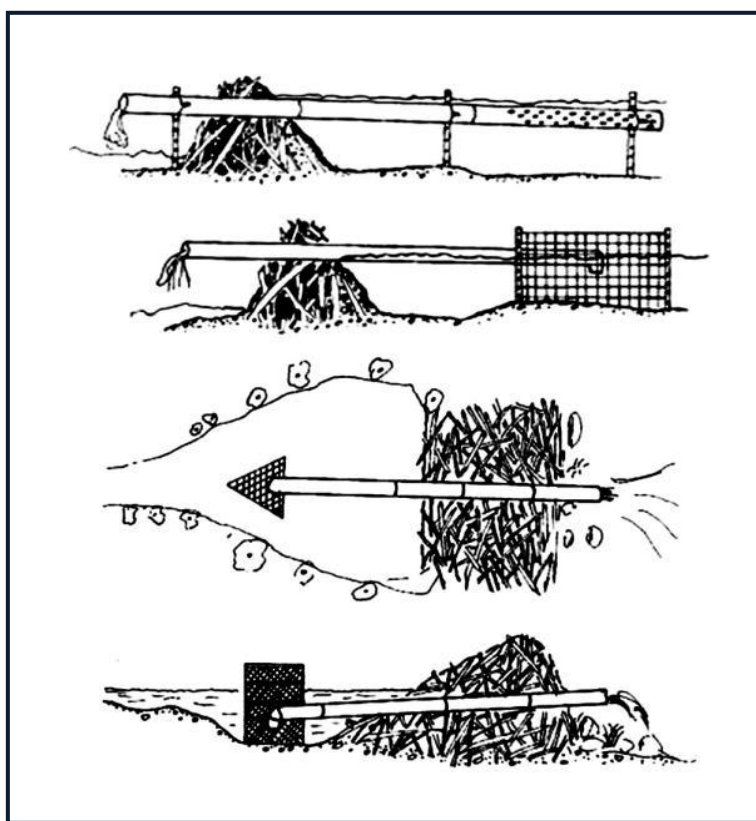
Innym skutecznym rozwiązaniem jest zapobieganie kolonizacji nowych obszarów poprzez zmniejszanie atrakcyjności środowiska dla bobrów, szczególnie w okolicach, gdzie populacja jest liczna i wiele młodych osobników szuka swojego terytorium. Rozwiązanie to dedykowane jest miejscom, w których inżynierska działalność bobrów może powodować zagrożenie życia ludzkiego lub wywołać wielkie szkody gospodarcze (np. strategiczne rowy melioracyjne odprowadzające nadmiar wód z okolic wsi, ważne przepusty drogowe i kolejowe, wały przeciwpowodziowe, groble stawów rybnych). Atrakcyjność środowiska dla bobrów można zmniejszyć poprzez zmiany składu gatunkowego zadrzewień porastających brzegi rowów melioracyjnych lub stawów na drzewa i krzewy nieatrakcyjne dla bobrów (iglaste, olchy) lub nie sadzić w ogóle, utrzymując odkryty charakter siedliska. Należy unikać gromadzenie wycinanych drzew i gałęzi w pobliżu brzegu oraz utrzymywać niską roślinność na nasypach, groblach lub wałach poprzez koszenie lub wypas. Jednocześnie należy oferować bobrom alternatywne miejsca do osiedlenia w pobliżu – sadzić gatunki roślin przez nie

preferowane w tych miejscach (trzcina, pałka wodna, topola osika, wierzby, brzoza, leszczyna), gdzie szkody będą niewielkie.

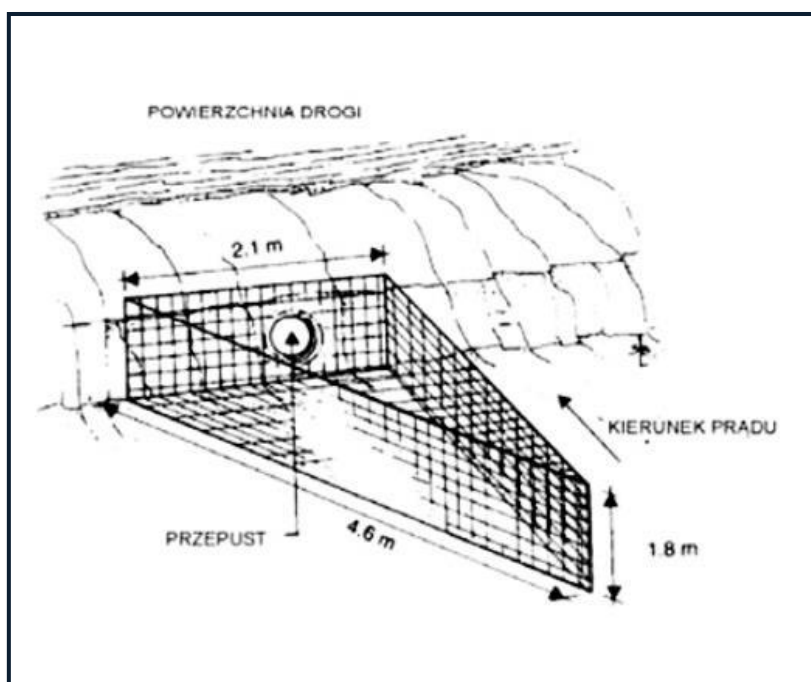
W praktyce najczęściej stosowanymi rozwiązaniami są: odlów, przesiedlenie, zabicie, niszczenie tam, zasypywanie nor, chociaż na wszystkie te czynności wymagane jest uzyskanie stosownych pozwoleń (bóbr podlega ochronie gatunkowej). Jednak metody te nie sprawdzają się, ponieważ w atrakcyjnym środowisku bobry będą zawsze dążyć do uzyskania pełnej pojemności środowiskowej – na ich miejsce zawsze przyjdą kolejne, a zniszczone tamy i nory bobry bardzo szybko odbudują, ścinając kolejne drzewa i kopiąc kolejne tunele, a więc szkody wzrosną.

Wszystkie działania w stanowiskach bobrowych muszą być dobrze przemyślane i mieć możliwie długotrwałe efekty. Zabezpieczenia techniczne muszą być wykonywane zgodnie z regułami sztuki, ponieważ bobry szybko znajdą słabe punkty zastosowanych rozwiązań. Odpowiednio zabiegi i urządzenia często pozwalają na całkowite i trwałe unikanie znaczących szkód, ponadto często są znacznie tańsze i skuteczniejsze niż bezpośrednia walka z bobrami i próby niszczenia ich budowli. Takimi zabiegami **ograniczającymi negatywne efekty działalności bobrów** mogą być:

- montaż w tamie bobrowej urządzeń stabilizujących poziom wody, takich jak rury przelewowe (rys. 4),
- zabezpieczenie potencjalnie zagrożonych przepustów drogowych za pomocą siatki lub klatki (rys. 5),
- zabezpieczenie cennych drzew przed zgryzaniem za pomocą metalowej siatki,



Rys. 4. Schemat montażu w tamie bobrowej urządzenia stabilizującego poziom wody - rury przelewowej (źródło: Czech, 2005)



Rys. 5. Schemat zabezpieczenia przepustu drogowego za pomocą klatki
(źródło: Czech, 2005)

- ogrodzenie upraw rolnych za pomocą metalowej siatki ogrodzeniowej lub elektrycznego ogrodzenia typu „pastuch”,
- odsunięcie obwałowań od koryt cieków w celu ograniczania kopania w nich nor bobrowych,
- zabezpieczenie wałów powodziowych (np. umocnienia kamienne), jeżeli nie ma możliwości ich odsunięcia,
- tworzenie stref buforowych w odległości ok. 20 m od zbiorników wodnych i rezygnacja z zabudowy w sąsiedztwie rzek.

2.6. Renaturyzowane ciek i tereny zalewowe

Gospodarowanie wodą na terenach rolniczych w ubiegłym wieku oparte było na koncepcji rolnictwa odwodnieniowego. Aby zwiększyć powierzchnię gruntów rolnych usuwano stały lub sezonowy nadmiar wody. Na ogromną skalę przyspieszano spływ powierzchniowy poprzez regulację rzek, osuszanie mokradeł i dolin rzecznych, budowanie systemów drenarskich i odprowadzanie wody z pól bezpośrednio do rzek. Dziś już nie ma wątpliwości, że działania te miały ogromny wpływ na aktualny stan ekosystemów zależnych od wód.

Renaturyzacja jest działaniem wspomagającym odtworzenie stanu ekosystemu lub procesów przyrodniczych zachodzących w ekosystemie zdegradowanym, uszkodzonym lub zniszczonym. Jest to długotrwały proces, obejmujący działania techniczne oraz samoistne przekształcenia w obrębie wód i związanych z nimi terenów (dolin rzecznych, terenów podmokłych). Celem jest przywrócenie rzece, uprzednio uregulowanej, stanu zbliżonego do naturalnego (istniejącego przed regulacją lub występującego w naturze).

Cechy naturalnych hydromorfologicznie koryt rzecznych:

- duża krętość rzek potencjalnie meandrujących lub ich wielokorytowość,
- duże zróżnicowanie warunków panujących w rzece – szerokości, głębokości, przekroju poprzecznego, spadku podłużnego, materiału brzegów i dna oraz typu nurtu,
- duża aktywność morfodynamiczna rzeki i świadczące o tym różnorodne jednostki hydromorfologiczne i formy korytowe,
- występowanie drzew i krzewów w strefie przybrzeżnej i wynikające z tego zacienienie koryta, korzenie stabilizujące skarpy i rumosz drzewny w korycie,
- zachowana łączność rzeki z doliną.

Powodem, dla którego warto podejmować próby odtworzenia dobrego stanu środowiska, są przede wszystkim potrzeby człowieka. Bez sprawnie działających procesów przyrodniczych gospodarka staje się trudniejsza, generuje większe koszty lub jest już wręcz niemożliwa. Przykładem idealnym jest retencja wody. Przekształcając krajobraz (wysoki udział powierzchni uszczelnionych, regulacja rzek, osuszanie mokradeł i wiele innych) zmieniamy bilans wodny i bezpowrotnie tracimy duże ilości wody, która odpływa w szybkim tempie do morza, zamiast być zmagazynowana w glebie, stawach czy roślinach.

Utrzymanie rzeki uregulowanej jest znacznie kosztowniejsze niż rzeki zbliżonej do naturalnej, o stabilnym ekosystemie, nie wymagającym przeprowadzania cyklicznych prac. Rzeki o naturalnym charakterze wspomagają nas również w okresach suszy i powodzi, których skutki stają się znacznie mniej dotkliwe dla człowieka. Zdrowe naturalne ekosystemy są również znacznie atrakcyjniejsze, zarówno dla wędkarzy, turystów jak i inwestorów. Rzeka o naturalnym charakterze ma zdolność do samooczyszczania, co przekłada się na zmniejszenie kosztów uzdatniania wody pitnej.

Renaturyzacja może odbywać się samoistnie, gdy rzeka i ekosystemy z nią powiązane odzyskują naturalny charakter bez ingerencji człowieka. Jest to możliwe w sytuacji, gdy rzeka nie uległa całkowitej degradacji, jednakże pod warunkiem zaprzestania zabiegów utrzymaniowych, takich jak wykaszanie roślinności nadbrzeżnej czy remontowanie umocnień brzegu. Słowem, czasem wystarczy nie przeszkadzać, aby pomóc.

W sytuacji znacznego przekształcenia rzeki, zwłaszcza rzeki nizinnej (fot.11), konieczna jest ingerencja człowieka, by rzeka mogła odzyskać naturalny charakter. Mowa tu o renaturyzacji wspomaganej, czyli o procesie, w ramach którego podejmowane są działania, często techniczne, mające przywrócić rzece możliwość samoregeneracji. Niezbędny jest szczegółowy plan uwzględniający uwarunkowania lokalne i na ich podstawie określający najskuteczniejsze działania. Takimi działaniami mogą być np. rozbiórki elementów infrastruktury hydrotechnicznej (budowli piętrzących, umocnień brzegów i dna) oraz wprowadzanie nowych elementów do koryta (np. zwalone drzewa), uzupełnianie materiału dennego, wprowadzanie roślinności nadbrzeżnej.



Fot. 11. Uregulowana rzeka Rokitnica na terenie rolniczym (fot. K. Karpińska)

W przypadku cieków całkowicie przekształconych konieczna jest techniczna renaturyzacja, która wykorzystuje specjalistyczne technologie i wiedzę inżynierską, by osiągnąć poprawę stanu ekosystemu rzeczno-ekologicznego. Wiele rzek zamieniono w wyprostowane kanały. Renaturyzacja takich kanałów wymaga utworzenia ich koryta od nowa, aby znów mogły pełnić rolę pełnoprawnego ekosystemu. Każdy rodzaj podejmowanych działań powinien podlegać monitoringowi, w celu sprawdzenia efektywności przeprowadzonych prac.

Cele i potencjalne korzyści renaturyzacji:

- osiągnięcie celów środowiskowych jednolitych części wód powierzchniowych,
- osiągnięcie dobrego stanu ekologicznego (naturalne części wód),
- osiągnięcie dobrego potencjału ekologicznego,
- osiągnięcie celów środowiskowych na obszarach chronionych (ochrona gatunkowa, siedliska zależne od wód),
- możliwość ograniczenia ryzyka powodziowego,
- uodpornienie ekosystemów na susze,
- zwiększenie naturalnej retencji,
- uodpornienie ekosystemu na zmiany klimatyczne.

Tereny zalewowe to obszary położone na pograniczu lądu i wody, cenne z punktu widzenia gospodarczego i przyrodniczego ze względu na dużą produktywność i bioróżnorodność, i retencjonujące część wód wezbraniowych. Rzeka i tereny zalewowe silnie oddziałują na siebie nawzajem. Dopływająca i odpływająca woda wnosi i wynosi znaczne ilości materii organicznej, co wzbogaca biotopy. Tereny zalewowe to miejsca stałego i okresowego bytowania ptactwa wodnego i innych gatunków zwierząt, często chronionych.

Równina zalewowa z ekologicznego punktu widzenia musi być traktowana jako element rzeki. Okresowe przepływy ponadkorytowe są elementem kształtującym rzeźbę równiny zalewowej, odświeżającym starorzecza, kształtującym roślinność (lasy i zarośla łęgowe, łąki

i pastwiska zalewowe). Powiązanie rzek z jej terenami zalewowymi, tj. możliwość okresowych wylewów, jest kluczowa dla funkcjonowania tych ekosystemów (fot. 12). Podczas projektowania prac renaturyzacyjnych niezwykle istotne jest, aby myśleć o rzece w połączeniu z jej doliną. Tylko łączne traktowanie rzeki i jej terenów zalewowych daje możliwość uzyskania skutecznej renaturyzacji, o prawidłowej dynamice naturalnych procesów, bez konieczności prowadzenia regularnych prac utrzymaniowych i ze zmniejszonym ryzykiem powodziowym.



Fot. 12. Widok naturalnej zalewowej pradoliny środkowej Warty pod Pyzdrami. Po lewej rok suchy 2012, po prawej rok mokry 2010 (fot. A. Winiecki - źródło: PRUS, POPEK, PAWLACZYK, 2018)

Przywracanie terenów zalewowych może się odbywać poprzez całkowitą lub częściową rozbiórkę wałów przeciwpowodziowych i w konsekwencji umożliwiać szersze wylewy rzek. Oczywiście, tam gdzie znajdują się tereny zabudowane i zurbanizowane, należy utrzymać ochronę przed wodami wezbraniowymi. Natomiast wszędzie tam, gdzie naturalne warunki topograficzne i obecny stan zagospodarowania gruntów umożliwiają ponowne włączenie fragmentów obecnego zawału do terenu zalewowego (nieużytki, grunty rolne o zarzuconym użytkowaniu, użytki zielone, lasy) należy umożliwić swobodne rozlewanie się rzeki. W celu zmniejszenia kosztów można wykonywać odcinkowe przelewy, sprawdzając możliwości wiania się wody i jej późniejszego spłynięcia.

Skutki przywrócenia terenów zalewowych:

- zalewy doliny rzecznej, przywrócenie aluwialnych warunków funkcjonowania cennych ekosystemów dolinowych,
- naturalne odnawianie starorzeczy,
- duży potencjał zarządzania ryzykiem powodziowym – ograniczone ryzyko powodziowe na niżej leżących odcinkach rzeki,
- wpływ na wysokość fali wezbraniowej, możliwe spłaszczenie wezbrania,
- zmniejszone ryzyko awarii wałów przeciwpowodziowych,
- zwiększona retencja dolinowa.

3. Agrotechniczne metody kształtowania retencji glebowej

(T. Bolewski, W. Kasperska-Wołowicz, W. Warowna)

Dobór odpowiednich metod agrotechnicznych i uprawowych ma ogromny wpływ na zdolność retencyjną gleby. Podstawowe działania dotyczą głównie poprawy struktury gleby, która wpływa na zdolność magazynowania wody. Poprzez wykonywane zabiegi na gruntach ornych mamy możliwość wpływania na poprawę stosunków wodno-powietrznych w glebie oraz ochronę przed nadmiernym parowaniem.

3.1. Mulczowanie

Wśród wielu dostępnych agrotechnicznych metod korzystnych z punktu widzenia prowadzenia produkcji rolniczej i ochrony środowiska, coraz większą popularność zdobywa mulczowanie. Jest ono zabiegiem agrotechnicznym polegającym na pokrywaniu powierzchni pola ściętą i rozdrobnioną biomasą roślin (fot. 13 i 14).

Mulcz stanowią najczęściej pozostałości po zbiorach rośliny głównej (np. kukurydzy, pszenicy ozimej) lub biomasa międzyplonów (np. gorczycy białej uprawianej na „zielony nawóz”). Niekiedy stosuje się płytkie mieszanie rozdrobnionej biomasy roślin z glebą. Otrzymuje się w ten sposób tzw. mulcz organiczno-mineralny. Mulczowanie może być stosowane w ramach konwencjonalnego (płużnego) systemu uprawy roli lub jako podstawowy element systemu uprawy konserwującej i uproszczonej.



Fot. 13. Wał tnący w trakcie rozdrabniania masy roślinnej, mieszanka miododajna na słabej glebie w woj. kujawsko-pomorskim (fot. H. Kuskowski)

Stosowanie mulczowania, zwłaszcza systematyczne, niesie ze sobą wiele korzystnych rezultatów. Jednym z często wymienianych jest korzystny wpływ na zasoby wody zgromadzone w glebie. Mulcz na powierzchni gleby stanowi warstwę ograniczającą bezpośrednie działanie

promieni słonecznych i wiatru na powierzchnię gleby i zmniejsza straty wody w glebie na skutek parowania. Ten korzystny efekt ma szczególne znaczenie w warunkach wysokiej temperatury powietrza i dużej prędkości wiatru. Badania wykazały, że zastosowanie mulczu może zmniejszyć parowanie wody z gleby nawet o blisko 60%.

Spływ wody opadowej po powierzchni gleby jest powszechnym problemem występującym na polach zlokalizowanych na zboczach wzniesień. Wykazano, że warstwa mulczu spowalnia spływ wody po powierzchni gleby i wówczas wydłuża się czas w którym woda może swobodnie wsiąkać do gleby. Dzięki temu więcej wody opadowej lub pochodzącej z nawodnień jest magazynowane w glebie i może być wykorzystane przez rośliny. Wpływ obecności mulczu na tempo spływu wody jest szczególnie zauważalny w warunkach intensywnych opadów.



Fot. 14. Mulcz (ściółka) po zbiorze rzepaku (po lewej) i mieszanki miododajnej (po prawej) w woj. kujawsko-pomorskim (fot. W. Kasperska-Wołowicz)

Wieloletnie i systematycznie mulczowanie (zwłaszcza w systemie uprawy konserwującej) wpływa na zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie. Może się to przyczynić do polepszenia struktury gleby i zwiększenia jej zdolności retencyjnych. Związki organiczne w glebie, w tym związki próchniczne, posiadają właściwości sprzyjające zatrzymywaniu wody. Jest to m.in. ich znaczna porowatość i duża powierzchnia właściwa. Niewątpliwą korzyścią większej zawartości materii organicznej w glebie jest szybsze przenikanie wody opadowej do głębszych części profilu glebowego. Warstwa mulczu ogranicza również rozwój chwastów, które konkurują z uprawianymi roślinami o wodę i składniki pokarmowe. Przyczynia się to dodatkowo do zachowania wody w glebie.

Oprócz wymienionych korzyści mulcz chroni glebę przed erozją wietrzną i wodną. Stanowi również warstwę izolacyjną, która ogranicza tempo zmian temperatury gleby (spowalnia wzrost i spadek temperatury), co korzystnie wpływa na rozwój systemów

korzeniowych roślin. Zmniejszenie tempa wychładzania gleby może pozytywnie wpłynąć na dostępność wody dla roślin, np. poprzez ograniczanie przemarzania wierzchnich warstw gleby. Dodatkowo z rozkładającego się z czasem mulczu organicznego stopniowo uwalniają cenne składniki pokarmowe dla roślin.

Skuteczność działania mulczu zależy głównie od stopnia pokrycia nim powierzchni gleby, zależnego od ilości biomasy roślin dostępnej do jego wytworzenia. Im więcej roślinności lub resztek poźniwnych znajduje się na powierzchni gleby, tym skuteczniej ograniczone jest jej parowanie i tym lepsza ochrona przed erozją. Kombinacje roślinności i resztek poźniwnych, które całkowicie pokrywają glebę i przechwytyują spadające krople deszczu na powierzchni i blisko niej, są najskuteczniejszym sposobem ograniczania erozji gleby.

Jak widać mulczowanie jest wartościowym działaniem agrotechnicznym poprawiającym retencję wody w glebie i przyczyniającym się zarówno do efektywnego i oszczędnego wykorzystania wody, ochrony gleby jak i zwiększenia plonowania.

3.2. Zielona okrywa, poplony, międzyplony, wsiewki śródplonowe

Stałe utrzymywanie okrywy gleby materią organiczną (mulczem lub żywą/zieloną okrywą), np. w postaci poplonów, międzyplonów, wsiewek lub mieszanek traw z innymi roślinami łąkowymi, chroni glebę przed erozją wietrzną i wodną, wahaniami temperatury, wypłukiwaniem składników odżywczych oraz poprawia jej właściwości fizyczno-wodne (w tym strukturę i zdolności retencyjne gleby). Rośliny okrywowe są użyteczne w ochronie gleby również w okresie, gdy nie ma na nich upraw towarowych, gdyż stanowią dodatkowe źródło materii organicznej. Wpływają na poprawę struktury i żyzności gleby oraz lepsze wykorzystanie składników odżywczych (szczególnie fosforu i potasu) przez rośliny uprawiane po nich. Stymulują również dynamikę biologiczną gleby, w tym organizmów glebowych. Dzięki ich uprawie zwiększa się zdolność gleby do przesiąkania (infiltracji) wody, mogą hamować wzrost chwastów, jak również wykorzystywać wypłukane składniki odżywcze (zwłaszcza azot) lub jak w przypadku roślin motylkowatych (bobowatych) wiązać azot. Obecność warstwy ściółki również ogranicza parowanie z powierzchni gleby oraz pozwala na zatrzymywanie wody w profilu glebowym przez dłuższy czas.

Rośliny okrywowe mogą być uprawiane na całej powierzchni pola lub w międzyrzędziach, stanowiąc rośliny towarzyszące w uprawie współrzędnej, np. z okopowymi. Są uprawiane również jako międzyplony (np. ozime lub ścierniskowe). Mogą stanowić również nawóz zielony, po rozdrobnieniu i płytkim przemieszaniu z glebą. Przykładowo, jednoroczna koniczyna inkarnatka lub łubin mogą być uprawiane jako rośliny okrywowe, stanowiące jednocześnie nawóz zielony w kolejnym sezonie wegetacyjnym.

Międzyplony i poplony są cennymi i łatwymi do wprowadzenia w zmianowaniu elementami, które dostarczają dodatkowej biomasy (zielony nawóz), poprawiają strukturę gleby i jej właściwości retencyjne, zapobiegają jej erozji. Dodatkowo, ich udział przyczynia się do zwiększenia bioróżnorodności na obszarze użytkowanym rolniczo.

Przykładem poplonu, który może być wysiewany na słabszych glebach są mieszanki miododajne. Są wysiewane wiosną, a po rozdrobnieniu jesienią, tworzą okrywę ochronną gleby w postaci mulczu. W ich skład wchodzi np. facelia, gryka, koniczyna czy szałwia.

Cenne są mieszanki traw z bobowatymi (np. koniczyną), które tworzą trwałą zieloną okrywę roślinną, poprawiającą strukturę gleby i jakość paszy (fot. 15). Dzięki ich uprawie jest możliwe ograniczenie zużycia nawozów azotowych, ze względu na zdolność wiązania tego biogenego pierwiastka w symbiozie z bakteriami brodawkowymi. Koniczyna poprawia retencję wody w glebie, dzięki silnemu i rozbudowanemu systemowi korzeniowemu, który przyczynia się do zwiększenia porowatości i poprawy struktury gleby, a tym samym do poprawy zdolności retencyjnych gleby.

Zielona okrywa przyczynia się również do ograniczenia parowania z powierzchni gleby. Wzbogaca glebę w materię organiczną, co również zwiększa jej zdolność do zatrzymywania wody. Trwała i zwarta okrywa roślinna chroni glebę przed erozją wodną i wietrzną.



Fot. 15. Mieszanka koniczyny z trawą po skoszeniu w woj. łódzkim
(fot. W. Kasperska-Wołowicz)

3.3. Uprawa uproszczona

Jednym z wielu wyzwań jakie stoi przed produkcją roślinną jest ochrona gleb i wód oraz ograniczanie kosztów produkcji. Możliwość w tych obszarach oferuje tzw. uproszczona uprawa roli. W ogólnym ujęciu polega ona na zmniejszeniu ingerencji rolnika w strukturę gleby. Termin ten oznacza zastosowanie jakiegokolwiek uproszczenia uprawowego w porównaniu do zestawu zabiegów stosowanych w systemie tradycyjnym (konwencjonalnym). Uproszczenie może polegać np. na rezygnacji z energochłonnej orki typowej na rzecz zabiegów spulchniających glebę bez jej odwracania. W przypadku uprawy płuźnej uproszczeniem może być spłycenie uprawy roli lub eliminacja całych zespołów uprawek.

Stosowanie uprawy uproszczonej niesie ze sobą wiele pozytywnych efektów, których nie obserwuje się w systemie uprawy tradycyjnej. Obejmują one m.in. ochronę zasobów wody w glebie. Uprawa bezorkowa pozwala na uniknięcie okresowego przesuszenia gleby

występującego po wykonaniu zabiegów odwracających glebę (np. orki wiosennej, przedzimowej).

Stosowanie uprawy uproszczonej (w szczególności uprawy bezorkowej) ogranicza tempo rozkładu materii organicznej w glebie. W połączeniu z wieloletnim, systematycznym stosowaniem mulczowania (w ramach systemu uprawy konserwującej) sprzyja ono zwiększeniu zawartości materii organicznej w glebie (poprawa bilansu węgla w glebie). Prowadzi to w rezultacie do poprawy zdolności retencyjnych gleby i szybszego wsiąkania wody opadowej. Obserwuje się również zwiększenie intensywności podsiąku kapilarnego, dzięki któremu dochodzi do dodatkowego zaopatrywania korzeni roślin w wodę z głębszych warstw.

Spłylenie uprawy roli z kolei, skutkuje zwiększeniem miąższości warstw gleby o mało zaburzonej strukturze, w których występują pory wytworzone przez organizmy żywe (np. pory po korzeniach roślin, korytarze wytworzone przez dżdżownice). Te tzw. biopory umożliwiają swobodny przepływ wody do głębszych warstw gleby. W warunkach intensywnych opadów szybsza infiltracja przeciwdziała utrzymywaniu się wody na powierzchni gleby i ewentualnym spływom wody.

Innymi bardzo istotnymi efektami ograniczenia mechanicznej uprawy jest zmniejszenie podatności gleby na erozję wodną i wietrzną oraz ograniczenie emisji CO₂ z jej powierzchni. Wprowadzenie systemu uproszczonej uprawy przyczynia się również do ograniczania kosztów produkcji roślinnej.

3.4. Głęboszowanie

Głęboszowanie jest zabiegiem uprawowym wykonywanym na głębokości poniżej warstwy ornej gleby (ok. 35-60 cm), z wykorzystaniem agregatu uprawowego zwanego głęboszem (fot. 16). Dłuta (zęby) głębosza wnikają głęboko w profil gleby, powodując kruszenie, rozluźnienie i spulchnienie gleby, bez jej odwracania. Zabieg ten poprawia stosunki powietrzno-wodne w glebie. Pozwala na likwidację nadmiernie zagęszczonej warstwy gleby (zwanej „podeszwą płużną”), która tworzy się na skutek przejazdów ciężkich maszyn rolniczych, wieloletniego stosowania orki zwłaszcza na jednakową głębokość, jak również intensywnego nawadniania.

W wyniku głęboszowania zagęszczone warstwy gleby ulegają rozbiciu, co wpływa na poprawę jej struktury i właściwości retencyjnych. W rezultacie następuje lepsze wnikanie (infiltracja) wody w głąb profilu glebowego i zmniejszenie spływu powierzchniowego wody, co przyczynia się do poprawy dostępności wody dla roślin.

Zabieg głęboszowania najczęściej stosowany jest na glebach ciężkich i średnich, a rzadziej na glebach lekkich, które są w mniejszym stopniu narażone na nadmierne zagęszczenie. Stosuje się go głównie pod rośliny okopowe, takie jak buraki cukrowe. Pod inne uprawy - rzadziej. Jest on stosunkowo czasochłonny (ok. 1 ha/godz.). W zależności od potrzeb i stanu gleby, można regulować rozstaw dłut (zębów) i stosować ciągniki o różnej mocy.



Fot. 16. Przeprowadzanie zabiegu głęboszowania, pole orne
w woj. kujawsko-pomorskim (fot. T. Bolewski)

Na glebach podatnych na nadmierne zagęszczenie głęboszowanie zwykle wykonuje się regularnie, najczęściej raz na kilka lat na danym polu (np. raz na 4 lata). Na glebach o mniejszej podatności na nadmierne zagęszczenie, zabieg zaleca się wykonywać tylko na ścieżkach przejazdowych maszyn i uwrociach (miejsca nawracania maszyn) - szczególnie narażonych na nadmierne zagęszczenie gleby. Głęboszowanie najczęściej stosuje się po zbiorach i przed innymi pracami polowymi w okresie jesiennym, gdy gleba nie jest nadmiernie przesuszona ani mokra. Przed podjęciem decyzji o głęboszowaniu wskazane jest wcześniejsze rozpoznanie, czy na danym polu pojawiła się nadmierne zagęszczona warstwa gleby. Takie rozpoznanie należy wykonać w wielu miejscach na polu, np. poprzez wykonanie niewielkich odkrywek glebowych.

Korzystne efekty głęboszowania (zwiększenie plonu i jego jakości) są zauważalne zwłaszcza w przypadku roślin okopowych (np. buraków cukrowych, brukwi). Plonotwórczy efekt tego zabiegu widoczny jest również w całym płodozmianie. Dzięki niemu rośliny lepiej się ukorzeniają, korzenie roślin łatwiej wnikają w glebę i łatwiej docierają do wody, nie napotykając przeszkód. Inne rośliny również uzyskują silniejszy system korzeniowy, a także lepiej pobierają i absorbują wodę i składniki odżywcze. Efekty głęboszowania są szczególnie zauważalne na obszarach narażonych na susze. Oprócz poprawy stosunków wodno-powietrznych w glebie i zaopatrzenia roślin w wodę, badania naukowe pokazały, że zabieg ten korzystnie wpływa na właściwości biologiczne gleby i ogranicza choroby korzeni. Głęboszowanie zalecane jest również rolnikom nawadniającym swoje pola.

Zabieg ten może być stosowany zamiast tradycyjnej orki w celu spulchnienia gleby bez jej odwracania. W takim przypadku może stanowić część systemu uprawy uproszczonej. Jako zabieg spulchniający w znacznie mniejszym stopniu niż orka naraża glebę na erozję wodną i wietrzną.

Głęboszowanie stosowane jako część uproszczonej uprawy gleby pozwala również na zmniejszenie wielkości emisji CO₂ z gleby w porównaniu z tradycyjnym systemem orkowym.

Głęboszowanie jest zabiegiem dodatkowym, nie jest popularne i tanie. Najczęściej wykonywane jest po zbiorach, jako element uprawy przedzimowej. Aby było najbardziej efektywne ekonomicznie, powinno być wykonywane w optymalnych warunkach wilgotności gleby ze względu na zużycie dłu i ograniczenie oporu mechanicznego gleby w czasie wykonywania zabiegu. Do tego konieczne jest monitorowanie warunków agrometeorologicznych i właściwa organizacja działań w gospodarstwie. Pomocne byłoby utworzenie programu dopłat do takich działań. Głęboszowanie wymaga bardzo dobrej znajomości pola, a niekiedy także wiedzy na temat rozmieszczenia przestrzennego rur drenarskich na polach (ze względu na ryzyko ich uszkodzenia). Dużym udogodnieniem jest posiadanie map z takimi informacjami.

Głęboszowanie przynosi najlepsze efekty w połączeniu z innymi praktykami agrotechnicznymi w ramach systemu uprawy konserwującej, takimi jak np. mulczowanie.

Głęboszowanie i mulczowanie oraz inne działania techniczne i nietechniczne poprawiające retencję glebową zostały włączone do międzynarodowej bazy danych WOCAT (ang. *World Overview of Conservation Approaches and Technologies*; <https://wocat.net/en/>) na temat sposobów zarządzania i zrównoważonego użytkowania gruntów (ang. *Sustainable Land Management, SLM*). Zostały one wybrane, a następnie szczegółowo opisane na podstawie preferencji rolników i przedstawicieli lokalnej administracji w rejonie zlewni rzeki Zgłowiączka i sąsiednim¹.

3.5. Agroleśnictwo

Agroleśnictwo, inaczej zwane systemem rolno-leśnym, to użytkowanie gruntu, gdzie uprawę rolną lub chów zwierząt łączy się z uprawą drzew lub krzewów na tym samym terenie. Ze względu na różnice uprawowe można wyróżnić następujące systemy rolno-środowiskowe:

- **system drzewno-orny (alejowy)** – podstawowa uprawa roczna lub wieloletnia wraz z drzewami rosnącymi w znacznych odległościach tworzącymi aleje (fot. 17);
- **system leśno-pastwiskowy** – wypas zwierząt wśród drzew, krzewów, żywopłotów (fot. 18);
- **„rolnictwo leśne” (uprawa w lesie)** – uprawa w lesie naturalnie występujących w danych warunkach gatunków roślin, np. do celów leczniczych, ozdobnych czy kulinarnych (fot. 19);
- **„ogrody przydomowe z drzewami” / ogrody leśne** – uprawa warzyw wśród drzew i krzewów, najczęściej na terenach ogrodów działkowych lub zabudowy jednorodzinnej w miastach (fot. 20).

Agroleśnictwo pozytywnie wpływa na zwiększanie retencji. Działanie systemów rolno-leśnych na obieg wody jest zbliżone do tego, jakie dają zadrzewienia śródpolne. Agroleśnictwo wpływa na zmianę retencji poprzez:

¹ Prace wykonano w ramach projektu pt. „Optymalne strategie retencjonowania i ponownego wykorzystania wody i biogenów w małych zlewniach rolniczych w zróżnicowanych regionach glebowo-klimatycznych Europy (OPTAIN)”, finansowanego w ramach Programu Unii Europejskiej Horyzont 2020 Badania i Innowacje, na podstawie umowy nr 862756

- korzystne oddziaływanie na glebę – wpływa na zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie, a w efekcie zwiększenie efektywności zatrzymywania i magazynowania wody,
- korzystne oddziaływanie na mikroklimat – zmniejszenie parowania oraz zapobieganie erozji gleb, co pozytywnie wpływa na zmniejszenie negatywnych skutków susz,
- ograniczanie wymywania azotu i fosforu z gruntu do wód – lepsza jakość retencjonowanej wody.



Fot. 17. System drzewno-orny (alejowy)
(źródło: <https://firmylesne.pl>)



Fot. 18. System leśno-pastwiskowy
(źródło: <https://www.kalendarzrolnikow.pl>)



Fot. 19. „Rolnictwo leśne” (uprawa w lesie)
(źródło: <https://receptynadom.pl>)



Fot. 20. „Ogrody przydomowe z drzewami”/ ogrody leśne (źródło: <https://biznes.interia.pl>)

Aby odpowiednio dobrać i użytkować system rolno-leśny należy:

- przetestować w miejscu planowanego założenia agroleśnictwa, jakie gatunki roślin są najlepsze (najlepiej najpierw na małych powierzchniach, a potem dopiero zwiększać obszar);
- stosować żywe ściółki w rzędach drzew, które później będą służyć jako źródła sadzonek;
- podczas zakładania żywych ściółek stosować uzupełniające metody zwalczania chwastów (ręczne odchwaszczanie, podcinanie korzeni chwastów nożem);
- tam, gdzie to możliwe, preferować gatunki lokalne, aby zwiększyć prawdopodobieństwo przyjęcia się zasadzonych roślin;
- uprawiać wieloletnie rośliny strączkowe, zamiast jednorocznych, co pomoże zoptymalizować uprawę.

Generalnie należy zaznaczyć, że najlepsze efekty uzyskuje się w wyniku stosowania kilku różnych metod agrotechnicznych w ramach jednego systemu uprawy

4. Przykłady dobrych praktyk małej retencji (*W. Kasperska-Wołowicz, K. Karpińska, W. Warowna*)

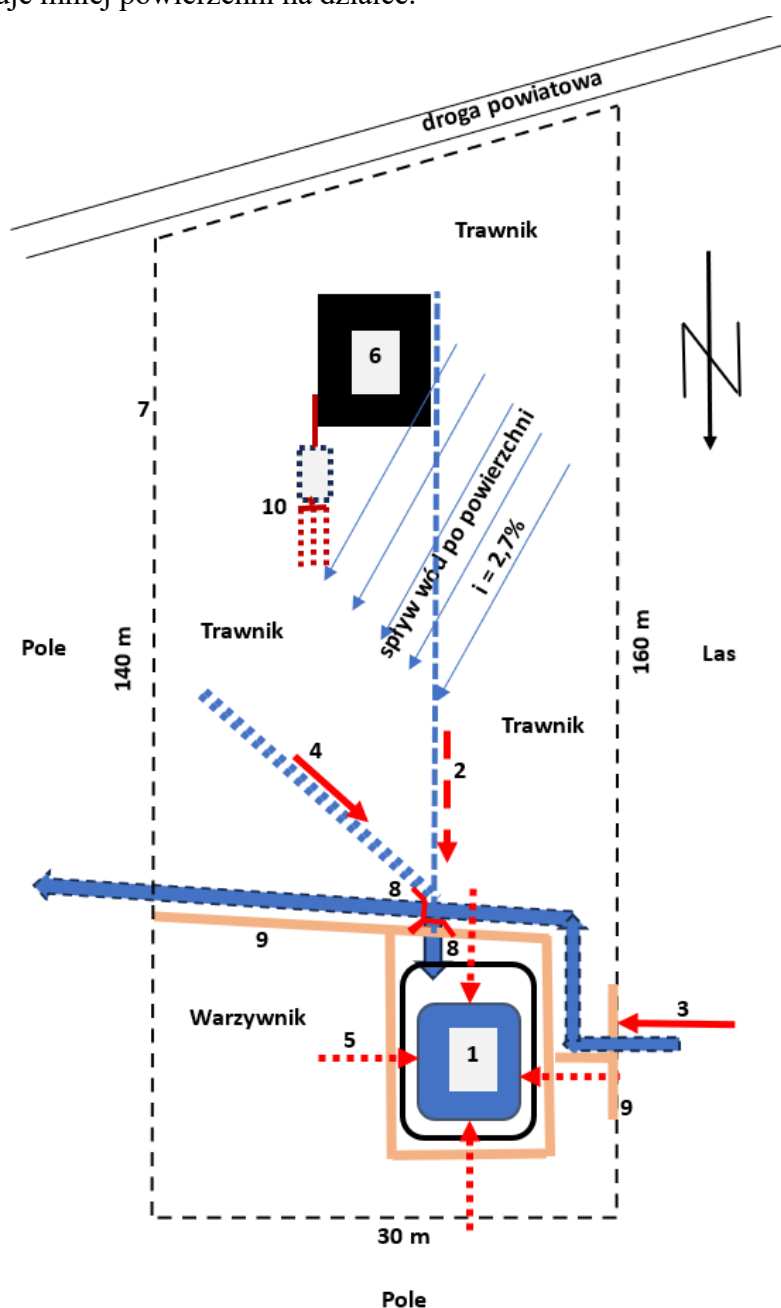
Mała retencja jest jednym z podstawowych narzędzi dostosowania gospodarki wodnej do zmian klimatu. Zadania z jej zakresu powinny być włączone w codzienną działalność służb wodnych jako jeden z elementów poprawy struktury bilansu wodnego, ograniczenia skutków powodzi oraz susz. Również użytkownicy indywidualni powinni wprowadzać możliwie jak najwięcej działań małej retencji na własnym terenie. Poniżej opisano kilka przykładów takich działań, zarówno możliwych do realizacji we własnym zakresie, jak i projektów wymagających kooperacji instytucjonalnej.

4.1. Zagospodarowanie wód opadowych na terenie gospodarstwa

Na rysunku 6 przedstawiono schemat małego stawu (1) w powiecie opoczyńskim, na działce zadarnionej (trawnik) o powierzchni ok. 0,45 ha, obiekty mu towarzyszące oraz źródła zasilające staw wodą. Jest to staw kopany o powierzchni około 100 m² i głębokości ok. 2,5 m, położony na glebach lekkich (piaski średnio i gruboziarniste). Jedynym stałym źródłem wody w stawie są wody gruntowe o zwierciadle wody w latach suchych (2020, 2021) na głębokości ok. 2 m. Drugim źródłem wody w stawie są wody deszczowe i wody z roztopów, spływające od strony południowej stawu po terenie o powierzchni ok. 3000 m². W czasie nawałnych (burzowych) opadów deszczu woda wsiąka w przepuszczalną glebę, ale ok. 50% wody deszczowej spływa po powierzchni terenu trafiając do bruzdy (4) o głębokości ok. 20 cm, wykopanej nieco pod kątem do linii spływającej po powierzchni terenu wody (ze spadkiem w kierunku stawu). Teren charakteryzuje się dużym spadkiem, ok. 2,7%, i jest pokryty trawnikiem. Najmniej pewnym źródłem wody, szczególnie w latach suchych, jest woda okresowo płynąca rowem zachodnim (3) ze zlewni o powierzchni ok. 10 km². W okresie roztopów woda z tej zlewni zasila staw w wodę, a jednocześnie stanowi zagrożenie dla stawu. W 2022 r. w wyniku dużego opadu deszczu („oberwanie chmury”) staw i teren sąsiedni (z warzywnikiem) został zalany wodą. Aby zapobiec takim sytuacjom staw i warzywnik zostały ogroblone a rów pogłębiony. Wybudowano również dwie zastawki szandorowe (8), tworzące węzeł rozrządu wody. Woda ze wszystkich źródeł (z wyjątkiem wód gruntowych) jest kierowana do stawu, a w przypadku nadmiaru wody w stawie do rowu odpływowego. Staw po napełnieniu wodami powierzchniowymi (opadowymi i ew. ze zlewni rowu zachodniego), szybko traci wodę (do ok. 10 cm/dobę). Jest to związane z przesiekami wody stawowej do wód gruntowych. Po wyrównaniu się poziomów tych wód woda w stawie opada już tylko w wyniku parowania pomniejszonego o dopływ wód gruntowych. Nie zaobserwowano spływu wód do stawu, nawet po opadach nawałnych (burzowych), po pochyłej (spadek w kierunku stawu ok. 3%) powierzchni od strony północnej stawu. Teren ten jest użytkiem rolnym.

Skarpy stawu charakteryzują się niewielkim pochyleniem (ok. 1:1), aby zająć możliwie mało powierzchni na wąskiej działce. Tylko jedna skarpa (południowa) posiada nachylenie 1:2, aby umożliwić dostęp do wody ludziom i dzikim zwierzętom (raczej małym, gdyż działka jest ogrodzona). Może nieistotnym źródłem wód gruntowych, ale wartym wspomnienia, są wody ściekowe rozsączone w glebie. Drenaż rozsączający znajduje się około 1,5 metra ponad powierzchnią najwyżej położonego zwierciadła wody gruntowej. Do rozwiązania zostaje

problem sprowadzenia wody z rowu zbiorczego na nisko położone zwierciadło wody w stawie. Duża różnica rzędnych zwierciadła wody w rowie i zwierciadła wody w stawie jest przyczyną burzliwego przepływu wody powodującego rozmycie skarpy stawowej. Problem ten można rozwiązać kształtując skarpe o małym nachyleniu (w przykładzie skarpa południowa) od strony wlotu rowu do stawu. Wodę z rowu do stawu można wtedy łatwiej sprowadzić za pomocą bystrotku np. kamiennego lub też mniej ekologicznie mlichem wpustowym z leżakiem na poziomie najniższego zwierciadła wody w stawie (na poziomie dna stawu). Mlich wpustowy zajmuje mniej powierzchni na działce.



Rys. 6. Mały staw (1) na działce (7) i źródła zasilania go w wodę: 2 - dopływ wody z dachu budynku mieszkalnego (6) rurociągiem, 3 - dopływ wody z małej zlewni rowu zachodniego, 4 - dopływ spływającej po powierzchni wody opadowej i roztopowej bruzdą głębokości ok. 20 cm, 5 - dopływ wód gruntowych.

Infrastruktura stawowa: 8 - budowle rozrzędu wody (dwie zastawki drewniane), 9 – grobelka,

10 - dwukomorowy gnilny osadnik ściekowy i drenaż rozsączający ścieki

(oprac. E. Kaca)

4.2. Paludikultura (rolnictwo bagienne) – projekt PaluWise

W 2025 roku rozpoczął się międzynarodowy projekt PaluWise, poświęcony zrównoważonemu użytkowaniu zdegradowanych torfowisk po ich ponownym uwodnieniu. Wybrano cztery obszary demonstracyjne w Europie, na których zostanie wprowadzona paludikultura (rolnictwo bagienne). Obszary te położone są na zdegradowanych glebach organicznych, a dzięki projektowi mają szansę przekształcić się w produktywne rolniczo krajobrazy. Konsorcjum PaluWise składa się z 18 partnerów z ośmiu europejskich krajów (Polski, Finlandii, Holandii, Niemiec, Wielkiej Brytanii, Irlandii, Litwy i Łotwy), a koordynowane jest przez Natural Resources Institute Finland (Luke).

Paludikultura, czyli rolnicze użytkowanie zdegradowanych torfowisk w warunkach wysokiego uwodnienia, jest kluczowym narzędziem do osiągnięcia celów stawianych w Nature Restoration Law (NRL), mianowicie odtworzenia 30% osuszonych na potrzeby rolnictwa torfowisk do 2030 roku. Paludikultura sprzyja również łagodzeniu zmian klimatu, wzrostowi bioróżnorodności na terenach rolniczych i zwiększeniu retencji wody w krajobrazie rolniczym.

Jednym z obszarów demonstracyjnych jest obiekt Biebrza Kuwasy, należący do Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego - Państwowego Instytutu Badawczego (ITP-PIB) w Falentach (fot. 21). Na tym terenie planuje się zmodernizowanie istniejącego systemu melioracyjnego w celu przywrócenia możliwości nawadniania gruntów, a następnie uprawę turzycy, która posłuży za surowiec do produkcji ekologicznych materiałów izolacyjnych.



Fot. 21. Jeden z obszarów demonstracyjnych projektu PaluWise - Biebrza, teren ITP-PIB
(fot. K. Karpińska)

4.3. Przykłady praktyk agrotechnicznych retencjonowania wody w glebie opisane w bazie Wocat w ramach projektu OPTAIN

Szwajcaria: Międzyplony - na przykładzie współrzędnej uprawy roślin strączkowych ze zbożami jako zrównoważona praktyka rolnicza (fot. 22). Polega ona na uprawie roślin strączkowych (np. groch, fasola, łubin) i zbóż (np. jęczmień, pszenica, owies) na tym samym polu, co zmniejsza ryzyko nieurodzaju lub spadku plonów, stabilizuje obecność roślin strączkowych, promuje bioróżnorodność i zwiększa plony. Praktykę tę opisano na przykładzie jednego z gospodarstw w zachodniej części Szwajcarii (Vaud).



Fot. 22. Mieszany system upraw - wspólna uprawa grochu i jęczmienia, Szwajcaria
(źródło: https://qcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies_6235/)

Wykonane czynności:

- 1) Wymieszanie nasion - w siewniku jednozbiornikowym nasiona wymieszano w proporcji 80% normy czystego siewu grochu i 40% normy siewu czystego jęczmienia. (W przypadku siewników wielozbiornikowych, nasiona składników mieszanki są wysiewane oddzielnie).
- 2) Siew mieszanki – zastosowano rozstaw rzędów 12 cm i wysiano nasiona na głębokość od 3 do 4 cm. Siew wykonano pod koniec października (zazwyczaj siew ma miejsce późnym latem).
- 3) Wiosną oceniono stan mieszanki po zimie, dokładny termin zależy od nasilenia zimy.
- 4) Zwalczanie chwastów generalnie nie jest konieczne ze względu na konkurencyjny charakter mieszanek. W przypadku dużego zachwaszczenia można rozważyć jednokrotne bronowanie wiosną (2-3 godziny na hektar w celu odchwaszczenia).

5) Zbiór – dostosowano sita kombajnu do grochu. Otwarto szeroko klepisko młójące i listwy łuskające. Utrzymano niską prędkość obrotową bębna. Monitorowano straty ziarna. Ustawiono podstawę tnącą pod agresywnym kątem cięcia. Zbiór wykonano latem. Rolnik zazwyczaj uprawia te rośliny na powierzchni 2-3 hektarów.

Wpływ zastosowanej praktyki (uprawy międzyplonu) na otaczające środowisko:

- dobre pokrycie gleby dzięki mieszanej uprawie nieznacznie zmniejsza parowanie, w dużym stopniu ogranicza straty wierzchniej warstwy gleby na skutek erozji wodnej,
- rośliny strączkowe wiążą azot w glebie,
- zasolenie i kwasowość gleby ulegają zmniejszeniu,
- pokrywa roślinna i biomasa są nieco większe dzięki mieszance roślin, podobnie ich różnorodność,
- mniejsza ilość inwazyjnych gatunków obcych dzięki tłumieniu chwastów w zbożach,
- więcej gatunków pożytecznych, gdyż rośliny strączkowe dostarczają kwiatów zapylaczom i żyją w symbiozie z bakteriami brodawkowymi wiążącymi azot.

W Polsce również popularna jest współrzędna uprawa grochu i jęczmienia jarego, wysiewanych wiosną, m.in. w celu uzyskania wysokobiałkowej paszy lub zielonego nawozu po uprzednim zmulczowaniu.

Słowenia: Uprawa roślin okrywowych z mieszkami miododajnymi (fot. 23). Rośliny okrywowe (zwane też międzyplonami lub nawozami zielonymi) to szybko rosnące rośliny z różnych rodzin, głównie bobowatych, traw i kapustnych. Są one wysiewane po zbiorze plonu głównego, okrywają glebę latem, jesienią i zimą. Ich głównymi funkcjami są poprawa żyzności gleby, zatrzymywanie wilgoci, zapobieganie erozji i ograniczanie wypłukiwania składników odżywczych do cieków wodnych. Różne cechy gatunków w mieszance łączą w sobie wiele zalet: różnej głębokości systemy korzeniowe pobierają składniki odżywcze z różnych warstw gleby; zagęszczone gleby stają się luźniejsze i mają lepszą strukturę; mieszanka tych gatunków prowadzi do wzbogacenia materii organicznej i próchnicy; gatunki kwitnące stanowią pożywienie dla zapylaczy; ogólny efekt to mniejsze zapotrzebowanie na nawozy i pestycydy, co z kolei poprawia jakość wody i zmniejsza ryzyko dla środowiska; gatunki roślin strączkowych w mieszance wiążą azot z powietrza, a uprawy następce, takie jak kukurydza, wymagają mniej nawozów, co zmniejsza emisję gazów cieplarnianych.

Popularną mieszankę stosowaną w Słowenii tworzą koniczyna egipska (*Trifolium alexandrinum*), koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense*), facelia (*Phacelia tanacetifolia*) i olejarka abisyńska (*Guizotia abyssinica*). Gatunki te są odporne na suszę, wspierają zapylacze i naturalnie giną po pierwszych przymrozkach, co ułatwia późniejsze przygotowanie gleby, w tym orkę jesienną lub wiosenną. Mieszanka nadaje się do płodozmianu (zarówno w konwencjonalnych, jak i ekologicznych systemach rolniczych), ponieważ gatunki w niej zawarte nie są spokrewnione z uprawami towarowymi. Wysiewa się ją po zbiorach zbóż ozimych i innych wczesnych upraw towarowych. Ta mieszanka jest szczególnie odpowiednia na obszary chronionego krajobrazu (np. obszary nizinne w pobliżu stref ochronnych wód, strumieni i innych zbiorników wodnych), ponieważ jej intensywny wzrost zapobiega wypłukiwaniu nadmiaru azotu z gleby do wód gruntowych, poprawia jej zdolność retencjonowania wody w glebie oraz skutecznie hamuje jej erozję i rozwój chwastów. Dodatkowo, jej kolorowe kwiaty w miesiącach letnich ożywiają krajobraz oraz stanowią bogate źródło nektaru dla pszczoł i innych zapylaczy.



Fot. 23. Mieszanek okrywowa (*Trifolium alexandrinum*, *Phacelia tanacetifolia*, *Trifolium* sp. i *Guizotia abyssinica*) na gruntach ornych, Słowenia
(źródło: https://qcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies_7463/)

Mieszanki te wysiewane są bezpośrednio po zbiorach zbóż ozimych, pod koniec lipca lub na początku sierpnia, w ilości 12 kg/ha. Ze względu na niewielki rozmiar nasion, konieczne jest właściwe przygotowanie podłoża. Nasiona wysiewa się płytko, zazwyczaj na głębokość 1–2 cm, w zależności od warunków glebowych. Zazwyczaj wysiewa się je siewnikiem zbożowym w rozstawie rzędów 12,5 cm lub rozsiewa się rozsiewaczem nawozów. Siew siewnikiem zapewnia precyzyjne rozmieszczenie nasion i stałą głębokość, co sprzyja równomiernemu kiełkowaniu. Siew rozsiewaczem nawozów polega na równomiernym rozrzuceniu nasion po powierzchni gleby, a potem lekkim wymieszaniu nasion z glebą. Obie metody są powszechnie stosowane, a ich wybór zależy od konkretnych warunków polowych i sprzętu. Rośliny w mieszance osiągną wysokość do 50–100 cm, w zależności od ich gatunków i warunków uprawy.

Wpływ zastosowanej praktyki na otaczające środowisko:

- zmniejszenie bezpośredniego narażenia gleby na działanie wody, zwiększenie wilgotności gleby poprzez ograniczenie parowania i poprawę infiltracji wody,
- zapewnienie ciągłej pokrywy gleby, stabilizującej strukturę gleby i chroniącej glebę przed erozją, utratą składników odżywczych i ekstremalnymi warunkami pogodowymi,
- akumulacja biomasy nadziemnej i zwiększenie ilości węgla organicznego w glebie,
- zwiększenie bioróżnorodności i odporności ekosystemu, poprzez tworzenie zróżnicowanych siedlisk dla zapylaczy, pożytecznych owadów i organizmów glebowych, co przyczynia się do poprawy zdrowia gleby i odporności ekosystemów,
- rośliny okrywowe zwiększają retencję wody, ograniczają parowanie i poprawiają strukturę gleby, uodporniając ją bardziej na suszę, działają również jak naturalny bufor, ograniczając spływ wody, filtrując zanieczyszczenia i zapobiegając utracie składników odżywczych.

W perspektywie krótkoterminowej koszty takich praktyk to wysokie inwestycje w maszyny, bez bezpośredniego zwrotu finansowego. Jednak w dłuższej perspektywie korzyści, takie jak lepsza żyzność gleby, niższe koszty nakładów i wyższe plony w płodozmianie, pomagają zrekomensować początkowe wydatki.

4.4. Renaturyzacja śródlądowej delty rzeki Nidy

Projekt renaturyzacji śródlądowej delty Nidy realizowano od 2019 r. w ramach programu LIFE Komisji Europejskiej. W ramach jego prac udrożniono 12 km cieków, zrewitalizowano 5 km starorzeczy i 10 ha rozlewisk oraz odnowiono 19 obiektów hydrotechnicznych. Śródlądowa delta rzeki Nidy to unikatowa w skali kontynentu struktura geomorfologiczna. Układ zlewni Nidy powoduje, że rzeka zbiera dużo wody w Górach Świętokrzyskich, ma spore nachylenie i transportuje dużo osadów. Wpływając na płaski teren (fot. 24) zwalnia bieg i pozostawia większość niesionych osadów, trochę jak przy ujściu do morza.



Fot. 24. Rzeka Nida, woj. świętokrzyskie

(źródło: <https://life4delta.pl/renaturyzacja-srodladowej-delty-rzeki-nidy-2/>)

W wyniku błędnie prowadzonych prac melioracyjnych w latach 80. i 90. poważnie naruszono stosunki wodne regionu. Dzięki holistycznemu podejściu w tym projekcie odtworzono naturalne warunki wodne i siedliska na obszarze 400 ha. Renaturyzacja tego terenu umożliwia magazynowanie około 2 mln m³ wody, a rzeka znowu ma możliwość wylewać na okoliczne, nizinne łąki. Obszar ten zyskał potencjał retencyjny, większą odporność na suszę oraz siedliska dla cennych gatunków zwierząt – m.in. traszek grzebieniastych, kumaków nizinnych, żółwia błotnego. W projekcie wykorzystano również wypas bydła ras hereford i polska czerwona oraz koniki polskie w celu poprawy bioróżnorodności łąk.

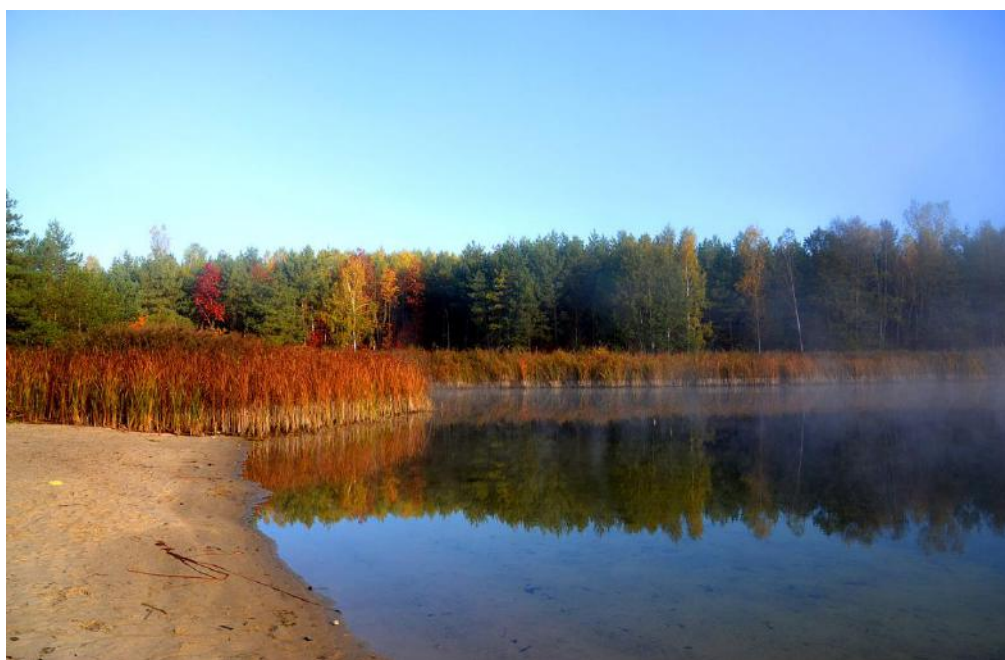
4.5. Zbiornik wodny w wyrobisku pokopalnianym

W celu zwiększenia małej retencji można, a nawet zaleca się wykorzystywać istniejące predyspozycje terenowe. Takim przykładem może być wykorzystywanie wyrobisk pokopalnianych jako zbiorników wodnych, które będą zwiększać retencję zniszczonego przez kopalnię terenu. Jest to podwójna korzyść, ponieważ rekultywuje się teren po działalności

człowieka, a jednocześnie powstaje miejsce do życia dla roślin, zwierząt, podnoszą się walory krajobrazowe i środowiskowe zdegradowanego miejsca, a otaczający teren zyskuje zbiornik poprawiający retencję pod wieloma względami. Przykładem rekultywacji wyrobiska, dzięki której powstał zbiornik przyjazny środowisku, jest Zbiornik Bogdałów (fot. 25 i 26) powstały na terenie po kopalni „Adamów”. Zbiornik ten pełni funkcję retencyjną dla pobliskich lasów (Nadleśnictwo Turek) oraz jest wykorzystywany do celów przeciwpożarowych. Dodatkowo, jest to miejsce życia wielu gatunków flory i fauny, z unikalnym mikroklimatem.



Fot. 25. Zbiornik Bogdałów – widok z góry (źródło: <https://turek.poznan.lasy.gov.pl>)



Fot. 26. Zbiornik Bogdałów – widok brzegu (źródło: <https://www.turek.net.pl>)

LITERATURA

- BOREK R. (red.), 2021. Agroleśnictwo (Systemy rolno-leśne). Poradnik dla rolników i doradców rolnych. IUNG-PIB. Puławy.
- CZECH A., 2005. Analiza dotychczasowych rodzajów i rozmiaru szkód wyrządzanych przez bobry oraz stosowanie metod rozwiązywania sytuacji konfliktowych. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków.
- GŁODOWSKI R., 2020. Bobry – naturalni sprzymierzeńcy czy wymyśleni wrogowie? Ekspertyza Woda w Rolnictwie. Koalicja Żywa Ziemia. Warszawa. Wyd. Polski Klub Ekologiczny Koło Miejskie w Gliwicach.
- JOWIK P., LESZCZYŃSKA A., 2023. Torfowiska w krajobrazie rolniczym. Nowe perspektywy. Centrum Ochrony Mokradeł. Warszawa.
- BAR-MICHALCZYK D., BĄK B., GARBOWSKI T., KANECKA-GESZKE E., KASPERSKA-WOŁOWICZ W., KARPIŃSKA K., KIERASIŃSKI B., 2024. Retencja na gruntach zmeliorowanych. ITP-PIB. Falenty.
- MIODUSZEWSKI W., 2014. Stawy, małe zbiorniki wodne. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa.
- NAWROCKI P., NIEZNAŃSKI P., 2020. Utrzymanie rzek a środowisko i susza. Potrzeba radykalnej zmiany dotychczasowych praktyk w gospodarowaniu wodami na terenach rolniczych. Ekspertyza Woda w Rolnictwie. Koalicja Żywa Ziemia. Warszawa. Wyd. Polski Klub Ekologiczny Koło Miejskie w Gliwicach.
- PAWLACZYK P. (red.), 2020. Podręcznik dobrych praktyk renaturyzacji wód powierzchniowych. Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- PRUS P., POPEK Z., PAWLACZYK P., 2018. Dobre praktyki utrzymania rzek. Warszawa.
- Raport Stowarzyszenia Nasz Bóbr. Nie jest dobrze, bobrze! Rzeczywistość ochrony częściowej. 2024.
- RYSZKOWSKI L., BAŁAZY S., KĘDZIORA A., 2003. Kształtowanie i ochrona zasobów wodnych na obszarach wiejskich. ZBŚRiL PAN. Poznań.
- SZYMCZAK T., 2020. Retencjonowanie wody na obszarach rolniczych. ITP-PIB. Falenty.
- <https://www.naszbobr.pl/wplyw-bobrow-na-srodowisko-i-gospodarke-czlowieka/>
- https://wir.org.pl/asp/pliki/aktualnosci_2020/zatrzymac_wode.pdf

CZĘŚĆ III

Systemy odwodnień i nawodnień grawitacyjnych w kształtowaniu retencji glebowo-gruntowej

prof. dr hab. inż. Edmund Kaca, dr inż. Tymoteusz Bolewski, mgr inż. Bartosz Kierasiński

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy - Państwowy Instytut Badawczy

Spis treści

1. Systemy drenarskie z piętrzeniem wody (E. Kaca)	116
2. Nawodnienia podsiąkowe i odpływ regulowany (E. Kaca)	120
3. Budowle piętrzące i regulacyjne w systemach melioracyjnych (B. Kierasiński, E. Kaca)	136
4. Monitoring melioracyjny: urządzenia kontrolno-pomiarowe (T. Bolewski);	157
5. Gleboznawstwo melioracyjne trwałych użytków zielonych (TUZ) (E. Kaca)	168
6. Potrzeby i ogólne zasady gospodarowania wodą na TUZ (E. Kaca)	182
Załącznik – Schematy blokowe, procedury, akceptowalne normy odwodnień, przykład wytycznych sporządzania instrukcji eksploatacji systemu odwodnień i nawodnień podsiąkowych	192

Wprowadzenie. Niniejsza część została opracowana w oparciu o wiedzę i doświadczenie ekspertów uczestniczących w realizacji projektu „*Innowacje technologiczne oraz system monitoringu, prognozowania i operacyjnego planowania działań melioracyjnych, dla precyzyjnego gospodarowania wodą w skali obiektu melioracyjnego (INOMEL)*”, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Projekt realizowano w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych "ŚRODOWISKO NATURALNE, ROLNICTWO I LEŚNICTWO" BIOSTRATEG w latach 2018-2022.

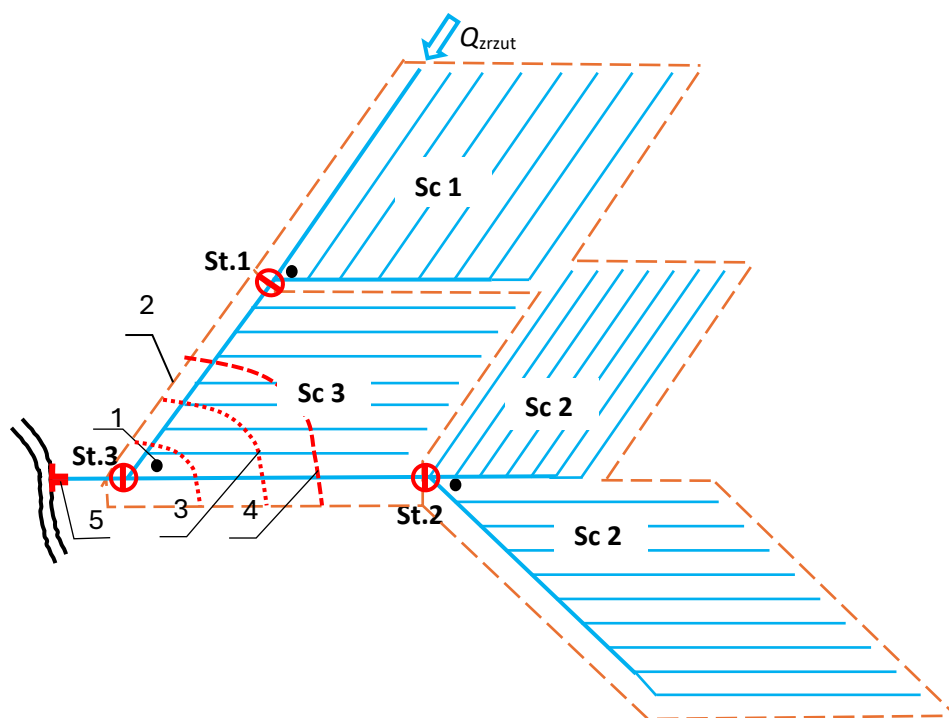
Część wyników pochodzi ze sprawozdań i opracowań, w tym zaleceń wdrożeniowych opracowanych w tym projekcie. Dotyczą one przede wszystkim operacyjnych metod planowania gospodarki wodnej w systemach odwodnień oraz w systemach nawodnień podsiąkowych, innowacyjnych budowli do regulacji piętrzenia wody w rowach melioracyjnych i systemach drenarskich oraz regulacji i pomiaru natężenia przepływu wody w systemach nawodnień podsiąkowych, a także monitoringu melioracyjnego wraz z urządzeniami kontrolno-pomiarowymi.

Specjalny rozdział poświęcono zagadnieniom gleboznawstwa melioracyjnego, dotyczącego gleb hydrogenicznych (organicznych, madowych i czarnoziemnych). Są tu zawarte wyniki prac badawczo-wdrożeniowych zrealizowanych w byłym Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach (obecnie Instytut Technologiczno-Przyrodniczy), głównie na glebach torfowych w rejonie Narwi, Noteci i Kanału Wieprz-Krzna.

1. Systemy drenarskie z piętrzeniem wody (E. Kaca)

Możliwości gospodarowania wodą na zdrenowanych gruntach ornych warunkują rozwiązania projektowe systemu drenarskiego. Racjonalizację tej gospodarki może umożliwić stworzenie na bazie studni drenarskich (zastawek na rowach odpływowych) pojemności retencyjnych na wodę własną, tj. odpływającą z systemu drenarskiego. Woda ta może być gromadzona w zbiornikach gruntowych, każdy z piętrzeniem wody na studni drenarskiej

(zastawce piętrzącej) i za jej pośrednictwem w odwadnianym gruncie (rys. 1). Takie rozwiązania są dobrze znane i stosowane w dolinach rzek. Jednak ich skuteczność na gruntach ornych będzie znacznie mniejsza w szczególności, gdy grunty orne charakteryzują się znacznymi spadkami terenu. W tym przypadku znaczna część powierzchni pozostaje poza wpływem piętrzenia wody w studniach drenarskich. Na powierzchni znajdującej się pod wpływem tych budowli regulowany odpływ wody ma tylko na tyle obniżyć poziom zwierciadła wody gruntowej, aby w wyniku odcieku jej nadmiaru była zapewniona minimalna, niezbędna dla wegetacji roślin, ilość powietrza w korzeniowej warstwie gleby i aby było zapewnione uwilgotnienie, w warunkach którego jest możliwy zbiór plonu, wypas zwierząt, prowadzenie prac uprawowych, pielęgnacyjnych, konserwacyjnych i renowacyjnych. Potrzeba ograniczania odwodnień do możliwego minimum wynika z faktu, że tylko tak prowadzony zabieg nie sprzyja stratom wody i nadmiernemu wymywaniu związków nawozowych, głównie azotowych i fosforowych poza granice objętych melioracją pól.



Rys. 1. Dział drenarski z trzema sekcjami drenarskimi (wyróżniona sekcja Sc 3). Oznaczenia:
 Sc – sekcja drenarska, St. – studnia drenarska z regulatorem piętrzenia wody, Q_{zrzut} – zrzut wody (oczyszczonych ścieków) do rurociągu na sekcji Sc 1, 1 – studzienka obserwacyjna piętrzenia wody (opcjonalnie), 2 – granice sekcji, 3 – zmienna granica piętrzenia wody gruntowej w zbiorniku gruntowym, 4 – granica piętrzenia wody w zbiorniku gruntowym przy maksymalnym poziomie piętrzenia wody w studni St.3, 5 – wylot drenarski (Opr. E. Kaca)

1.1. Układy zmeliorowanych powierzchni w systemie drenarskim z piętrzeniem wody

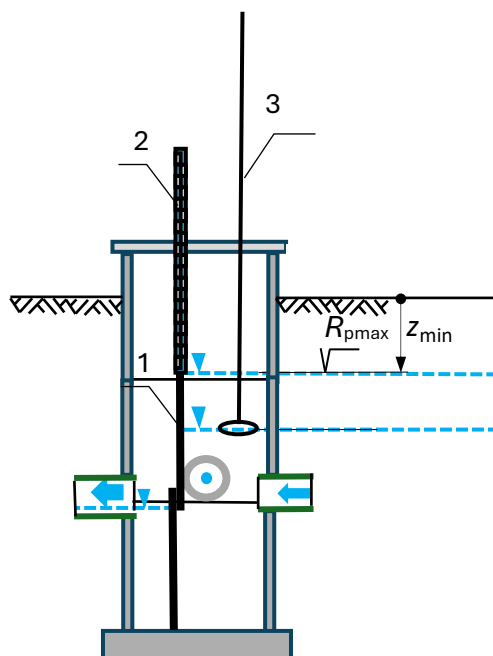
Regulację stosunków powietrzno-wodnych na gruntach ornych najczęściej realizuje się poprzez drenowania, niekiedy uzupełnione deszczowaniem. Obiekt drenarski składa się z działów drenarskich. **Dział drenarski** jest to obszar terenu odwadniany za pomocą rurociągów drenarskich (sączków i zbieraczy) z jednym wylotem wody do rowu odpływowego. W systemach

drenarskich z piętrzeniem wody działają składają się z **sekcji drenarskich**. Sekcję drenarską stanowi najmniejsza zdrenowana jednostka powierzchni z jednym funkcjonującym regulatorem piętrzenia wody w studni drenarskiej (rys. 1 i 2) albo na rowie odpływowym poniżej wylotu drenarskiego. W wyniku piętrzenia wody na sekcji powstaje zbiornik wody gruntowej. Na gruntach ornych powierzchnia sekcji może być zajęta przez jeden rodzaj roślin czy użytku. Powierzchnia sekcji zazwyczaj charakteryzuje się znacznymi spadkami i jest najczęściej użytkowana przez jednego rolnika.

1.2. Urządzenia regulacji piętrzenia wody w systemach drenarskich

Do podstawowych urządzeń regulacji piętrzenia wody w systemach drenarskich (w sekcjach drenarskich) należą regulatory w studniach drenarskich na zbieraczach oraz regulatory na zastawkach i przepustach melioracyjnych na rowach odpływowych w bliskiej odległości, poniżej wylotu drenarskiego. Zaleca się, aby urządzenia te miały możliwość płynnej regulacji wysokości piętrzenia wody oraz aby były wyposażone w urządzenia do kontroli i pomiaru nastaw (np. rzędnej krawędzi przelewu) oraz wysokości piętrzeń wody. Przykład takiego regulatora w studni drenarskiej przedstawiono na rys. 2. Więcej szczegółów znajduje się w rozdziale 3.

Zamiast urządzenia w studni drenarskiej do pomiaru położenia zwierciadła wody spiętrzonej można obok studni drenarskiej instalować studzienkę obserwacyjną o konstrukcji i głębokości identycznej jak w studzienkach obserwacyjnych położenia zwierciadła wody gruntowej.



Rys. 2. Schemat studni drenarskiej z regulatorem piętrzenia wody. Oznaczenia: R_{pmax} - rzędna maksymalnego poziomu piętrzenia wody, z_{min} - minimalna norma odwodnienia gruntów ornych, 1 - regulator piętrzenia, 2 - wskaźnik ustawienia piętrzenia, 3 - przyrząd stały albo przenośny pomiaru stanu wody piętrzonej (Opr. E. Kaca)

1.3. Zakres gospodarowania wodą na obiekcie drenarskim z piętrzeniem wody

Gospodarowanie wodą na obiekcie drenarskim może być prowadzone w skali:

- 1) sekcji drenarskiej,
- 2) działu drenarskiego,
- 3) obiektu drenarskiego.

We wszystkich przypadkach nastawy (regulacje) piętrzeń wody w studniach drenarskich oraz zastawkach piętrzących wodę i przepustach w rowach odpływowych warunkują gospodarowanie wodą na obiekcie. W pierwszym przypadku decyzje i ich realizacje dotyczą sekcji i są podejmowane na bieżąco (*ad hoc*) na podstawie obserwacji i bieżącego pomiaru zalegania zwierciadła wody spiętrzonej w studni drenarskiej. Dział drenarski traktowany jest jako zbiór nie powiązanych ze sobą sekcji drenarskich.

W drugim i trzecim przypadku sekcje na działie drenarskim są traktowane jak system z wzajemnymi uwarunkowaniami, a decyzja dotycząca nastaw urządzeń piętrzących jest poprzedzona średnioterminowym (10-dniowym), korygowanym co 7 dni planem nastaw. Podstawę planu stanowią średnioterminowe (7–10 dni) prognozy meteorologiczne oraz monitoring uwodnienia obiektu oraz stanów wody w odbiorniku w przeddzień okresu planowania. Planowanie jest wspomagane komputerowo. W wyniku komputerowej symulacji decydent może przeanalizować różne scenariusze gospodarowania wodą na obiekcie (na wszystkich sekcjach) i wybrać scenariusz najlepszy.

W każdym z tych przypadków, szczególnie w drugim i trzecim, wymagane jest dobre rozpoznanie zmeliorowanych obiektów. Rozpoznanie powinno dotyczyć organizacji zmeliorowanych powierzchni, warunkowanych układem urządzeń melioracyjnych na obiekcie. Gospodarowanie wodą w skali całego obiektu, wspomagane komputerowo, powinno być realizowane przez spółki wodne, zajmujące się eksploatacją całych systemów melioracyjnych. Zagadnienia te są w skrócie opisane w części V.

Proponowane rozwiązania mogą być pomocne w gospodarowaniu wodą na terenach zdrenowanych o spadkach powierzchni do 1%, stanowiących grunty orne z glebami należącymi do grupy granulometrycznej piasku luźnego, piasku gliniastego i gliny piaszczystej/gliny lekkiej, odwodnianych za pomocą systematycznej sieci drenów lub rowów.

1.4. Operacyjne planowanie piętrzeń wody na sekcji drenarskiej

Na zdrenowanych gruntach ornych dominują procesy odwodnień, a na sekcjach drenarskich w rejonie studni drenarskich z piętrzeniem – procesy piętrzenia wody gruntowej.

Na sekcjach wyposażonych w urządzenia do piętrzenia wody (hamowania odpływu) można wyróżnić dwie fazy gospodarowania wodą:

- fazę 1. odwadniania sekcji,
- fazę 2. braku odwadniania sekcji.

W fazie 1. odwadniania na wyżej położonej części sekcji trwa odwadnianie a na pozostałej niżej położonej części – piętrzenie wody. Woda jest piętrzona w studni drenarskiej, a tym samym napełniony jest zbiornik gruntowy na niżej położonej części sekcji (rys. 1). Woda do napełniania zbiornika gruntowego pochodzi z odwadniania drenami wyżej położonej części sekcji, czyli z sekcji poza zasięgiem piętrzenia wody w zbiorniku. Może pochodzić również ze

zlewni hydrologicznej sekcji (dopływ gruntowy), z odpływu drenami z innych wyżej położonych sekcji oraz z innych dopływów wody do sekcji. W fazie 2. zwierciadło wody gruntowej w górnej części sekcji znajduje się poniżej dna drenów. W związku z tym woda z wyższych partii sekcji (z obszaru poza zasięgiem piętrzenia wody w zbiorniku gruntowym) nie odpływa, a poziom wody w zbiorniku gruntowym może obniżać się, osiągając stan jak w wyższych partiach sekcji. W konsekwencji grunty na całej powierzchni sekcji nie będą odwadniane. Na działach drenarskich składających się z kilku sekcji sekcje mogą znajdować się w różnych fazach gospodarowania na nich wodą (część sekcji w fazie 1., a pozostała część w fazie 2.).

Gospodarowanie wodą w fazie 1. na każdej sekcji drenarskiej polega na utrzymywaniu zwierciadła wody w studni drenarskiej na takim poziomie, przy którym zwierciadło wody gruntowej na sekcji pod wpływem zbiornika gruntowego będzie zalegało na głębokości nie mniejszej od minimalnej normy odwodnienia $z_{\min}$ (tab. 1). W fazie 2. regulatory piętrzenia wody w studniach powinny być ustawione na takim poziomie na jakim były na koniec realizacji fazy 1., czyli na poziomie umożliwiającym maksymalne piętrzenie wody. Należy zauważyć, że w glebach ciężkich (pyły) norma odwodnienia $z_{\min}$ przekracza głębokość drenowania (tab.1), a tym samym nie istnieje możliwość hamowania odpływu wody z sekcji i gromadzenia jej w zbiorniku gruntowym na sekcji.

Tabela 1. Minimalna norma odwodnienia $z_{\min}$ ¹⁾ gruntów ornych (Opr. E. Kaca)

Grupa granulometryczna	Miąższość głównej masy korzeniowej roślin, z_a , cm						
	0	10	20	30	40	50	60
Piasek luźny	21	26	31	36	41	46	51
Piasek gliniasty	25	30	35	40	45	50	55
Gлина piaszczysta/glina lekka	37	42	47	52	57	62	67
Gлина piaszczysto-ilasta	75	80	85	90	95	100	105
Ił piaszczysty	76	81	86	91	96	101	106
Ił zwykły	106	111	116	121	126	131	136
Ił pylasty	61	66	71	76	81	86	91
Gлина pylasto-ilasta	96	101	106	111	116	121	126
Gлина ilasta	63	68	73	78	83	88	93
Gлина zwykła	58	63	68	73	78	83	88
Pył ilasty/pył gliniasty	107	112	117	122	127	132	137
Pył zwykły	219	224	229	234	239	244	249

¹⁾ głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej, warunkująca 6% powietrza przy połowej pojemności wodnej (PPW) w warstwie gleby z główną masą korzeniową roślin

W najprostszym przypadku na obiektach zdrenowanych monitoring każdej sekcji sprowadza się do obserwacji poziomu wody w studni drenarskiej z piętrzeniem albo w studzience obserwacyjnej w pobliżu tej studni drenarskiej.

2. Nawodnienia podsiąkowe i odpływ regulowany (E. Kaca)

Nawodnienia podsiąkowe i regulowany odpływ stosuje się w celu regulacji położenia zwierciadła wody gruntowej, a w konsekwencji, przez podsiąg kapilarny lub odciek nadmiaru

wody, zapewnienia takiej wilgotności w korzeniowej warstwie gleby na łące, pastwisku czy polu, w warunkach której możliwa jest stabilna, wysoka, uzasadniona ekonomicznie i przyrodniczo produkcja rolnicza. Regulowany odpływ wody ma na celu, podobnie jak w systemach drenarskich na gruntach ornych, obniżenie zwierciadła wody gruntowej tylko do niezbędnego minimum. Na obiektach nawodnień podsięgowych oprócz gospodarowania wodą własną zachodzi możliwość doprowadzenia wody z zewnątrz obiektu i piętrzenia jej w rowach i w łanie. Tak więc, na zmeliorowanych gruntach (kwaterach) występują okresy nawodnień, odwodnień i okresy braku potrzeby (oczekiwania na) nawodnienia i odwodnienia.

2.1. Układy powierzchni w systemie nawodnień podsięgowych i odwodnień

Aby właściwie gospodarować wodą obiekty odwadniane i nawadniane podsięgowo dzieli się na mniejsze powierzchnie z odpowiednimi urządzeniami melioracyjnymi i kontrolno-pomiarowymi. Są to **działy nawadniane oraz kwatery nawadniane**

Kwaterna nawadniana jest najmniejszą jednostką powierzchni terenu, gdzie można jednolicie (co do fazy) gospodarować wodą – albo nawadniać, albo odwadniać albo nie nawadniać i nie odwadniać. Jednolitość gospodarowania wodą umożliwia prawidłowo zaprojektowana sieć rowów lub w systemach kombinowanych sieć rowów zagęszczona drenami, wyposażonych na granicy kwatery w ujęcie lub ujęcia wody z urządzeniami do regulacji i ew. pomiaru natężenia przepływu oraz w upust lub upusty wody z regulatorami piętrzenia wody a niekiedy z urządzeniami do pomiaru natężenia przepływu. Na polderach funkcję upustu wody może pełnić melioracyjna stacja pomp. Na powierzchni kwater na długości rowów znajdują się regulatory piętrzenia wody, tj. zastawki lub przepusty z piętrzeniem wody wyposażone w zamknięcia szandorowe lub zasuwowe. Budowle te stosuje się w celu równomiernego rozprowadzenia wody na obszarze (rys. 3 i 4). Każdy z regulatorów piętrzenia kształtuje stosunki wodne na **wycinku** (fragmentcie) **kwatery**, czyli na obszarze kwatery z piętrzeniem wody w rowach na tej samej rzędnej. Często jednolite gospodarowanie wodą na kwaterze jest niemożliwe, dlatego dzieli się ją na dwie części (powstaje **kwaterna dwudzielna**). Na jednej możliwy jest tylko regulowany odpływ, na pozostałej nawodnienia podsięgowe. Woda odpływająca z części kwatery z odpływem regulowanym zazwyczaj przepływa przez część kwatery, która może być nawadniana podsięgowo. Części kwater z odpływem regulowanym wyposaża się w lekkie budowle piętrzące, hamujące bezproduktywny odpływ wody.

Kwaterna charakteryzuje się jednolitym użytkowaniem oraz podobnymi warunkami glebowymi (podobne wymagania w zakresie technologii nawodnień i odwodnień oraz położenia zwierciadła wody gruntowej) i podobnymi warunkami hydrogeologicznymi (podobna dynamika wód gruntowych, podobny typ hydrologicznego zasilania w wodę lub drenażu). W przypadku gleb hydrogenicznych na powierzchni tej występuje grupa podobnych prognostycznych kompleksów wilgotnościowo-glebowych (PKWG) oraz jeden typ hydrologicznego zasilania w wodę (THZ). Zagadnienia PKWG i THZ zostały szczegółowo omówione w rozdziale 5. W przypadku trwałych użytków zielonych powierzchnia ta należy zazwyczaj do jednego z trzech rodzajów użytków – jest to: łąka (dwukośna lub trzykośna), pastwisko i siedlisko marginalne (użytek ekologiczny). Zdarza się, szczególnie na polderach

żuławskich, że kwatery są użytkowane polowo (jako grunty orne). Powierzchnia kwatery jest użytkowana przez jednego lub kilku rolników.

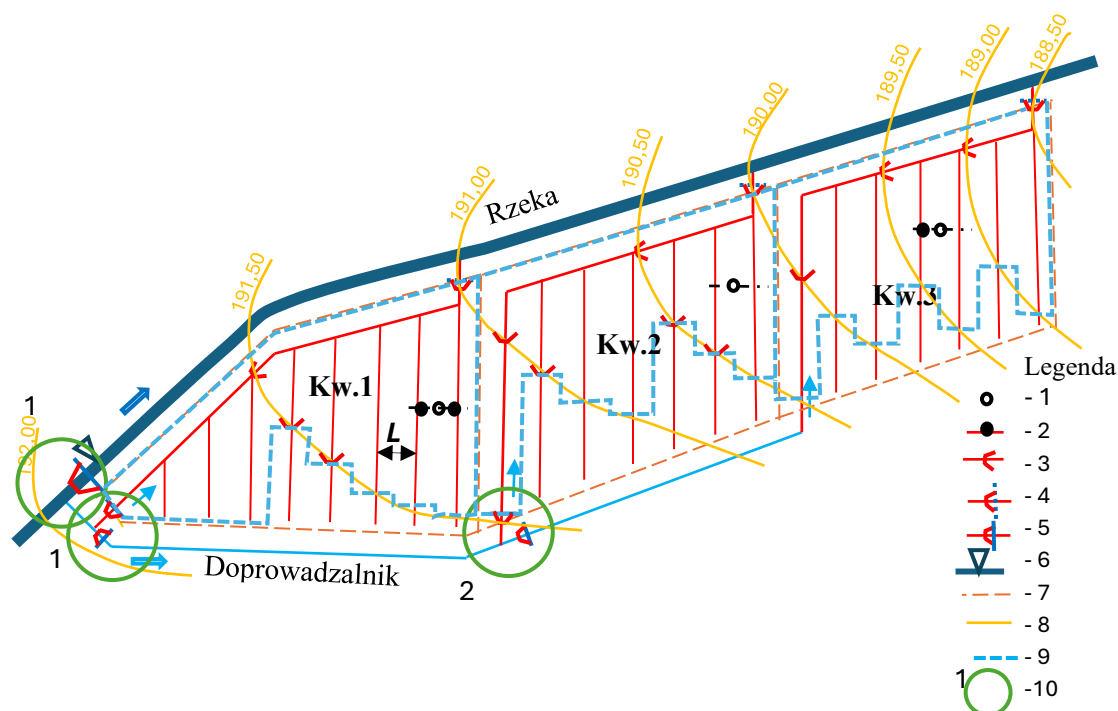
Na kwaterze i jej wycinkach wydziela się **łany**. Łan to obszar terenu ograniczony dwoma sąsiednimi rowami szczegółowymi, a w przypadku sieci kombinowanej z uzupełniającymi je drenami. Wycinek kwatery, który znajduje się w przeciętnych warunkach oddziaływania rowów (jest reprezentatywny dla pozostałych wycinków kwatery), tzn. wyniki pomiarów i obliczeń dla tego wycinka dotyczą również pozostałych wycinków kwatery, nazywa się **reprezentatywnym wycinkiem kwatery**.

Na powierzchni takiego wycinka jest zainstalowana jedna studzienka obserwacyjna w środku rozstawy między rowami (między dwoma drenami), najlepiej zaś zestaw dwóch, trzech studzienek obserwacyjnych (rys. 2 i 3) należących do urządzeń kontrolno-pomiarowych. Urządzenia te zostały szczegółowo opisane w rozdziale 4. Studzienki te są rozlokowane w przekroju prostopadłym do linii dwóch sąsiednich rowów szczegółowych (drenów), w oddaleniu co najmniej o $L/2$ od rowów zbiorczych, gdzie L oznacza rozstaw rowów/drenów. Studzienka w środku rozstawy rowów znajduje się na linii wyznaczonej przez warstwicę o rzędnej $NPP + \Delta/2$, gdzie NPP oznacza rzędną normalnego poziomu piętrzenia na budowli piętrzącej reprezentatywnego wycinka kwatery, zaś Δ jest wskaźnikiem (normą) nierównomierności nawodnień, przyjmującym wartość z przedziału $0,3 \div 0,5$ m. Oznacza on przyjętą dopuszczalną największą głębokość zalegania zwierciadła spiętrzonej wody w rowach (linii ciśnienia piezometrycznego wody w drenach) poniżej powierzchni terenu. Uważa się, że nawodnienie podsiąkowe nie jest skuteczne na obszarze kwatery, gdzie zwierciadło wody w rowach/linia ciśnień piezometrycznych wody w drenach układa się głębiej niż Δ pod powierzchnią terenu. Im większa jego wartość tym większa nierównomierność nawodnień.

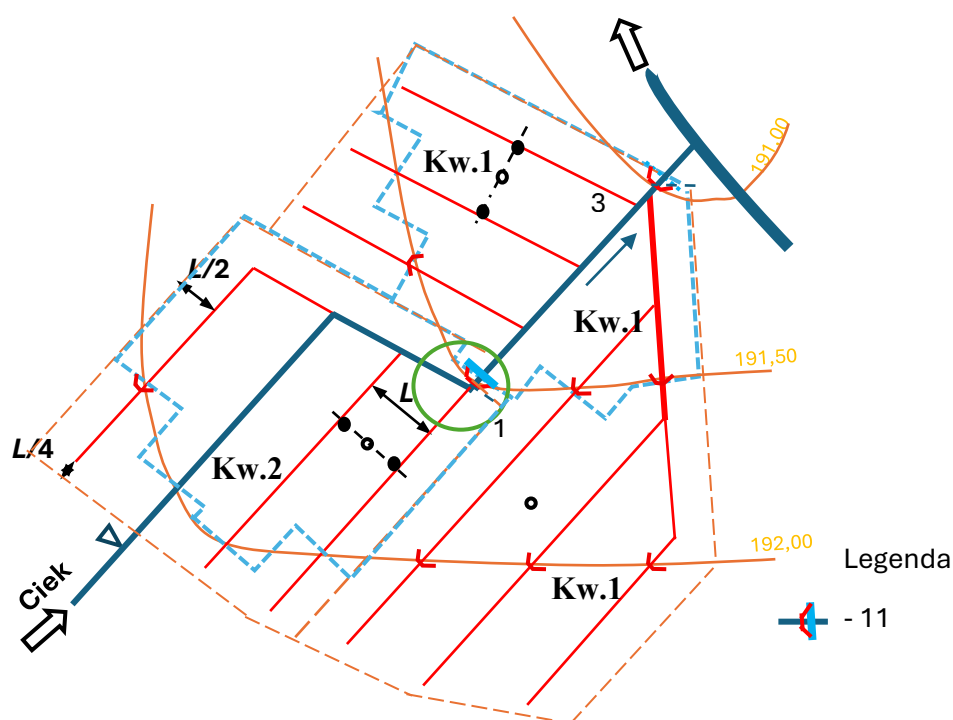
Na kwaterze z kilkoma budowlami piętrzącymi wodę (składających się z kilku wycinków, rys. 3) zakłada się takie samo gospodarowanie wodą, czyli że piętrzenia wody na wszystkich budowlach są podobne (albo maksymalny poziom piętrzenia, albo poziom minimalny, albo brak piętrzenia), jak również podobne jest ich oddziaływanie na wodę gruntową. Jeżeli założenie to nie może być spełnione, to kwaterę dzieli się na dwie (trzy) mniejsze lub też generalnie zmienia się organizację obszaru zmeliorowanego.

Kwatery na obiektach melioracyjnych mogą występować w specyficznych układach, nazywanych **działami nawodnień**. Można wyróżnić dwa rodzaje układów kwater składających się na dział nawodnień: **kwatery w układzie niezależnym i kwatery w układzie zależnym**. W układzie niezależnym grupa kwater składających się na dział zaopatrywana jest w wodę jednym doprowadzalnikiem wody, a woda z odwodnienia kwater trafia do jednego (rys. 3) lub kilku odbiorników wody. W układzie zależnym mały ciek przepływa przez ustawione szeregowo (w kaskadzie) kwatery, pełniąc rolę doprowadzalnika wody do kwater i odbiornika wody z kwater. Kwatery są odwadniane oraz nawadniane wodą za pomocą sieci rowów lub drenów mających bezpośrednią łączność z ciekami (rys. 4).

W układzie zależnym budowla piętrząca wodę powinna pełnić również funkcję budowli rozrządowej, a więc oprócz funkcji piętrzącej wodę powinna służyć również do pomiaru i regulacji natężenia przepływu. Dział może być użytkowany w sposób jednolity lub na różne sposoby.



Rys. 3. Dział nawadniany podsiąkowo z trzema dwudzielnymi kwaterami (Kw.) w układzie niezależnym, wyposażony w kompletny zestaw urządzeń kontrolno-pomiarowych do gospodarowania wodą z komputerowym wspomaganiami. 1 – studzienka obserwacyjna (ew. uzupełniona o piezometr wód drugiego poziomu wodonośnego i o urządzenie do pomiaru wilgotności gleby), 2 – studzienka obserwacyjna w linii brzegowej rowu/w linii drenażu, 3 – regulator piętrzenia (zastawka piętrząca, przepust z piętrzeniem, młuch z regulacją piętrzenia wody), 4 – regulator piętrzenia i ew. przepływomierz (upust wody), 5 – regulator przepływu i przepływomierz (ujęcie wody, urządzenie rozrządu wody), 6 – profil wodowskazowy na cieku, 7 – granica kwatery, 8 – warstwica, 9 – granica zasięgu skutecznego podsiąku na kwaterze, 10 – węzeł rozrządu wody (Opr. E. Kaca)



Rys. 4. Dział nawadniany, kwatery dwudzielne w systemie zależnym, wyposażony w kompletny zestaw urządzeń kontrolno-pomiarowych do gospodarowania wodą z komputerowym wspomaganiami. L – rozstawa rowów, 11 - regulator piętrzenia, przepływu i przepływomierz w węźle rozrządu wody, pozostałe oznaczenia jak na rys. 3 (Opr. E. Kaca)

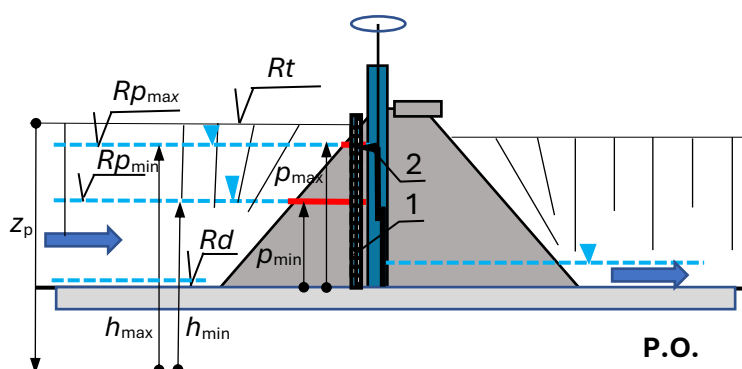
2.2. Urządzenia regulacyjne na kwaterze

Aby właściwie gospodarować wodą kwatery powinny być wyposażone w takie budowle melioracyjne jak: wpusty (ujęcia) wody i upusty (spusty) wody, zastawki piętrzące, przepusty z piętrzeniem, mnichy (rys. 3 i 4). **Wpust** jest budowlą rozrządu wody, służącą do ujmowania wody o odpowiednim natężeniu na nawadnianą podsiąkowo kwaterę (nie występuje na kwaterach z odpływem regulowanym). Zaleca się, aby wpust był wyposażony w regulator natężenia przepływu wody oraz w przepływomierz. **Upust** wody to budowla, która służy do zrzutu (spuszczania) wody z rowów/drenów kwatery w czasie jej odwadniania i powinna umożliwić regulację poziomu piętrzenia wody i ewentualny pomiar natężenia przepływu wody.

Do piętrzenia wody w rowach na kwaterach służą upusty wody, a głównie **zastawki piętrzące i przepusty** z możliwością piętrzenia. W przypadku kwater w układzie zależnym (rys. 4) zaleca się, aby budowla na cieku między dwoma kwaterami była wyposażona w regulator piętrzenia i przepływu oraz w przepływomierz, gdyż budowla ta jest budowlą rozrządu wody między kwaterami.

Aby właściwie gospodarować wodą, wszystkie budowle piętrzące wodę (upusty, zastawki, przepusty) powinny być wyposażone w zamknięcia umożliwiające płynną regulację piętrzenia wody, a przynajmniej piętrzenia wody na trzech poziomach: wysokim $p_{\max}$, niskim $p_{\min}$ i zerowym $p = 0$. Taką funkcję pełnią zamknięcia szandorowe oraz zamknięcia dwuzasuwowe, opisane szczegółowo w rozdziale 3. W przypadku zamknięć jednozasuwowych utrzymywanie wody na poziomie niskim $p_{\min}$ nie jest możliwe.

Na wszystkich budowlach piętrzących wodę na kwaterze powinny być namalowane dwie poziome linie charakteryzujące graniczne poziomy piętrzenia wody (rys. 5): górna oznaczająca maksymalny poziom piętrzenia wody na budowli, zaś dolna minimalny poziom piętrzenia. Poziomom tym przypisane są wysokości i rzędne piętrzeń oraz stany wody odpowiednio: wysokość $p_{\max}$, rzędna $Rp_{\max}$ i stan $h_{\max}$ oraz wysokość $p_{\min}$, rzędna $Rp_{\min}$ i stan $h_{\min}$.



Rys. 5. Budowla piętrząca i jej charakterystyczne rzędne, z zaznaczonymi głównymi poziomami wody w rowie.

Oznaczenia: $Rp_{\max}$ – rzędna maksymalnego poziomu piętrzenia wody na budowli i odpowiadający jej stan wody $h_{\max}$ oraz wysokość piętrzenia $p_{\max}$, $Rp_{\min}$ – rzędna minimalnego poziomu piętrzenia wody na budowli i odpowiadający jej stan wody na budowli $h_{\min}$ oraz wysokość piętrzenia $p_{\min}$, Rd – rzędna dna progu budowli piętrzącej. P.O. poziom odniesienia; 1 – łąta wodowskazowa, 2 – wskaźnik nastawy wysokości piętrzenia.

Czerwone linie (repery) na budowli oznaczają charakterystyczne wysokości piętrzenia wody (linie takie maluje się również na upuscie wody, pełniącym funkcję budowli piętrzącej) (opr. E. Kaca)

2.3. Zakres nawodnień podsiąkowych

Gospodarowanie wodą na zmeliorowanym obiekcie może być prowadzone w skali:

- 1) kwatery nawodnień podsiąkowych,
- 2) działu nawodnień podsiąkowych z kilkoma kwaterami,
- 3) obiektu nawodnień podsiąkowych z kilkoma działami nawodnień.

W każdym z tych przypadków nastawy (regulacje) piętrzeń wody na ujęciach i upustach wody oraz zastawkach piętrzących wodę w rowach i przepustach z piętrzeniem, warunkują rozrząd (rozdział) wody i gospodarowanie wodą na obiekcie. W pierwszym przypadku decyzje i ich realizacje dotyczą kwater i są podejmowane na bieżąco (*ad hoc*) na podstawie obserwacji i bieżącego pomiaru zalegania zwierciadła wody gruntowej i wody spiętrzonej w rowach. Dział nawodnień podsiąkowych jest traktowany jako zbiory nie powiązanych ze sobą kwater.

W drugim przypadku kwatery na działach nawodnień podsiąkowych są traktowane jak system ze wzajemnymi uwarunkowaniami, a w trzecim działu nawodnień traktowane są jak system. Decyzje w tych przypadkach dotyczące nastaw urządzeń melioracyjnych są poprzedzone średnioterminowym (10-dniowym), korygowanym co 7 dni planem nastaw. Podstawę planu stanowią średnioterminowe (7–10 dni) prognozy meteorologiczne, a dla mało zasobnych źródeł wody również prognozy hydrologiczne. Niezbędny jest również aktualny monitoring uwodnienia obiektu, zasobności wody w źródle (przepływy dyspozycyjne) oraz stanu wody w odbiorniku w przeddzień okresu planowania. Planowanie jest wspomagane komputerowo. W wyniku komputerowej symulacji decydent może przeanalizować różne scenariusze rozrządu (rozdziału) wody między kwatery i wybrać scenariusz najlepszy.

W drugim i trzecim przypadku wymagane jest dobre rozpoznanie zmeliorowanych obiektów. Rozpoznanie powinno dotyczyć organizacji zmeliorowanych powierzchni, warunkowanych układem urządzeń melioracyjnych na obiekcie. Gospodarowanie wodą w skali całego obiektu, wspomagane komputerowo, powinno być realizowane przez spółki wodne, zajmujące się eksploatacją całych systemów melioracyjnych. Zagadnienia te są opisane w części V.

2.4. Zasady realizacji nawodnień podsiąkowych w skali kwatery

W przypadku zasobnego źródła wody oraz sprawnego systemu melioracyjnego (doprowadzalnik i odbiornik wody o dostatecznej przepustowości oraz budowle piętrzące i rowy szczegółowe) realizacja nawodnień podsiąkowych nie jest trudna. Po wiosennym odwodnieniu kwater budowle piętrzące będą zamknięte prawie przez cały pozostały okres wegetacji, z krótkim tylko otwarciem w okresie długotrwałych opadów deszczu oraz w czasie zbioru kolejnego pokosu albo wypasu zwierząt i około 2 tygodni przed zbiorem/wypasem. Dopływ powinien zapobiegać obniżaniu się zwierciadła wody gruntowej w okresach susz atmosferycznych poniżej maksymalnej normy odwodnienia (z_3) (tab. 2 i 3). W okresie przed koszeniem/wypasem i w czasie trwania koszenia/wypasu budowle piętrzące mogą być zamknięte na kwaterach intensywnie drenowanych przez rzekę głęboko wciętą w dolinę i otwarte – na kwaterach pozbawionych tej możliwości.

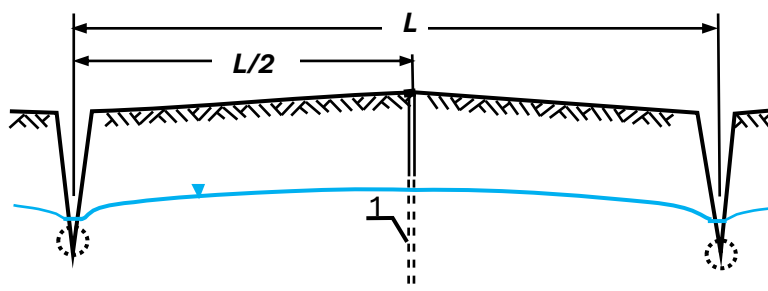
W przypadku beśniennej zimy, gdy wiosenne odwodnienie nie jest potrzebne, należy rozważyć celowość przeprowadzenia, zamiast odwodnienia, wiosennego nawodnienia kwater. W szczególnych sytuacjach można doprowadzić do zalewu użytkującego, jeżeli woda

charakteryzuje się odpowiednią jakością. Nawodnienia wiosenne najczęściej są udane, gdyż do ich realizacji wykorzystuje się wiosenne zwiększone zasoby wody w źródle oraz jeszcze nie zarośnięte roślinnością rowy i doprowadzalniki wody.

Podstawę gospodarowania wodą na kwaterach stanowi bieżąca informacja o głębokości zalegania na nich zwierciadła wody gruntowej i o stanach wody w rowach. Na podstawie tych informacji niezwłocznie podejmuje się decyzje o wysokości piętrzeń wody na zastawkach i przepustach oraz o poborach wody na ujęciach i zrzutach wody na upustach. Decyzje te mogą ulec modyfikacji pod wpływem danych z prognoz meteorologicznej i hydrologicznej. Podjęta ostateczna decyzja podlega niezwłocznej realizacji.

2.4.1. Wyposażenie kwatery w urządzenia kontrolno-pomiarowe

Na reprezentatywnym wycinku kwatery nawadnianej podsiąkowo powinna znajdować się studzienka obserwacyjna. Pomiar położenia zwierciadła wody w studzience powinien charakteryzować położenie zwierciadła wody gruntowej na wycinku kwatery (i na całej kwaterze). Dlatego też zaleca się instalowanie jej w środku łąnu między rowami/drenami i z dala od urządzeń miejscowo kształtujących położenie zwierciadła wody gruntowej (w pobliżu rowów zbiorczych, cieków wodnych) (rys. 3, 4 i 6). Studzienice tej powinny być przypisane normy odwodnienia (tab. 2 i 3). Lokalizacja studzienki powinna być uzgodniona z rolnikami użytkującymi kwaterę. W czasie uzgodnień należy ich poinformować, że pomiary zwierciadła wody gruntowej będą im przydatne w gospodarowaniu wodą na kwaterze.



Rys. 6. Lokalizacja studzienki obserwacyjnej na kwaterze nawadnianej podsiąkowo rowami/drenami oraz na kwaterze z odpływem regulowanym: 1 – studzienka obserwacyjna, L – rozstawa rowów/drenów (opr. E. Kaca)

Wszystkie budowle piętrzące wodę na kwaterze powinny mieć namalowane dwie poziome linie charakteryzujące graniczne stany piętrzenia wody (rys. 5). Górna linia powinna znajdować się na najwyższej rzędnej wynikającej z konstrukcji zamknięcia budowli piętrzącej, lecz nie wyższej niż rzędna najniższego punktu powierzchni terenu kwatery, zaś dolna nad dnem budowli ok. połowy maksymalnej wysokości piętrzenia wody (ok. $0,5 p_{\max}$).

2.4.2. Fazy nawodnienia podsiąkowego

Odwadnianie, czyli odprowadzanie wody z kwatery realizuje się do momentu, gdy obniżające się zwierciadło wody gruntowej w środku łąnu osiągnie minimalną normę odwodnienia $z_{\min}=z_1$ albo z_2 albo z_{opt} albo z_s . Orientacyjne minimalne normy odwodnienia $z_{\min}=z_1$ albo z_2 albo z_{opt} podano w tabelach 2 i 3 a ich uszczegółowienie w rozdziale 5.

Zaznaczono tam i uzasadniono, że normą $z_{\min}$ może być albo norma minimalna z_1 , albo norma minimalna z_2 , albo norma optymalna z_{opt} albo norma rolno-środowiskowa z_s . Trzem pierwszym normom odpowiada odpowiednio 6, 8 i 10% powietrza w korzeniowej warstwie gleby, zaś normie z_s odpowiada takie odwodnienie wiosenne lub po długotrwałych opadach deszczu, w wyniku którego w skali wielolecia w okresie wegetacji przeciętny (medialny) czas trwania dostatecznego uwilgotnienia gleby jest najdłuższy. Norma z_s przyjmuje wartości z przedziału od 0 do z_{opt} . Wskazano również, że przy wyborze normy powinno brać się pod uwagę prognostyczny kompleks wilgotnościowo-glebowy (PKWG) zależny od rodzaju gleby oraz typ hydrologicznego zasilania (THZ) gleby w wodę, zaś przy wyborze wartości normy z_s dodatkowo uwarunkowania klimatyczne. Szczegóły odnośnie do PKWG i THZ i norm rolno-środowiskowych zostały opisane w rozdziale 5.

Zbyt płytkie (nie osiągające $z_{\min}$) odwodnianie może niedostatecznie likwidować niedobór powietrza w glebie, ale dość skutecznie zapobiegać niedoborom wody w glebie, zaś zbyt głębokie (poniżej $z_{\min}$) – tworzy dobre warunki powietrzne w glebie po odwodnieniu, ale zwiększa prawdopodobieństwo występowania suszy glebowej w późniejszym okresie. W czasie głębszego odwodniania istnieje większe prawdopodobieństwo wzrostu intensywności wymywania związków nawozowych z gleby i eutrofizacji wód w ciekach.

Tabela 2. Normy odwodnienia łąk na glebach torfowo-murszowych (Mt)*, mineralno-murszowych (Mm)* i murszowatych właściwych (Me)* (wg IMUZ, uproszczone przez autora)

Prognostyczny kompleks wilgotnościowo-glebowy	Normy odwodnienia, m			
	$z_{\min}$			z_3
	z_1	z_2	z_{opt}	
A – mokry, AB – okresowo mokry	0,30	0,50	0,80	1,20
B – wilgotny, BC – okresowo posuszny	0,30	0,40	0,50	0,90
C – posuszny, CD – okresowo suchy	0,20	0,30	0,40	0,50

*Symbole Mt, Mm i Me oznaczają rodzaj gleby i zostały szczegółowo omówione w rozdziale 5.

z_1 , z_2 , z_{opt} – głębokość (norma) odwodnienia zapewniająca w warstwie 0–30 cm zawartość powietrza odpowiednio 6, 8 i 10%; z_3 – maksymalna norma odwodnienia, tj. takie największe zagłębienie zwierciadła wody gruntowej w okresie suszy pod powierzchnią terenu, przy którym wilgotność w wierzchniej 0–30 cm warstwie korzeniowej gleby nie spada – w wyniku podsiąku kapilarnego – poniżej wartości wilgotności krytycznej

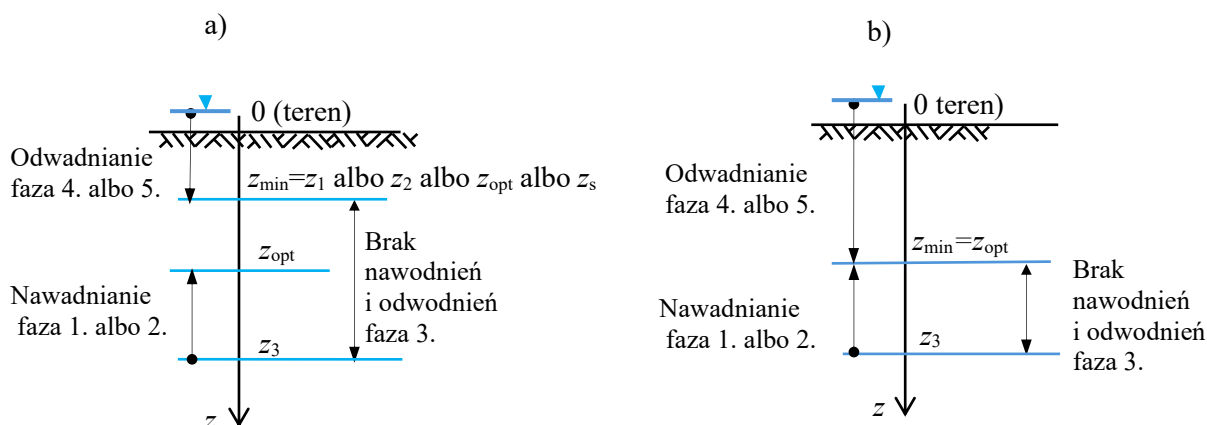
Tabela 3. Normy odwodnienia łąk na glebach mineralnych (F, D)* (wg IMUZ, uproszczone przez autora)

Prognostyczny kompleks wilgotnościowo-glebowy	Normy odwodnienia, m			
	$z_{\min}$			z_3
	z_1	z_2	z_{opt}	
BC – okresowo posuszny	0,70	0,90	0,90	1,00
C – posuszny, CD – okresowo suchy	0,50	0,60	0,70	0,80
D – suchy	0,30	0,40	0,40	0,50

*Symbole F i D oznaczają odpowiednio gleby madowe i czarnoziemne i zostały szczegółowo omówione w rozdziale 5. Pozostałe oznaczenia jak w tabeli 2

Nawodnienie rozpoczyna się wtedy, gdy opadające zwierciadło wody gruntowej osiągnie poziom maksymalnej normy odwodnienia z_3 , a kończy gdy podnoszące się zwierciadło wody gruntowej osiągnie optymalną normę odwodnienia z_{opt} (rys. 7). Nie prowadzi się nawodnień

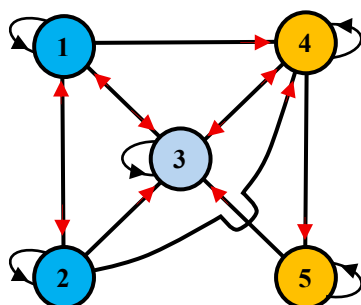
i odwodnień, gdy w wyniku wysychania albo infiltracji wody opadowej zwierciadło wody gruntowej znajduje się między minimalną $z_{\min}$ i maksymalną z_3 normą odwodnienia.



Rys. 7. Charakterystyczne głębokości z zalegania zwierciadła wody gruntowej w środku łanu na kwaterze i odpowiadające im fazy nawodnienia podsiąkowego (rys. a). Szczególny przypadek charakterystycznych głębokości, gdy $z_{\min}=z_{\text{opt}}$, przedstawiono na rys. (b); (Opr. E. Kaca)

Można wyróżnić pięć faz nawodnienia podsiąkowego kwatery (rys. 7 i 8):

- fazę 1. napełniania rowów/drenów wodą (swobodnego dopływu wody),
- fazę 2. wysokich stanów wody w rowach/drenach (hamowanego dopływu wody),
- fazę 3. oczekiwania w gotowości na odwodnienie albo nawodnienie,
- fazę 4. niskich stanów wody w rowach/drenach (hamowanego odpływu wody),
- fazę 5. spustu wody z rowów/drenów (swobodnego odpływu wody).



Rys. 8. Fazy nawodnienia podsiąkowego na kwaterze oraz możliwe przejścia między fazami (strzałki na łukach/prostych) (opr. E. Kaca)

Każda z faz może trwać jeden, dwa, kilka albo kilkanaście dni. Fazy 1. i 2. dotyczą nawodnienia, fazy 4. i 5. odwodnienia, a faza 3. - oczekiwania systemu na nawodnienie lub odwodnienie. Przejścia między fazami zaznaczono na rys. 8. Z tego rysunku wynika, że nie przewiduje się przechodzenia z fazy 5. swobodnego odpływu wody z rowów w fazę 4. Faza 5. jest zawsze poprzedzona fazą 4. tzn., gdy hamowany odpływ wody nie jest skuteczny (faza 4.) to uruchamia się swobodny odpływ wody (faza 5.). Każde odwodnienie rozpoczyna się od fazy 4. Wynika również, że nie ma bezpośredniego przejścia między fazami 2. i 5. oraz 1. i 5. Nie przewiduje się również przejścia z fazy odwodnienia (faza 4. i 5.) w fazę nawodnienia (faza 1. i 2.). Przejście to jest, ale poprzez fazę 3. Na obiekcie wielokwaterowym kwatery mogą znajdować się w różnych fazach gospodarowania na nich wodą.

2.4.3. Użytkowanie urządzeń w poszczególnych fazach nawodnienia podsiąkowego na kwaterze

Nawadniana podsiąkowo kwatera może być wyposażona w jedno lub więcej ujęć wody i w jeden lub więcej upustów wody. Dla uproszczenia dalszego opisu założono, że kwatera ma jedno ujęcie i jeden upust wody oraz kilka budowli piętrzących wodę.

Każda z faz gospodarowania wodą na kwaterze wiąże się ze specyficznym użytkowaniem urządzeń melioracyjnych: ujęcia i upustu wody, zastawek piętrzących wodę i przepustów z piętrzeniem wody w rowach/drenach.

W fazie 1. napełniania rowów wodą wszystkie zastawki na kwaterze wraz z upustem (upust pełni rolę budowli piętrzącej wodę) są zamknięte (zastawki są drożne) i przygotowane do piętrzenia wody na maksymalnym poziomie $p_{\max}$ (na rzędnej $Rp_{\max}$, górny znak piętrzenia na budowli) (rys. 5), zaś ujęcie wody jest otwarte i ujmuje wodę do nawodnienia. Przez ujęcie (wpust) woda płynie na kwaterę z maksymalnym możliwym (dozwołonym) natężeniem. Natężenie to zależy od zasobności źródła wody, sterowań na budowlach rozrządu wody po obiekcie, zdolności przepustowych doprowadzalnika oraz od przepustowości ujęcia i rowów na kwaterze. W wyniku tego przepływu rowy napełniają się wodą.

W fazie 2. wysokich stanów wody w rowach wszystkie zastawki na kwaterze są zamknięte, ale drożne, i piętrzą wodę na maksymalnym poziomie $p_{\max}$ (na rzędnej $Rp_{\max}$, górny znak piętrzenia na budowli) (rys. 5). Poziom wody gruntowej podnosi się i zmniejsza się zdolność chłonna nawadnianej kwatery, dlatego też ujęcie (wpust) wody jest stopniowo zamykane lub samoistnie zmienia swą przepustowość (automatyzacja). Brak stosowania regulacji natężenia przepływu na ujęciu wody może powodować miejscowe zalewy powierzchni nawadnianej kwatery, straty wody pobieranej i również problemy z nawadnianiem innych kwater.

W fazie 3. oczekiwania na nawodnienie i odwodnienie ujęcie i upust wody jak i zastawki piętrzące na kwaterze są zamknięte, a poziom wody gruntowej i wody w rowach zmienia się pod wpływem odpływu (drenujący wpływ rzeki) lub dopływu gruntowego i wglębnego oraz opadów deszczu i parowania terenowego. Budowle piętrzące są przygotowane do piętrzeń wody na maksymalnym poziomie $p_{\max}$ (na rzędnej $Rp_{\max}$, górny znak piętrzenia na budowli) (rys. 5). W końcowym okresie fazy 3. nawodnienia podsiąkowego mogą być realizowane prace utrzymaniowe, polegające na utrzymywaniu urządzeń melioracyjnych, szczególnie rowów w zdatności i sprawności technicznej.

W fazie 4. niskich stanów wody w rowach ujęcie wody jest zamknięte, a na budowlach piętrzących woda jest utrzymywana na niskim poziomie piętrzenia $p_{\min}$ (na rzędnej $Rp_{\min}$, dolny znak piętrzenia na budowli) (rys. 5).

W fazie 5. spustu wody z rowów budowle piętrzące i upust wody są całkowicie otwarte, a przez to woda swobodnie odpływa z rowów/drenów. Ujęcie wody jest zamknięte.

Przejścia z fazy do fazy odbywają się poprzez odpowiednie operowanie urządzeniami melioracyjnymi na kwaterze: zastawkami piętrzącymi, przepustami z piętrzeniem wody, ujęciem i upustem wody.

2.4.4. Operacyjne sterowanie nawodnienia podsiąkowego

Zmiana fazy nawodnienia podsiąkowego na kwaterze zależy od jej statusu, czyli od tego czy kwatera jest już (aktualnie) odwadniana (faza 4. albo 5.), nawadniana (faza 1. albo 2.), czy nie jest ani odwadniana, ani nawadniana (faza 3.).

Właściwe decyzje podejmuje się na podstawie znajomości minimalnej normy odwodnienia ($z_{\min}$), normy optymalnej (z_{opt}) i normy maksymalnej odwodnienia (z_3) kwatery (tab. 2. i 3.) oraz wcześniej ustalonych maksymalnego ($p_{\max}$) i niskiego ($p_{\min}$) piętrzenia wody na budowli, zaznaczonych poziomymi liniami na tej budowli (rys. 5). Są to wartości nominalne, które mogą być nieco korygowane w zależności od średnioterminowej prognozy meteorologicznej (opady, temperatury) oraz prognozy dyspozycyjnych przepływów wody w źródle i stanów wody w odbiorniku wody.

W podejmowaniu decyzji odnośnie do faz realizacji nawodnienia podsiąkowego przydatne mogą być schematy blokowe oraz procedura w EXCEL, przedstawione w Załączniku.

Kwatera aktualnie odwadniana

Odwadnianie (np. wiosną, po dużych opadach deszcze) powinno być kontynuowane na tej kwaterze, na której głębokość z zalegania zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu w studziencie obserwacyjnej jest mniejsza od minimalnej normy odwodnienia ($z \leq z_{\min}$) (rys. Z1 w załączniku). Odwodnienie powinno przyjąć formę hamowanego odwodnienia (faza 4.), gdy zwierciadło wody gruntowej nie zalega na powierzchni terenu kwatery ($z > 0$), a jeżeli zalega ($z \leq 0$) to w czasie LF krótszym niż krytyczna liczba dni LF_{kryt} ($LF < LF_{\text{kryt}}$). W przypadku osiągnięcia tego okresu ($LF \geq LF_{\text{kryt}}$) powinno być rozpoczęte intensywne odwadnianie (faza 5.) i kontynuowane do momentu, gdy zwierciadło wody gruntowej osiągnie minimalną normę odwodnienia ($z_{\min}$). W czasie hamowanego odwodnienia (faza 4.) woda może wyjść na powierzchnię i zalegać. Gdy liczba dni zalegania osiągnie wartość LF_{kr} należy przejść do fazy 5. (rys. 8). Zaleganie wody na powierzchni może być wywołane wystąpieniem wody z cieków i/lub opadami deszczu. W pierwszym przypadku krytyczny czas zalewu zależy od jakości wody w cieku. W przypadku wód zanieczyszczonych substancjami szkodliwymi czas ten powinien być możliwie krótki. Należy również unikać podtapiania łąk wyrosniętych, czyli w drugiej połowie odrostu (wtedy $LF_{\text{kryt}} = 1 \div 2$ dni). Więcej szczegółów nt. LF_{kryt} można znaleźć w rozdziale 5.

Odwadnianie kwatery (faza 4. i 5.) powinno być przerwane, a następnie rozpoczęta i kontynuowana faza 3. oczekiwania, gdy głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej na kwaterze przekracza minimalną normę odwodnienia ($z > z_{\min}$) oraz gdy głębokość ta nie jest większa od maksymalnej normy odwodnienia ($z < z_3$) (gdy wilgotność korzeniowej warstwy gleby znajduje się powyżej wilgotności łatwo dostępnej dla roślin ($\theta_{pF=2,7}$)).

Przejście z faz odwadniania (faza 4. i 5.) do faz nawadniania (faza 1. i 2.) jest mało prawdopodobne i dlatego na rys. 8 zostało pominięte (brak strzałek w kierunku fazy 1. i 2.). Oznaczałoby to, że w czasie odwodnień zwierciadło wody gruntowej obniża się poniżej maksymalnej normy odwodnienia ($z > z_3$), tzn. wilgotność korzeniowej warstwy gleby spada poniżej granicy wilgotności łatwo dostępnej dla roślin ($\theta_{pF=2,7}$).

Kwaterna aktualnie nawadniana

Nawadnianie kwatery powinno być kontynuowane, gdy aktualne zwierciadło wody gruntowej zalega poniżej optymalnej normy odwodnienia ($z > z_{opt}$) (rys. Z2). Kontynuuje się napełnianie rowów wodą (faza 1.), gdy poziom wody na budowlach piętrzących nie przekracza poziomu maksymalnego ($p < p_{max}$), a gdy poziom wody na budowlach piętrzących osiągnął albo przekroczył poziom maksymalny ($p \geq p_{max}$) wówczas kontynuuje się fazę 2. wysokich stanów wody w rowach. Jest to typowe przejście z fazy 1. do 2.

W sytuacji, gdy podczas nawadniania (faza 1. albo 2.) wystąpią intensywne deszcze albo zalewy i zwierciadło wody gruntowej znajdzie się ponad poziomem wyznaczonym przez minimalną normę odwodnienia $z < z_{min}$, należy przerwać nawadnianie a rozpocząć i kontynuować odwadnianie kwatery. Odwodnienie powinno przyjąć formę hamowanego odwodnienia (faza 4.).

Faza 3. oczekiwania powinna być rozpoczęta i kontynuowana, gdy w czasie nawadniania (faza 1. albo 2.) głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej osiągnęła minimalną normę odwodnienia ($z = z_{min}$).

Kwaterna aktualnie nie jest ani nawadniana, ani odwadniana

Gdy w fazie 3. zwierciadło wody gruntowej na kwaterze znajdzie się poniżej poziomu wyznaczonego przez maksymalną normę odwodnienia z_3 ($z > z_3$) tj., gdy wilgotność korzeniowej warstwy gleby znajdzie się poniżej wilgotności łatwo dostępnej dla roślin ($\theta_{pF=2,7}$) należy rozpocząć i kontynuować jej nawadnianie (faza 1. albo faza 2.) (rys. Z3). Natomiast jeżeli głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej jest większa od minimalnej normy odwodnienia ($z > z_{min}$) to należy kontynuować fazę 3. oczekiwania. W przeciwnym przypadku należy rozpocząć i realizować odwodnienia (faza 4.).

Skutki zmiany fazy gospodarowania wodą na kwaterze są widoczne, gdy wszystkie urządzenia melioracyjne, w tym rowy i doprowadzalniki są utrzymywane w stanie zdatności (najlepiej w stanie sprawności technicznej) opisanej w rozdziale 3., a źródło wody charakteryzuje się dużą wydajnością dyspozycyjną (przekraczającą zapotrzebowanie na przepływ wszystkich kwater) albo też, gdy realizowany jest planowy rozrząd wody między wszystkie kwatery na dziale nawodnień i między działami na obiekcie. Gdy tak nie jest operowanie ujęciami wody, upustami, budowłami piętrzącymi wodę może nie dawać oczekiwanych rezultatów. Oznacza to, że system melioracyjny jest niesterowny.

W celu podjęcia decyzji dotyczących gospodarowania wodą na kwaterze można posłużyć się schematami blokowymi lub oprogramowaniem w Excelu przedstawionymi w Załączniku.

2.5. Operacyjne planowanie i realizacja odpływu regulowanego wody z kwatery

Odpływ regulowany (bez możliwości nawadniania) może być skuteczny tylko przy przestrzeganiu odpowiednio dobranych terminów przerywania odpływu wody ze zmeliorowanego obszaru. Zbyt wczesne zatrzymanie odpływu nie likwiduje nadmiernego uwilgotnienia gleby, zaś zbyt późne – zwiększa prawdopodobieństwo występowania suszy glebowej w późniejszym okresie. Regulowane odwodnienia są możliwe tylko wtedy, gdy system odwadniający jest wyposażony w zastawki piętrzące, przepusty i upusty wody z piętrzeniem. Zamknięcia tych budowli powinny umożliwiać piętrzenie wody w rowach na maksymalnym p_{max} i minimalnym p_{min} poziomie.

2.5.1. Wyposażenie kwatery z odpływem regulowanym w urządzenia kontrolno-pomiarowe

Na reprezentatywnym wycinku kwatery z odpływem regulowanym lub na reprezentatywnym wycinku części kwatery, gdzie nawodnienie podsiąkowe nie jest możliwe, powinna znajdować się studzienka obserwacyjna między dwoma rowami/drenami w reprezentatywnym dla kwatery łanie (rys. 6). Jej lokalizacja powinna być uzgodniona i omówiona z rolnikiem (rolnikami). Studziencie tej należy przypisać minimalną normę odwodnienia ($z_{\min}$) (tab. 2 i 3). Na wszystkich budowlach piętrzących wodę powinny być namalowane dwie poziome linie górna charakteryzująca maksymalny poziom piętrzenia wody na budowli ($p_{\max}$) i dolna minimalny poziom piętrzenia ($p_{\min}$) (rys. 5). Górna linia powinna znajdować się na możliwie najwyższej rzędnej wynikającej z konstrukcji zamknięcia budowli, lecz nie wyżej niż rzędna najniższego punktu na kwaterze, zaś linia dolna na wysokości równej ok. $2/3$ wysokości maksymalnego poziomu piętrzenia wody (ok. $\frac{2}{3} p_{\max}$).

2.5.2. Fazy odpływu regulowanego

Wyróżnia się trzy fazy odpływu regulowanego na kwaterze wyposażonej w urządzenia piętrzące wodę w rowach na dwóch poziomach ($p_{\max}$ i $p_{\min}$):

- fazę 3. oczekiwania na odwadnianie,
- fazę 4. niskich stanów wody w rowach (hamowanego odpływu),
- fazę 5. spustu wody z rowów.

Zakłada się, że zmiana fazy następuje w cyklu o długości stanowiącym wielokrotność doby, czyli że faza gospodarowania wodą na kwaterze pozostaje niezmienna przez dobę, dwie, trzy doby itd. Na obiekcie składającym się z kilku, kilkunastu kwater kwatery mogą znajdować się w różnych fazach gospodarowania na nich wodą.

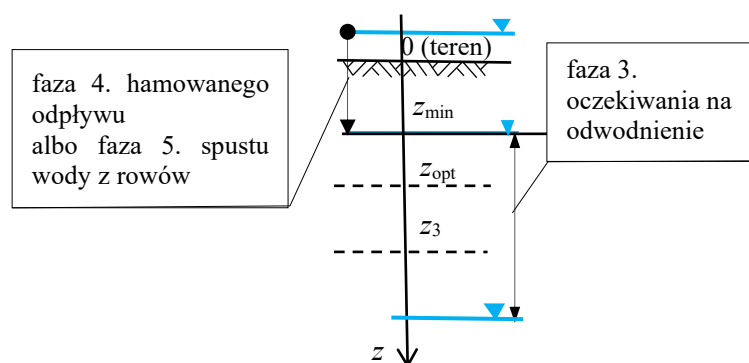
W fazie 3. oczekiwania wszystkie upusty oraz budowle piętrzące wodę na kwaterze są całkowicie pozamykane i gotowe do utrzymywania wody na poziomie maksymalnego piętrzenia $p_{\max}$. Zwierciadło wody gruntowej obniża się lub podnosi pod wpływem opadów deszczu i ewapotranspiracji oraz pod wpływem wglębnego i/lub gruntowego dopływu/odpływu wody. W tej fazie w okresie braku lub niewielkiej ilości wody w rowach można prowadzić prace utrzymaniowe (nad utrzymaniem urządzeń w zdadności i sprawności technicznej).

W fazie 4. niskich stanów wody w rowach woda na budowlach piętrzących na kwaterze jest utrzymywana na niskim poziomie piętrzenia $p_{\min}$ (rys. 5).

W fazie 5. spust wody z rowów, budowle piętrzące i upust wody są całkowicie otwarte.

Przejścia z fazy do fazy odbywają się poprzez odpowiednie operowanie urządzeniami melioracyjnymi na kwaterze: zastawkami piętrzącymi, przepustami z piętrzeniem wody i upustem wody.

W fazie 3. zwierciadło wody gruntowej na kwaterze zalega na głębokości poniżej minimalnej normy odwodnienia $z_{\min}$, a więc nawet poniżej normy maksymalnej z_3 , zaś w fazie 4. i 5. woda zalega na powierzchni terenu lub pod powierzchnią na głębokości nie przekraczającej minimalnej normy odwodnienia $z_{\min}$ (rys. 9).



Rys. 9. Charakterystyczna głębokość ($z_{\min}$) zalegania zwierciadła wody gruntowej w środku ładu na kwaterze z odpływem regulowanym i odpowiadające jej fazy gospodarowania wodą (opr. E. Kaca)

2.5.3. Operacyjne sterowanie odpływem regulowanym

Przebiegiem gospodarowania wodą na kwaterze można i należy sterować poprzez właściwe nastawy wysokości piętrzeń na zastawkach piętrzących, przepustach z piętrzeniem i upuszcie wody. Wysokość piętrzenia na budowlach piętrzących powinna być zależna od głębokości z zalegania zwierciadła wody gruntowej na kwaterze oraz od prognozowanych wielkości opadów deszczu w okresie kilku najbliższych dni. Jeżeli woda występuje na powierzchni terenu, to wysokość piętrzenia na budowlach piętrzących będzie dodatkowo zależała od liczby dni tego podtapiania.

W przypadku, gdy zwierciadło wody gruntowej zalega na głębokości mniejszej od minimalnej normy odwodnienia ($z \leq z_{\min}$) albo woda stagnuje na powierzchni terenu kwatery ($z \leq 0$) należy rozpocząć i kontynuować fazę 4. niskich stanów wody w rowach (hamowanego odpływu wody z kwatery) (rys. Z4).

Gdy zostanie przekroczona krytyczna liczba dni (LF_{kryt}) pozostawiania wody na powierzchni terenu kwatery ($LF \geq LF_{\text{kryt}}$) należy przystąpić do realizacji fazy 5. spustu wody z rowów/drenów.

Gdy zwierciadło wody gruntowej zalega na głębokości większej niż minimalna norma odwodnienia ($z_{\min}$) należy przystąpić do realizacji fazy 3. oczekiwania.

Przejście do faz 4. i 5. (odwodnień) wiąże się z obniżeniem poziomu wody w rowach. Gdy obniżenie to nie jest możliwe (utrudnione), rowy należy udrożnić (podać konserwacji) lub gdy odpływ wody jest utrudniony z powodu wysokiego stanu wody w rowie zbiorczym (cieku) należy podjąć działania w celu obniżenia tego stanu. W takiej sytuacji często zachodzi potrzeba uzgodnień gospodarowania wodą na kwaterach między rolnikami. Na obiektach z urządzeniami melioracyjnymi eksploatowanymi przez spółkę wodną rolę koordynatora odwodnień przejmują władze wykonawcze (zarząd) tej organizacji.

2.6. Monitoring kwatery

Nawodnienia podsiąkowe

Podstawę decyzji dotyczących przebiegu nawodnień podsiąkowych kwatery stanowi informacja o tym czy woda występuje na powierzchni terenu kwatery, a jeżeli występuje to ile dni oraz informacja o stanach wody w studziencie obserwacyjnej i stopniu wypełnienia rowów wodą

(w stosunku do maksymalnego poziomu piętrzenia $p_{\max}$). Wskazana jest również informacja dotycząca stanów i przepływów wody w małych ciekach stanowiących źródło wody do nawodnień i odbiornik nadmiaru wód z obiektu. Głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej mierzy się w studziencie obserwacyjnej zlokalizowanej na kwaterze w środku rozstawy dwóch rowów/drenów, pozostałe informacje pochodzą z obserwacji. Pomiary te wykonuje się codziennie w okresie odwodnień w fazie 4. niskich stanów wody w rowach i fazie 5. spustu wody z rowów/drenów. Są to fazy związane z występowaniem dużych a często i długotrwałych opadów deszczu. Codzienne pomiary prowadzi się również na koniec fazy 3. braku odwodnień i nawodnień i fazy 1. napełniania rowów/drenów wodą. Zazwyczaj jest to okres suszy atmosferycznej, glebowej a nawet hydrologicznej (brak wody do nawodnień). W okresie poprzedzającym odwadnianie i nawadnianie powinno się dokonywać obserwacji hydrologicznych. Będą one potrzebne w ewentualnych korektach terminów rozpoczynania odwodnień i nawodnień.

Codziennie obserwacje i pomiary zalegania zwierciadła wody gruntowej należy prowadzić również wczesną wiosną (po rozmarznięciu gleby), aby zatrzymać bezproduktywne odwadnianie kwatery, tj., aby w przypadku realizacji fazy 4. niskich stanów wody w rowach, przejść w odpowiednim czasie do realizacji fazy 3. oczekiwania, a w skrajnych przypadkach przejść z fazy 4. do fazy 5., a następnie do fazy 3.

Pomiarom i obserwacjom często towarzyszą zmiany nastaw na ujęciu, upuszczenie i piętrzenie wody na budowach piętrzących. Takie nałożenie się prac ułatwia organizację i lepsze wykorzystanie czasu pracy.

Odpływ regulowany

Podstawę decyzji dotyczących przebiegu gospodarowania wodą na kwaterach z możliwością tylko regulowanego odpływu stanowi obserwacja tego czy woda występuje na powierzchni terenu kwatery, a jeżeli występuje, to ile dni. Jeżeli woda gruntowa nie występuje na powierzchni to wymagana jest informacja czy głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej przekracza minimalną normę odwodnienia $z_{\min}$. Głębokość tę można określić na podstawie pomiaru w studziencie obserwacyjnej zlokalizowanej na reprezentatywnym wycinku kwatery w środku rozstawy dwóch rowów/drenów. W dniu intensywnego (nawalnego) opadu deszczu, jak również w okresie kilkudniowych i dość intensywnych opadów deszczu (kilkanaście milimetrów na dobę) monitoring zalegania wody gruntowej na kwaterze prowadzi się codziennie do czasu aż zwierciadło wody gruntowej obniży się poniżej minimalnej normy odwodnienia $z_{\min}$. W okresie przewidywanych odwodnień można obserwować stany wody w ciekach stanowiących odbiornik nadmiaru wody z obiektu. Wyniki te mogą być wykorzystane przy podejmowaniu decyzji o przyspieszeniu terminu rozpoczęcia odwodnień (fazy 4. albo fazy 5.).

Obserwacje i pomiary zalegania zwierciadła wody gruntowej należy prowadzić również wczesną wiosną (po rozmarznięciu gleby), aby zatrzymać bezproduktywne odwadnianie obiektu tj., aby w przypadku realizacji fazy 5. spustu wody z rowów czy fazy 4. niskich stanów wody w rowach w porę przejść do realizacji fazy 3. oczekiwania (na odwadnianie).

2.7. Wykorzystywanie prognoz meteorologicznych i hydrologicznych

Nawodnienia podsiąkowe

Nawodnienia podsiąkowe mogą być modyfikowane rezultatami prognozy meteorologicznej. W jej wyniku można korygować przyjęte wartości norm odwodnień $z_{\min}$, z_{opt} , z_3 , (tab. 2 i 3) oraz

$p_{\min}$ i LF_{kryt} , a tym samym modyfikować terminy, czas i częstotliwość zmian faz gospodarowania wodą na kwaterach. Krytyczna liczba dni LF_{kryt} występowania wody na powierzchni terenu kwater może być skrócona, gdy z prognoz wynikają kilkudniowe opady deszczu o intensywności kilkanaście mm na dobę. Skrócenie tej liczby oznacza skrócenie czasu trwania fazy 4. niskich stanów wody w rowach (hamowanego odpływu) i przyspieszenie czasu trwania fazy 5. spustu wody z rowów. W takiej sytuacji można również przyjąć niższą od zaznaczonej na budowlach wysokość $p_{\min}$ piętrzenia wody na budowlach piętrzących w fazie 4. niskich stanów wody w rowach. Z kolei, gdy z prognoz wynika, że przez kolejne dni będzie dominować pogoda bezdeszczowa o wysokiej temperaturze, w gospodarowaniu wodą na kwaterach należy brać pod uwagę mniejszą od wynikającej z tabel 2 i 3 wartość minimalnej normy odwodnienia ($z_{\min}$). Spowoduje to wcześniejsze rozpoczęcie fazy 3. oczekiwania. W przeciwnym przypadku byłaby realizowana faza 4. niskich stanów wody w rowach (częściowo otwartych zastawek) lub faza 5. spustu wody z rowów. Również w okresie długotrwałej pogody bezdeszczowej i wysokiej temperatury można zmniejszyć maksymalną normę odwodnienia z_3 wg tabel 2 i 3, a tym samym wcześniej rozpocząć nawadnianie.

Opisany przebieg działań może być modyfikowany również rezultatami z prognozy hydrologicznej, dotyczącej przepływów i stanów wody w ciekach stanowiących źródło wody do nawodnień i ciekach stanowiących odbiornik wód z odwadnianego obiektu. Gdy z prognozy wynika, że zbliża się okres niskich przepływów wody w ciekach (niżówek) nawodnienia (faza 1.) powinny być rozpoczęte wcześniej, przy zwierciadle wody gruntowej zalegającym powyżej maksymalnej normy odwodnienia z_3 . W przypadku, gdy prognozy hydrologiczne wskazują na zbliżający się okres wysokich stanów wody w ciekach - odbiornikach, a woda na kwaterach zalega na powierzchni terenu, realizacja fazy 5. spustu wody z rowów powinna być rozpoczęta wcześniej, przy krótszej od nominalnej krytycznej liczbie dni LF_{kryt} zalegania wody na powierzchni. Gdy z prognoz wynika nałożenie się okresów z kilkudniowymi opadami deszczu z okresami wysokich stanów wody w ciekach – odbiornikach należy rozważyć podjęcie decyzji o rozpoczęciu fazy 5. spustu wody z rowów, nawet w przypadku, gdy aktualnie jest realizowana faza 3. oczekiwania, faza 1. napełniania rowów wodą albo faza 2. wysokich stanów wody w rowach (hamowanego dopływu wody).

Jeżeli wczesną wiosną poziom wody gruntowej znajduje się poniżej maksymalnej normy odwodnienia (z_3) należałoby wykonać nawadnianie (faza 1. i 2.) pomimo, że korzeniowa warstwa gleby nie jest przeschnięta. W ten sposób zostanie powiększony zapas wody pozimowej, który będzie wykorzystywany w okresie wegetacji roślin.

Odpływ regulowany

Opisany przebieg odpływu regulowanego może być modyfikowany w związku z wynikami prognozy meteorologicznej. W jej wyniku można korygować wielkości kryterialne $z_{\min}$, $p_{\min}$ i LF_{kryt} , a tym samym modyfikować terminy, czas i częstotliwość zmian faz gospodarowania wodą na kwaterze. Krytyczna liczba dni LF_{kryt} występowania wody na powierzchni terenu kwatery może być skrócona, gdy z prognoz wynikają kilkudniowe opady deszczu o intensywności kilkanaście mm na dobę. Skrócenie tej liczby oznacza skrócenie czasu trwania fazy 4. niskich stanów wody w rowach i przyspieszenie czasu trwania fazy 5. spustu wody z rowów. W takiej sytuacji można w fazie 4. niskich stanów wody w rowach

(hamowanego odpływu) piętrzyć wodę na budowlach nieco poniżej poziomu $p_{\min}$ zaznaczonego linią na budowli piętrzącej.

W przypadku, gdy prognozy hydrologiczne wskazują na zbliżający się okres wysokich stanów wody w ciekach - odbiornikach, a woda na kwaterze zalega na powierzchni terenu, realizacja fazy 5. spustu wody z rowów powinna być rozpoczęta wcześniej, przy krótszej od nominalnej krytycznej liczbie dni LF_{kryt} zalegania wody na powierzchni. Krytyczny moment zachodzi, gdy z prognoz wynika nałożenie się okresów z kilkudniowymi opadami deszczu z okresami wysokich stanów wody w ciekach – odbiornikach. W takim przypadku należałoby rozważyć podjęcie decyzji o rozpoczęciu fazy 5. spustu wody z rowów, nawet w przypadku, gdy aktualnie jest realizowana faza 3. oczekiwania.

3. Budowle piętrzące i regulacyjne w systemach melioracyjnych

(B. Kierasiński, E. Kaca)

Gospodarowanie wodą na zmeliorowanych użytkach zielonych w dolinach cieków wodnych odbywa się poprzez utrzymywanie wody w gruncie i wody w rowach na odpowiednim poziomie. Jest to możliwe, gdy użytek zielony jest wyposażony w sprawne i zdatne (rozdział 3.5.2.) zastawki melioracyjne i przepusty z piętrzeniem wody w rowach. Budowle te powinny być wyposażone w sprawne i zdatne zamknięcia do piętrzenia wody.

W celu zwiększenia skuteczności hamowania odpływu wody z systemów melioracyjnych i usprawnienia rozrządu wody między nawadniane podsiąkowo kwatery coraz częściej powinno się stosować urządzenia regulujące poziom wody i natężenie jej odpływu, instalowane na istniejących budowlach piętrzących i regulacyjnych w rowach. W studniach drenarskich powinno się montować regulatory wysokości piętrzenia wody hamujące odpływ wody z sekcji drenarskiej.

W tym rozdziale przedstawiono innowacyjne urządzenia do regulacji piętrzenia wody w rowach i systemach drenarskich oraz urządzenia wielofunkcyjne nie tylko do regulacji piętrzenia wody w rowach, lecz również do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody. Wszystkie urządzenia zostały opracowane i sprawdzone w ramach projektu INOMEL, którego liderem był Instytut Technologiczno-Przyrodniczy PIB w Falentach (SZYMCAK, KIERASIŃSKI, KLASICKA 2022).

Zwrócono również szczególną uwagę na klasyczne budowle piętrzące oraz rowy melioracyjne, które wraz z tymi budowłami i ww. urządzeniami powinny pełnić nie tylko funkcję odwadniającą, ale również funkcję nawadniającą.

3.1. Klasyczne budowle piętrzące w systemach nawodnień podsiąkowych i odwodnień

Gospodarowanie wodą na zmeliorowanych użytkach zielonych w dolinach cieków wodnych odbywa się poprzez utrzymywanie wody w gruncie i wody w rowach na odpowiednim poziomie. Jest to możliwe, gdy użytek zielony jest wyposażony w sprawne zastawki melioracyjne, przepusty z piętrzeniem wody i małe jazy (fot. 1).



Fot. 1. System nawodnień podsiąkowych z budowlą piętrzącą wodę (fot. B. Kierasiński)

Budowle te powinny być wyposażone w sprawne zamknięcia do piętrzenia wody. Istniejące zamknięcia posiadają cechy niegwarantujące właściwej gospodarki wodą na obiekcie. Są kłopotliwe w operowaniu, trudne w utrzymaniu w sprawności i charakteryzują się niską funkcjonalnością. Nie umożliwiają dwu/trzy stanowego piętrzenia wody w rowach na dwóch, trzech poziomach (fot. 2).



Fot. 2. Zastawka ze stalową zasuwą na doprowadzalniku (fot. Z. Kowalewski)

Brak jest możliwości utrzymywania zwierciadła wody w rowach (i w gruncie) na odpowiednim, zmiennym poziomie. Skutkiem tego jest nadmierny odpływ wody i związków biogenych (nawozowych) z terenów zmeliorowanych. Istniejące zamknięcia zasuwowe są podnoszone za pomocą ciężkich i kosztownych mechanizmów wyciągowych, narażonych na zniszczenie i grabież. Części tych wad pozbawione są zamknięcia szandorowe, czyli zamknięcia układane z desek w prowadnicach na zastawkach/przepustach z piętrzeniem. Jednak takie zamknięcia są nieuszczelne oraz trudne w operowaniu. Deski są zakładane lub ujmowane z prowadnic ręcznie, często zachodzi potrzeba uzupełniania zaginionych desek.

3.1.1. Klasyfikacja budowli regulacyjnych i piętrzących

Najczęściej spotykane budowle melioracyjne można połączyć w 6 podstawowych grup. Są to:

- jazy piętrzące (stałe, zastawkowe lub z ruchomymi zamknięciami);
- zastawki melioracyjne (betonowe, metalowe, drewniane);
- progi piętrzące i stopnie wodne (kamienne, kamienno-żwirowe, kamienno-drewniane, kamienno-faszynowe, drewniane, drewniano-gruntowe, gabionowe);
- bystrotoki (kamienne lub z darniny);
- przepusty z piętrzeniem (tzw. przepustozastawki);
- mnichy spustowe ze stawów (drewniane, prefabrykowane).

Efektywne zarządzanie zasobami wodnymi na obszarach zmeliorowanych możliwe jest poprzez regulowanie odpływu wody i sterowanie jej poziomem, zarówno w samych rowach melioracyjnych, jak i na odcinkach rzek lub kanałów, połączonych funkcjonalnie z systemami melioracyjnymi. W obu przypadkach niezbędne jest sterowanie wysokością piętrzenia wody, co pozwala na regulowanie tzw. retencji korytovej.

Na **rowach melioracyjnych** budowlami piętrzącymi są przede wszystkim:

- zastawki;
- przepusty z piętrzeniem (tzw. przepustozastawki);
- stałe progi, służące do zatrzymywania określonej ilości wody w korytach rowów, powyżej budowli piętrzącej.

Ich funkcjonowanie skutkuje podnoszeniem się poziomu wód gruntowych na terenach zmeliorowanych, co jest szczególnie istotne w okresach niedoborów wody czy nawet suszy.

Na **odcinkach rzek lub kanałów**, funkcjonalnie współpracujących z systemami melioracyjnymi, najczęściej spotyka się jazy z zamknięciami, które dzięki różnego typu ruchomym zamknięciom piętrzą wodę w stanowisku górnym i umożliwiają doprowadzenie jej do rowów nawadniająco-odwadniających (KARPIŃSKA i.in. 2024).

3.1.2. Wybór rodzaju i typu budowli piętrzącej

Wybór rodzaju i typu budowli piętrzącej powinien być poprzedzony analizą wielu aspektów środowiskowych, eksploatacyjnych i technicznych. Do najważniejszych parametrów podlegających analizie należą (za: MODUSZEWSKI, KOWALEWSKI, 2015).

- techniczne możliwości wykonania budowli – m.in. w odniesieniu do warunków geologicznych podłoża oraz do warunków transportu materiałów budowlanych;

- potencjalne zagrożenia dla terenów przyległych – m.in. w odniesieniu do przewidywanej zmiany stosunków wodnych na terenach przyległych oraz do skutków zaniechania prac utrzymaniowych;
- efekty ekonomiczne – m.in. w odniesieniu do nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji;
- warunki eksploatacyjne – m.in. w odniesieniu do możliwości użytkowania przez odpowiednio wyszkolonego operatora i poziomu trudności w obsłudze oraz do odporności na dewastację;
- walory krajobrazowe i estetyczne – m.in. w odniesieniu do rodzaju zastosowanych materiałów budowlanych.

3.1.3. Warunki lokalizacyjne i techniczne dla budowli piętrzących

Właściwa lokalizacja budowli piętrzących na rowach ma istotny wpływ na przebieg gospodarki wodnej na obiekcie. Budowle źle zlokalizowane są bezużyteczne (fot. 3).



Fot. 3. Zastawka melioracyjna wśród nieużytków i na nieużytkowanym rowie (fot. B. Kierasinski)

Specyfiką dobrze zlokalizowanych na rowach melioracyjnych budowli piętrzących, o dobrze dobranych parametrach technicznych, jest (za LIPIŃSKIM 2015) to, że:

- Konstrukcja budowli piętrzącej jest dostosowana parametrami technicznymi do parametrów technicznych rowu, rodzaju gleby i projektowanych natężeń przepływu.
- Budowle piętrzące umożliwiają regulację wysokości piętrzenia w zakresie potrzebnym do realizacji celów nawodnień użytków rolnych.
- Budowle piętrzące na rowach melioracyjnych, takie jak zastawki, przepustozastawki czy progi z piętrzeniem są zlokalizowane na prostych odcinkach rowów, poniżej miejsc poboru wody do nawodnień. Wybór lokalizacji promuje przekroje poprzeczne, w których wymagane jest utrzymywanie wysokiego poziomu wody na cele nawodnień podsiąkowych.
- Fundamenty budowli piętrzących są zabezpieczone ścianką szczelną przed skutkami filtracji wody.
- Wysokość stałego progu piętrzącego wynosi od 0,2 do 0,6 m.
- Wysokość piętrzenia na zastawkach wynosi od 0,6 do 1,6 m. Światło zastawki wynosi od 0,5 do 1,5 m i zapewnia bezpieczny odpływ wody w warunkach przepływu miarodajnego.
- Wypad i dno rowu poniżej zastawki jest umocnione i posiada szerokość nie mniejszą niż światło zastawki. Umocnienia dna koryta powyżej zastawki są zakończone narzutem kamiennym, palisadami lub krawężnikami.
- Zastawka o świetle ponad 0,8 m ma kładkę z poręczą.
- Zastawki wyposażane są w przepust, powstają tzw. przepustozastawki.

3.2. Innowacyjne urządzenia do regulacji piętrzenia wody w systemach nawodnień podsiąkowych i systemach drenarskich – projekt INOMEL

Opracowane w ramach projektu INOMEL zamknięcia są w znacznej części pozbawione wad, jakie mają zamknięcia klasyczne¹. Są to tzw. ażurowe zamknięcia szandorowe oraz zamknięcia U-kształtne, przeznaczone do instalacji w prowadnicach istniejących lub nowych betonowych monolitycznych lub prefabrykowanych zastawek melioracyjnych, przepustów z piętrzeniem i mnichów oraz w prowadnicach nowych zastawek ze ścianką szczelną z grodzic.

Racjonalizację gospodarki wodnej w systemach drenarskich może umożliwić stworzenie na bazie studni drenarskich (zastawek na rowach odpływowych) pojemności retencyjnych na wodę własną, tj. odpływającą z systemu drenarskiego. W takim przypadku studnie drenarskie powinny być wyposażone w tanie i łatwe w obsłudze i użytkowaniu regulatory piętrzenia wody.

Takimi cechami charakteryzuje się też regulator kielichowy gwintowany, opracowany w ramach projektu INOMEL. Regulator ten zakłada się bezpośrednio na wylot ze zbieracza, w którym ma być piętrzona woda, bez konieczności piętrzenia wody w innych wylotach wody w studni drenarskiej.

3.2.1. Ścianka szczelna z grodzic

Ścianka szczelna z systemem dokującym jest stałą budowlą piętrzącą z otworem przelewowym, umożliwiającą zainstalowanie na niej jednego z dwóch rodzajów innowacyjnych urządzeń piętrzących do regulacji poziomu wody w rowach melioracyjnych – ażurowego zamknięcia szandorowego lub zamknięcia U-kształtnego (SZYMCAK, KIERASIŃSKI, KLASICKA, 2022). Ścianka szczelna wykonana jest z połączonych ze sobą profili D-HEX o szerokości 0,25 m

¹ Opis urządzeń znajduje się w pracy: Innowacyjne urządzenia do regulacji poziomu wody w systemach melioracyjnych. Przegląd konstrukcji i zalecenia wdrożeniowe (SZYMCAK, KIERASIŃSKI, KLASICKA, 2022) AGROCOM POLSKA

z wysokoudarowego PCV – trwałość 10 lat (fot. 4). Profile charakteryzują się bardzo dobrą wytrzymałością mechaniczną, odpornością na działanie światła UV oraz odpornością na środowisko mocno kwaśne i zasadowe. Wzmocnienia konstrukcji mogą być wykonane za pomocą pali drewnianych o średnicy 100 mm lub poprzez zalanie komór grodzie betonem C12/15. Ścianka szczelna od góry wzmocniona jest na całej długości oczepem o szerokości 0,29 m.



Fot. 4. Ścianka szczelna z grodzie (fot. T. Szymczak)

3.2.2. Ażurowe zamknięcie szandorowe

Ażurowe zamknięcie szandorowe jest przeznaczone do piętrzenia wody w rowach melioracyjnych i małych ciekach do wysokości 1,0 m. Możliwa jest ich instalacja w prowadnicach istniejących lub nowych budowli piętrzących o świetle do 1 m (fot. 5).



Fot. 5. Ażurowe zamknięcie szandorowe na zastawce ze ścianką szczelną z grodzie;
(czerwone linie to repery wysokości piętrzenia wody - fot. B. Kierasinski)

Zamknięcie składa się z szandorów z impregnowanego drewna lub z tworzywa sztucznego (np. HDPE) luźno spiętych dwoma taśmami (SZYMCZAK, KIERASIŃSKI, KLASICKA, 2022). Do brzegów górnego szandora są przymocowane dwa łańcuszki wyciągowe. Każdy na swym końcu posiada pierścień do podtrzymywania rozwartych szandorów na betonowych, drewnianych lub z tworzywa sztucznego przyczółkach budowli piętrzącej. Minimalna liczba szandorów w zamknięciu jest równa przyjętej liczbie poziomów piętrzenia wody w rowie. Np. przy sześciu poziomach piętrzenia minimalna liczba szandorów będzie równa sześć. Przy zwarcie wszystkich szandorów uzyskuje się maksymalny poziom piętrzenia wody w rowie. Prowadnice po wprowadzeniu do nich zamknięcia mogą być zaślepione. Ażurowe zamknięcie szandorowe jest urządzeniem chronionym prawem patentowym od 11.2018 r. (Pat. 244459).

3.2.3. Zamknięcie U-kształtne

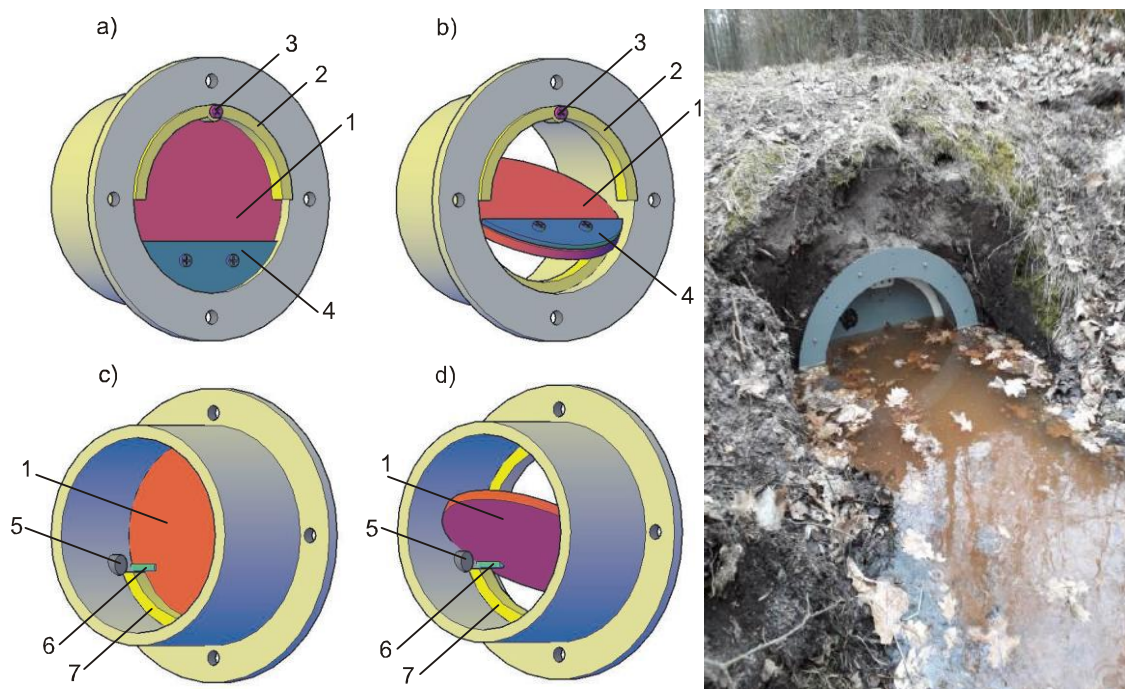
Zamknięcie składa się z U-kształtnych szandorów wkładanych w prowadnice ścianki szczelnej z grodzic lub odpowiednio przystosowanych istniejących budowli melioracyjnych (SZYMCZAK, KIERASIŃSKI, KLASICKA, 2022). Zamknięcie może być instalowane na istniejących mnichach. Wydłużenie krawędzi przelewowej powoduje mniej gwałtowne zmiany poziomu wody wraz ze zmianą przepływu niż w przypadku klasycznych zamknięć (fot. 6). Regulacja poziomu wody odbywa się poprzez dokładanie lub zdejmowanie kolejnych segmentów zamknięcia ze specjalnie przygotowanych mocowań w istniejącej konstrukcji. Usuwanie namułu wymaga usunięcia wszystkich segmentów zastawki.



Fot. 6. Zamknięcie U-kształtne na ścianie szczelnej (czerwone linie jak na fot. 5) (fot. B. Kierasiński)

3.2.4. Regulator wywrotny piętrzenia

Regulator instaluje się na wlocie do przepustu o kołowym przekroju (fot. 7). Można również instalować go w wylotowym rurociągu zbieracza w studni drenarskiej. Podstawowym elementem urządzenia jest ruchoma, mimośrodowo osadzona w rurociągu urządzenia klapka (rys.10). Klapka jest zamknięta, ale gdy poziom wody w rowie osiągnie zadany poziom klapka się przechyli i spuszcza część wody (KACA, KUBRAK (red.) 2020).



Fot. 7. Wywrotny regulator piętrzenia
(fot. E. Kaca)

Rys. 10. Regulator piętrzenia zamontowany w przepuszcisku²: a) widok od strony wody górnej przy zamkniętej klapie, b) widok od strony wody górnej przy uchylonej klapie, c) widok od strony wody dolnej przy zamkniętej klapie, d) widok od strony wody dolnej przy uchylonej klapie, 1 - klapa, 2 - górny półpierścień uszczelniający, 3- śruba z magnesem, 4- metalowe płytki zwiększające ciężar kłapy i samoczynne jej zamknięcie, 5- ogranicznik, 6- pozioma oś obrotu, 7- dolny półpierścień uszczelniający

3.2.5. Przenośny próg piętrzący

Przenośny próg piętrzący wykonany jest z materiału zbrojonego siatką z PE, obustronnie powleczonego PCV (SZYMCZAK, KIERASIŃSKI, KLASICKA, 2022). Urządzenie, z wykorzystaniem zaworów, grawitacyjnie napęlnia się wodą płynącą w korycie cieku i piętrzy wodę do wysokości 0,6 lub 0,8 m (fot. 8). Może być instalowane na rowach melioracyjnych lub małych ciekach nizinnych.

W warunkach piętrzenia krótkookresowego (do kilkunastu godzin) próg może być wykorzystywany: na terenach leśnych, pastwiskach i łąkach – do piętrzenia wody niezbędnej do pobrania w czasie gaszenia pożarów; w prowadzeniu pomiarów hydraulicznych, hydrometrycznych i biologicznych na małych ciekach; podczas wykonywania drobnych napraw na małych, stałych budowlach piętrzących.

W warunkach piętrzenia długookresowego (ponad 24 godziny) woda zmagazynowana w stanowisku górnym progu może być wykorzystywana do celów nawodnieniowych (z wykorzystaniem rurociągów deszczownianych, do napęlniania rowów nawadniająco-odwadniających), do pojenia bydła i innych zwierząt pastwiskowych, w celach innych niż spożywcze, np. do mycia maszyn rolniczych.

² Szczegółowy opis urządzenia w monografii: KACA, KUBRAK (red.) 2020. Budowle i urządzenia do pomiaru przepływu wody w kanałach melioracyjnych. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań.



Fot. 8. Przenośny próg piętrzący (fot. K. Karpińska)

Do zalet przenośnego progu piętrzącego należy zaliczyć m.in.: mobilność, małą wagę (ok. 20 kg), prostą obsługę urządzenia oraz brak konieczności występowania o pozwolenie na budowę.

3.2.6. Regulator kielichowy gwintowany

Urządzenie przeznaczone jest do hamowania odpływu wody i regulacji napętnienia w zbieraczach drenarskich systemów wodno-melioracyjnych (SZYMCZAK, KIERASIŃSKI, KLASICKA, 2022). Regulator jest instalowany wraz z trójnikiem kanalizacyjnym na rurociągu dopływowym w studni drenarskiej. Urządzenie zbudowane jest z rury wewnętrznej gwintowanej (z PCV) o średnicy wewnętrznej 0,125 m, kielicha przelewowego (z PCV) o średnicy wewnętrznej 0,160 m oraz nakrętki rury zewnętrznej (z PA) montowanej w trójniku (fot. 9).



Fot. 9. Regulator kielichowy gwintowany,
(źródło: SZYMCZAK, KIERASIŃSKI, KLASICKA, 2022)

Dopływająca woda, zanim zostanie odprowadzona ze studni rurą wylotową, musi osiągnąć poziom krawędzi kielicha regulatora, który jest ustawiany przez operatora poprzez okręcanie gwintowanej rury wewnętrznej wraz z kielichem. Powoduje to piętrzenie wody w rurociągu dopływowym, podwyższenie poziomu wód gruntowych oraz wzrost uwilgotnienia gruntu. Różnica między maksymalnym i minimalnym poziomem wkręcenia gwintowanej rury wynosi 0,350 m. Namuły, zgromadzone w osadniku, można opróżnić za pomocą kłapy spustowej w trójniku kanalizacyjnym.

3.3. Innowacyjne urządzenia do regulacji piętrzenia oraz pomiaru i regulacji przepływu – projekt INOMEL

Pomiar i regulacja natężenia przepływu wody są wymagane w przypadku systemów nawodnień podsiąkowych (rozdział 2), w których prowadzi się rozrząd wody między kwatery nawadniane. Są to zazwyczaj systemy nawadniające z doprowadzalnikiem i zlokalizowanymi na nim węzłami rozrządu wody (rys.3). W przypadku systemów nawodnień podsiąkowych bez doprowadzalnika, w których mały ciek pełni funkcję odbiornika wody w czasie odwodnień i doprowadzalnika w czasie nawodnień a kwatery są ustawione szeregowo w kaskadzie (rys.4), rozrząd wody między kwatery wiąże się z potrzebą korzystania z urządzeń służących jednocześnie do regulacji piętrzenia wody oraz do pomiaru i regulacji natężenia przepływu. Do takich wielofunkcyjnych urządzeń zalicza się zestaw przelewów oraz różnego rodzaju zasuwy dwudzielne instalowane na istniejących i nowych budowlach piętrzących wodę (zastawki, przepusty z piętrzeniem).

3.3.1. Zestaw przelewów

Zestaw przelewów (fot. 10) służy do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody (SZYMCZAK, KIERASIŃSKI, KLASICKA, 2022)³ oraz piętrzenia wody do wysokości maksymalnej 0,90 m na rowach melioracyjnych. Zestaw przelewów może być wykorzystywany na istniejących budowlach wodno-melioracyjnych: zastawkach melioracyjnych i przepustach z piętrzeniem, m.in. w systemach nawodnień podsiąkowych. Zestaw składa się z czterech przelewów, których liczba jest równa przyjętej liczbie poziomów piętrzenia wody na budowli. W warunkach zainstalowania na zakładkę wszystkich czterech przelewów uzyskuje się maksymalny poziom piętrzenia. Każdy z przelewów w zestawie wykonany jest z płyty stalowej połączonej z deską drewnianą lub kompozytową WPC (fot. 10). Zestaw przelewów jako „Zestaw przelewów do regulacji piętrzenia oraz pomiaru i regulacji przepływu wody”, jest urządzeniem chronionym prawem patentowym od 11.2018 r. (Pat. 245157).

³ SZYMCZAK T., KIERASIŃSKI B., KLASICKA E., 2022. Innowacyjne urządzenia do regulacji poziomu wody w systemach melioracyjnych. Katalog konstrukcji i zalecenia wdrożeniowe. Wydawca: AGROCOM Polska – Jerzy Koronczok. Żędnice.



Fot. 10. Zestaw przelewów na przepuszczeniu z piętrzeniem z urządzeniem w studzińce do automatycznego pomiaru stanu wody w górnym stanowisku budowli (fot. B. Kierasiński)

3.3.2. Zasuwa dwudzielna z przelewem

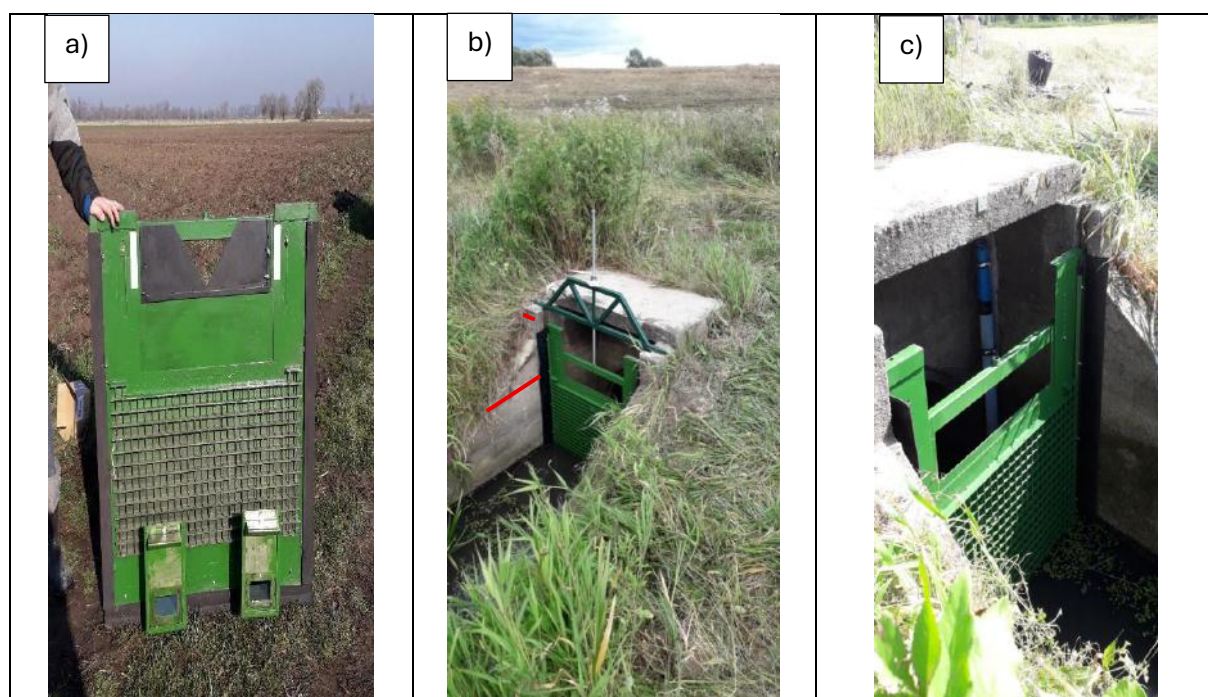
Zasuwa dwudzielna to lekkie zamknięcie zasuwowe do pomiaru i regulacji natężenia przepływu w systemach nawodnień podsiąkowych (KACA, KUBRAK (red.), 2020). W urządzeniu tym górna zasufa stanowi przelew prostokątny używany jako regulator stanów wody w górnym stanowisku budowli oraz jako urządzenie do pomiaru i regulacji przepływu. Podniesiona dolna zasufa umożliwia wypływ wody pod zasufą. Do wyznaczenia natężenia przepływu wody wykorzystuje się wzory do obliczeń natężenia przepływu przez prostokątny przelew, jak i przez otwór pod zasufą. Przepustowość zasuw została określona w laboratorium hydraulicznym. Zasufę można instalować na szandorowych zastawkach melioracyjnych oraz na melioracyjnych przepustach z piętrzeniem wody, ujmujących wodę do nawodnień podsiąkowych i na spustach wody z nawadnianych obszarów (postępowanie patentowe jest w toku).

3.3.3. Zasuwa dwudzielna z przelewem i nasadkami przepływomierzczymi

Zasuwa dwudzielna z przelewem i nasadkami (fot. 11a) stanowi lekkie zamknięcie do pomiaru i regulacji natężenia przepływu w zastawkach melioracyjnych i przepustach z piętrzeniem (KACA, KUBRAK (red.) 2020). W urządzeniu tym górna zasufa stanowi przelew prostokątny (fot. 11a i 11c), używany jako regulator stanów wody w górnym stanowisku budowli oraz jako urządzenie do pomiaru i regulacji natężenia przepływu. W przelewie tym może być instalowany przelew trójkątny (fot. 11a). Podniesiona dolna zasufa umożliwia wypływ wody pod zasufą i pomiar jego natężenia. W dolną zasufę wbudowane są dwie nasadki przepływomierzczcze z zasuwkami (fot. 11a). Nasadki służą do regulacji i pomiaru natężenia

przepływu, gdy zasuwa dolna jest opuszczona a górna podniesiona (przez przelew nie płynie woda). W celu pomiaru natężenia przepływu przez budowlę mierzone są manualnie albo automatycznie głębokości wody przed i za urządzeniem. Istnieje możliwość automatycznego rejestrowania położenia zasuw oraz liczby wydających nasadek przepływomierzycznych.

W celu poprawy szczelności zamknięcia stosuje się opatentowane specjalne śruby dociskające zasuwy do prowadnic budowli (patent 243207). Do operowania zasuwami służy lekki mechanizm wyciągowy (fot. 11b). Konstrukcja zasuwy pozwala na pomiar i regulację natężenia przepływu w szerokim zakresie i z dużą dokładnością, nawet przy małej różnicy między poziomem wody górnej i wody dolnej.

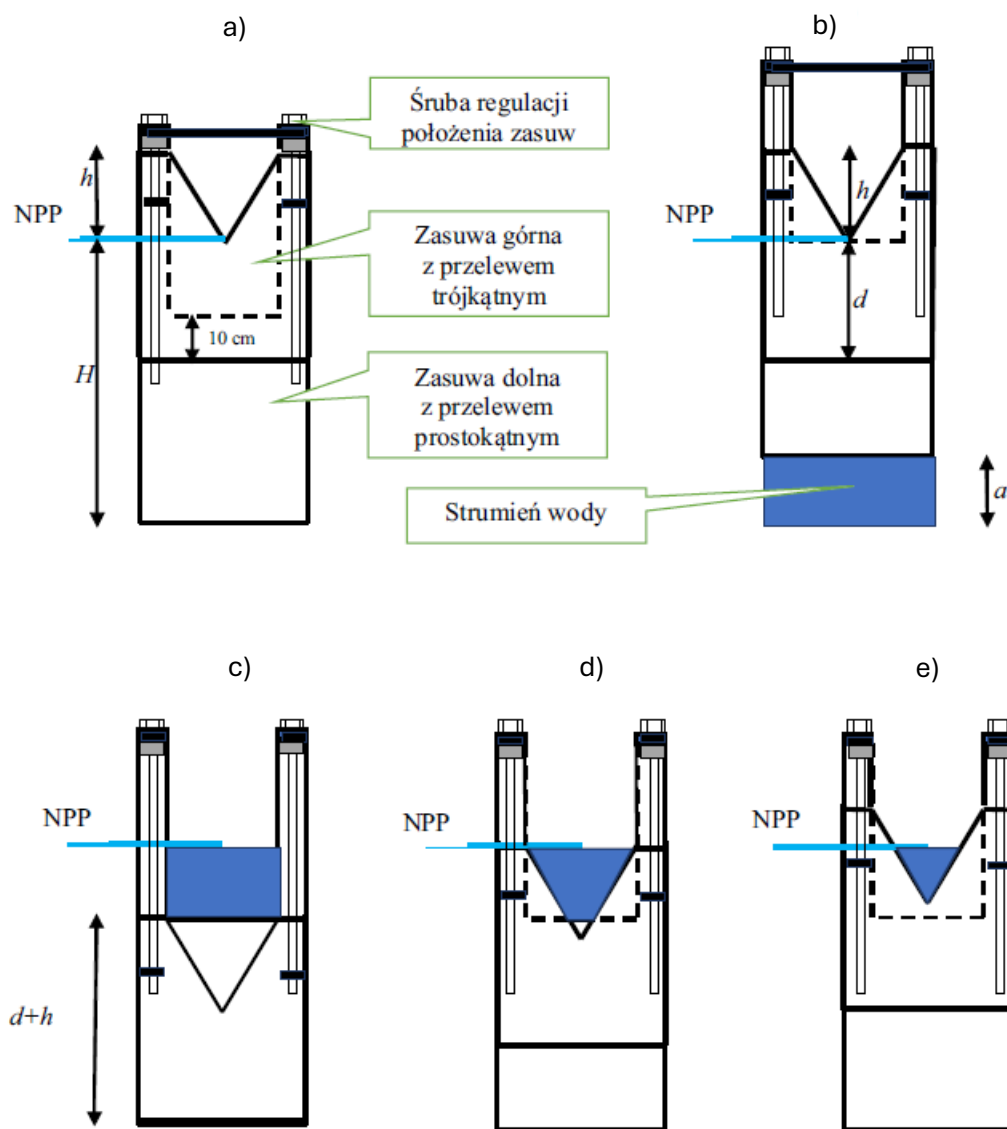


Fot. 11. Zasuwa dwudzielna z przelewem i nasadkami przepływomierzycznymi. a) zasuwa przed montażem w prowadnicach przepustu z piętrzeniem, u góry – przelew trójkątny osadzony w przelewie prostokątnym, u dołu dwie nasadki z zasuwkami, b) zasuwa w prowadnicach przepustu z piętrzeniem, u góry widoczny przelew prostokątny oraz mechanizm wyciągowy, c) zasuwa w prowadnicach przepustu z piętrzeniem (fot. E. Kaca)

3.3.4. Zasuwa dwudzielna z przelewami

Zasuwa dwudzielna z przelewami składa się z zasuwy dolnej z przelewem prostokątnym i górnej z przelewem trójkątnym (rys. 11a), zamocowanych w prowadnicach typowej szandorowej zastawki melioracyjnej (KACA, KUBRAK (red.) 2020).

Przez odpowiednie ustawienie zasuw względem siebie i dna budowli uzyskuje się przepływ wody pod zasuwą (rys. 11b) albo przepływ wody przez przelew prostokątny (rys. 11c), trapezowy (rys. 11d) albo trójkątny (rys. 11e). Umożliwia to prowadzenie pomiarów przepływu i jego regulację w dużym zakresie, nawet przy wysokich stanach wody w dolnym stanowisku budowli, co jest typowe w przypadku nawodnień podsiąkowych.



Rys. 11. Schemat zasuwy dwudzielnej z przelewami do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody (widok od strony wody górnej): a) piętrzenie wody na poziomie NPP i brak przepływu, b) pomiar i regulacja przepływu wody pod zasuwą, c) pomiar i regulacja przepływu wody zasuwą górną, przelew prostokątny, d) pomiar i regulacja przepływu wody zasuwą dolną, przelew trapezowy, e) pomiar i regulacja przepływu wody zasuwą górną, przelew trójkątny
(źródło: KACA, KUBRAK (red.) 2020)

3.4. Rowy melioracyjne

Rowy melioracyjne w systemach nawodnień podsiąkowych i systemach odwodnień pełnią zróżnicowane funkcje. W warunkach naszego kraju rowy szczegółowe odwadniają użytki rolne (fot. 12.), w małym (za małym) zaś stopniu pełnią funkcje nawadniające. Realizacja tych funkcji zależy od wielu czynników. Do najważniejszych należą lokalizacja rowów, ich charakterystyki techniczne oraz ich stan techniczny.



Fot. 12. Rów (kanał) nawadniająco-odwadniający na obiekcie melioracyjnym, bez możliwości piętrzenia wody (fot. B. Kierasiński)

3.4.1. Warunki lokalizacyjne i techniczne dla rowów nawadniająco-odwadniających

Lokalizacja rowów nawadniająco-odwadniających powinna wynikać z wymagań techniczno-funkcjonalnych obiektu melioracyjnego, na którym będą wykorzystywane. Rowy nawadniająco-odwadniające powinny być jak najlepiej wkomponowane w układ przestrzenny użytków rolnych i krajobraz.

Technologia wykorzystana do budowy rowów powinna zapewniać ich bezpieczeństwo i stateczność, nie pomijając przy tym ochrony przyrody i ochrony środowiska. Parametry techniczne rowów nawadniająco-odwadniających powinny umożliwić ich optymalną pracę i eksploatację pod względem ekonomicznym i organizacyjnym.

Porady dotyczące warunków lokalizacyjnych i technicznych dla **rowów nawadniająco-odwadniających**, zostały zestawione poniżej (LIPiŃSKI 2015):

- Rowy nawadniająco-odwadniające powinny być lokalizowane na użytkach rolnych, na których występują stałe niedobory wody w glebie, najlepiej na terenach płaskich – bez lokalnych zagłębień.
- Rowy nawadniająco-odwadniające wykorzystuje się na obiektach nawodnień podsiąkowych. Piętrzenie wody w rowach skutkuje podniesieniem się poziomu wód gruntowych, a tym samym zwiększonym nawodnieniem i uwilgotnieniem gleby. Rowy nawadniająco-odwadniające po likwidacji lub obniżeniu piętrzenia, pełnią tylko funkcję rowów odwadniających.
- Rowy nawadniająco-odwadniające powinny umożliwiać swobodny odpływ wód w warunkach stanów wody o największej częstotliwości występowania.
- Rozstawa rowów nawadniająco-odwadniających jest określana na podstawie wzorów hydraulicznych lub normatywów i w praktyce mieści się w granicach od 100 do 300 m.

Możliwe jest zwiększenie rozstawy rowów poprzez wykorzystanie sieci drenów między rowami, gdy obliczeniowa rozstawa jest mniejsza niż 80 m.

- Rowy nawadniająco-odwadniające powinny być prowadzone z minimalnymi dopuszczalnymi spadkami. Im mniejszy spadek dna koryta, tym mniej jest potrzebnych budowli piętrzących.

3.4.2. Przebudowa rowów odwadniających w rowy nawadniająco-odwadniające

Przekształcenie rowów odwadniających w rowy nawadniająco-odwadniające sprowadza się przede wszystkim do naprawy, modernizacji i przywracania funkcjonalności już istniejących budowli piętrzących, ale może również wymagać nowych budowli. Potrzeba ta wynika przede wszystkim z parametrów technicznych rowów odwadniających, których projektowane spadki były możliwie największe, by szybciej odprowadzać nadmiar wody.

W przypadku rowów nawadniająco-odwadniających sytuacja jest odwrotna. Projektowane spadki rowów powinny być jak najmniejsze, by pojedyncza budowla piętrzyła wodę na jak najdłuższym odcinku rowu i oddziaływała na jak największy obszar. Przekształcenie rowów odwadniających w nawadniająco-odwadniające wymusza zatem potrzebę lokalizacji dodatkowych budowli piętrzących pomiędzy już istniejącymi, aby rów mógł magazynować wody powierzchniowe na jak największej długości.

3.5. Walory użytkowe i utrzymywanie urządzeń w podatności i sprawności

Regularna konserwacja systemów melioracyjnych oraz ich eksploatacja, zgodna z przeznaczeniem i potrzebami użytkowników, gwarantuje utrzymanie wymaganej sprawności i funkcjonalności wszystkich urządzeń melioracji wodnych. Dzięki takim zabiegom możliwe jest przeciwdziałanie skutkom ekstremalnych zjawisk atmosferycznych (susze i opady nawalne), które na stałe wpisały się w warunki klimatyczne naszego kraju. W pełni sprawny system melioracyjny pozwala zoptymalizować warunki wilgotnościowe gleby oraz gwarantuje zaspokojenie potrzeb wodnych roślin uprawnych w okresie wegetacyjnym. Ponadto umożliwia wykonywanie prac agrotechnicznych na terenach zmeliorowanych oraz chroni gleby przed degradacją.

Rutynowa konserwacja rowów melioracyjnych, wykonywana corocznie, obejmuje wszystkie prace konieczne do prawidłowego funkcjonowania całego systemu melioracyjnego. Gruntowna konserwacja obejmuje wszelkie prace niezbędne do odzyskania utraconych funkcji w porównaniu z pierwotnym projektem.

3.5.1. Podstawy prawne - obowiązek utrzymywania rowów melioracyjnych

Zgodnie z art. 197 Ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne, rowy wraz z budowlami związanymi z nimi funkcjonalnie należą do urządzeń melioracji wodnych. Ustawa Prawo wodne określa konieczność prowadzenia prac konserwacyjnych i utrzymania urządzeń melioracji wodnych w należytym stanie technicznym

Zgodnie z ww. Ustawą, nadzór nad utrzymywaniem urządzeń melioracji wodnych należy do Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie, natomiast zgodnie z art. 205 Ustawy, obowiązek utrzymania urządzeń melioracji wodnych w odpowiednim stanie, należy do zainteresowanych właścicieli gruntów, na które te urządzenia wywierają korzystny wpływ.

W przypadku, gdy urządzenia te są objęte działalnością spółki wodnej, działającej na terenie gminy lub związku spółek wodnych, w którym jest zrzeszona spółka wodna działająca na terenie gminy, ich utrzymanie należy do tej spółki lub tego związku spółek wodnych.

Niewywiązywanie się z obowiązku utrzymywania i konserwacji urządzeń melioracji wodnych powoduje, że właściwy organ Wód Polskich ustala w drodze decyzji, proporcjonalnie do odnoszonych korzyści przez właścicieli gruntów, szczegółowe zakresy i terminy utrzymywania i konserwacji.

Zaniechanie przez właściciela obowiązku utrzymywania rowów i innych urządzeń melioracyjnych we właściwym stanie, jak też utrudnianie przepływu wody w rowach, stanowią wykroczenie podlegające karze grzywny, wymierzanej na zasadach i w trybie przepisów Ustawy z dnia 24 sierpnia 2001 r. Kodeks postępowania w sprawach o wykroczenia (Art. 155).

3.5.2. Metoda oceny stanu technicznego urządzeń melioracyjnych

W proponowanej do stosowania metodzie oceny stanu technicznego urządzeń melioracyjnych w systemach odwodnień i nawodnień podsiąkowych bierze się pod uwagę cechy strukturalne tych urządzeń. Dotyczą one materiału, z którego urządzenie jest wykonane, formy urządzenia (kształt, układ przestrzenny elementów składowych) bądź też zarówno jednego jak i drugiego. Zespół cech strukturalnych (struktura) urządzenia wyznacza całokształt jego właściwości techniczno-eksploatacyjnych (funkcjonalnych), określa stopień przydatności urządzenia do pełnienia funkcji w warunkach konkretnego otoczenia.

Cechy strukturalne można charakteryzować za pomocą parametrów geometrycznych oraz łatwych do oceny parametrów jakościowych. Wyróżnia się **parametry zasadnicze** które charakteryzują cechy strukturalne urządzenia istotnie wpływające na jego właściwości funkcjonalne i **parametry drugorzędne** opisujące wygodę użytkowania, łatwość obsługi (konserwacji i napraw), estetykę itp. W momencie wprowadzenia urządzenia do eksploatacji wartości tych parametrów powinny być równe wartościom projektowanym. Parametrom drugorzędnym przypisuje się wartości krytyczne dopuszczalne, a parametrom zasadniczym dodatkowo wartości graniczne. Na ich podstawie określa się **zdatność i sprawność techniczną** urządzenia.

Zdatność urządzenia ocenia się na podstawie wartości parametrów zasadniczych. Gdy wartości tych parametrów przekraczają wartości graniczne to urządzenie nie jest zdatne technicznie. Wtedy jego dalsza eksploatacja jest niemożliwa, niebezpieczna lub nieefektywna ekonomicznie. Sprawność urządzenia ocenia się na podstawie wartości parametrów drugorzędnych. Gdy te przekraczają wartości dopuszczalne to urządzenie jest niesprawne technicznie, nawet gdy jest zdatne.

W tabelach 4, 5 i 6 przedstawiono propozycję (wg: INTEREWICZ, KACA, ZAWADA, 1993) dopuszczalnych i granicznych wartości parametrów zasadniczych i dopuszczalnych wartości parametrów drugorzędnych dla wydzielonych odcinków rowów i doprowadzalników, przepustów rurowych i urządzeń piętrzących. Przykłady urządzeń i oceny ich stanu technicznego przedstawiono na fotografiach 13 i 14.

Tabela 4. Krytyczne wartości parametrów struktury do oceny stanu technicznego rowów i doprowadzalników

Nazwa parametru	Wartości parametrów	
	dopuszczalne	graniczne
PARAMETRY ZASADNICZE		
Średnie spłylenie lub przegłębienie:		
> rowy odwadniająco-nawadniające	20	40
>rowy zbiorcze i doprowadzalniki	10	30
Średnia wysokość roślin na dnie		
> rowy odwadniająco-nawadniające	20	40
>rowy zbiorcze i doprowadzalniki	10	30
Maksymalna wysokość przetamowań		
> rowy odwadniająco-nawadniające	20	40
>rowy zbiorcze i doprowadzalniki	10	30
PARAMETRY DRUGORZĘDNE		
Średnia wysokość roślin na skarpach		
> rowy odwadniająco-nawadniające	30	
>rowy zbiorcze i doprowadzalniki	20	

Tabela 5. Krytyczne wartości parametrów struktury do oceny stanu technicznego przepustów rurowych

Nazwa elementu	Wartości parametrów	
	dopuszczalne	graniczne
PARAMETRY ZASADNICZE		
Rurociąg	zamulenie 10% średnicy	zamulenie 30% średnicy
	przykrycie 50 cm	przykrycie 30 cm
	kręgi poprzesuwane	kręgi zniszczone
	dno przepustu 10 cm nad dnem rowu	dno przepustu 30 cm nad dnem rowu
Jezdnia nad rurociągiem	koleiny o głębokości 10 cm	koleiny sięgają kręgów
Przyczółki	niewielkie spękanie	głębokie spękania, wyraźnie przechylone
PARAMETRY DRUGORZĘDNE		
Umocnienia:		
> na wlocie	ubytek 10% powierzchni	
> na wylocie	ubytek 10% powierzchni	

Podane wartości dopuszczalne parametrów zasadniczych nie są wykorzystywane do oceny zdolności urządzeń. Należy jednak zauważyć, że po przekroczeniu ich wartości i wartości dopuszczalnych parametrów drugorzędnych możliwe jest użytkowanie urządzenia, lecz powinno być ono poddane zabiegom profilaktycznym (koszenie skarp, smarowanie, malowanie, uzupełnianie ubytków) lub remontowi (konserwacja gruntowna, naprawa, oznakowanie).

Tabela 6. Krytyczne wartości parametrów struktury do oceny stanu technicznego urządzeń piętrzących na rowach odwadniająco-nawadniających

Nazw elementu	Wartości parametrów	
	dopuszczalne	graniczne
PARAMETRY ZASADNICZE		
Przyczółki	niewielkie spękania	głębokie spękania, wyraźnie przechylone
	obniżenie powierzchni gruntu za przyczółkiem 10 cm	obniżenie powierzchni gruntu za przyczółkiem 20 cm
Mechanizm wyciągowy	zdekompletowany, utrudnione użycie	zniszczony lub brak
Zasuwa	uruchomienie wymaga wysiłku	zablokowana
	skorodowana, zbutwiałe deski	widoczne otwory, zniszczona lub brak
	uszczelnienie uszkodzone	brak uszczelnienia
Prowadnice	wyraźne szczeliny na styku z betonem	wyrwane lub wygięte
Płyta denną (próg)	na styku z zasuwą nierówna, wybita	zniszczona, ubytki betonu do 10 dm ³
PARAMETRY DRUGORZĘDNE		
Umocnienia:		
> na wlocie	ubytek 10% powierzchni	
> na wylocie	ubytek 10% powierzchni	
Oznakowanie budowli	niepełne, brak numeru, brak znaków piętrzeń	

Na fotografiach 13 i 14 przedstawiono przykłady niezdatnych (fot. 14) i zdalnych, ale niesprawnych (fot. 13) urządzeń melioracyjnych w systemach nawodnień podsiąkowych. Przy takim stanie urządzeń (fot. 14) prowadzenie nawodnień (i odwodnień) nie będzie możliwe.



Fot. 13. Jaz na cieku zdalny, ale niesprawny, gdyż nie posiada zaznaczonych znaków (reperów) granicznych piętrzeń wody (fot. L. Łabędzki)



Fot. 14. Przykłady niezdatnych urządzeń melioracyjnych w systemach nawodnień podsiąkowych:
a) zakrzaczony rów odwadniająco-nawadniający, b) zastawka ze zniszczonym mechanizmem wyciągowym i zniszczoną zasuwą, c) skorodowana zasuw stalowa (fot. E. Kaca)

3.5.3. Lista i harmonogram zabiegów konserwacyjnych

Odpowiedni stan rowów melioracyjnych zależy od zakresu, terminów i częstotliwości ich konserwacji bieżącej czy gruntownej (tab. 7). Należy również brać pod uwagę, że:

- plan zabiegów utrzymaniowych, terminy i sposoby wykonania powinny być określone w programie konserwacji aktualizowanym co 3–5 lat;
- planowanie prac utrzymaniowych powinno uwzględniać różne czynniki, tj. wybór metod i technik konserwacji, które wpływają na zakres, harmonogram, efektywność i koszt zabiegów;

- konserwacja urządzeń melioracyjnych powinna być wykonywana na całej długości rowów melioracyjnych – szczególnie ważne są odcinki ujściowe;
- zbyt późne wykonywanie działań konserwacyjnych, mające charakter naprawy, regeneracji lub wymiany, generuje koszt wyższy, niż w przypadku terminowej konserwacji;
- prace konserwacyjne powinny być wykonywane z wykorzystaniem sprzętu używanego w budownictwie, co pozwala zniwelować wysokie koszty prac ręcznych i trudności w uzyskaniu ich zadowalającej efektywności;
- w organizowaniu prac należy uwzględnić specyficzne warunki klimatyczne, glebowe i hydrologiczne danego obszaru.

Tabela 7. Częstotliwość i terminy wykonywania zabiegów konserwacyjnych w systemach melioracyjnych (BYSIEWICZ, KIERASIŃSKI, CZERNIEJEWSKI, 2021)

Lp.	Typ zabiegu konserwacyjnego	Częstotliwość i/lub termin
1.	Wykaszenie roślin ze skarp i dna rowu (fot. 15)	minimum: 2 razy/rok – wiosna i jesień (z uwzględnieniem terminów zgodnych z wymogami środowiskowymi)
2.	Usuwanie roślinności wodnej i podwodnej	minimum: 1 raz/rok – późna wiosna lub wczesne lato
3.	Czyszczenie dna rowów odpływowych, studzienek i wylotów drenarskich z namułu	minimum: 1 raz/rok, optymalnie: 2 razy/rok: (wczesna wiosna i/lub jesień)
4.	Monitorowanie i umacnianie uszkodzonych brzegów/dna rowów i kanałów w sąsiedztwie budowli wodno-melioracyjnych (materiały: darń/faszyna/bruk)	stale i systematycznie
5.	Usuwanie wszelkich zatamowań	na bieżąco
6.	Usuwanie odpadów zanieczyszczających rowy	na bieżąco
7.	Naprawianie i utrzymywanie w sprawności budowli wodno-melioracyjnych	stale i systematycznie
8.	Zabezpieczanie budowli wodno-melioracyjnych: ➤ elementy drewniane – środkami impregnującymi ➤ elementy metalowe – minią lub asfaltem	stale i systematycznie





Fot. 15. Kanał: a) przed i b) po wykonaniu gruntownych prac utrzymaniowych
(fot. B. Kierasinski)

3.5.4. Zagrożenia wynikające z braku utrzymania urządzeń w sprawności

Wieloletnie zaniedbania w konserwacji rowów melioracyjnych, przyczyniają się do utraty sprawności urządzeń melioracji wodnych, a nawet całych systemów melioracyjnych. Z czasem skutkują ich całkowitą dewastacją i bezużytecznością. Brak nadzoru oraz egzekwowania obowiązku utrzymywania urządzeń melioracyjnych, mimo wyraźnych potrzeb w tym zakresie, przyczynia się zazwyczaj do pogłębiania zaniedbań w pracach utrzymaniowych i konserwacyjnych (KARPIŃSKA, BAR-MICHALCZYK, BĄK, GARBOWSKI, KANECKA-GESZKE, KIERASIŃSKI, 2024).

Zły stan urządzeń melioracji wodnych, uniemożliwia sprawne odprowadzanie wody w okresach jej nadmiaru. Brak systematycznej konserwacji rowów melioracyjnych oraz zastawek i przepustozastawek, może być przyczyną lokalnych podtopień w przypadku wystąpienia opadów o ekstremalnym natężeniu. Ponadto, dysfunkcyjność urządzeń melioracji wodnych uniemożliwia efektywne prowadzenie nawodnień podsiąkowych oraz zatrzymywanie wody i wykorzystywanie jej w okresach posusznych.

Zaniedbania w kwestii zabezpieczania oraz wykonywania koniecznych napraw budowli piętrzących są, dla całego systemu melioracyjnego i jego użytkowników, odczuwalne najbardziej. Generują największe koszty finansowe, ekonomiczne oraz organizacyjne. W przypadku systemów nawadniająco-odwadniających utracona zostaje funkcja nawadniania, co w okresie posuszonym lub suszy rolniczej jest zjawiskiem niepożądanym i szkodliwym.

Nie mniej istotne są wieloletnie zaniedbania w wykaszaniu roślinności korytowej, prowadzące niekiedy do sytuacji skrajnych, kiedy w rowach zakorzeniają się i rozrastają rośliny o rozbudowanych systemach korzeniowych, krzewy, a nawet drzewa. Obecność takich roślin może skutkować rozsadzaniem sączków i zbieraczy przez korzenie.

Zaniechanie innych prac utrzymaniowych, szczególnie odmulania na rowach odwadniających, również może prowadzić do degradacji i utraty funkcjonalności systemów drenarskich współpracujących z tymi rowami. Częściowo zamulone, czy wręcz zakopane pod warstwą namułu,

wyloty drenarskie zlokalizowane w skarpach rowów blokują grawitacyjny odpływ wody z sieci drenarskiej.

Brak systematycznego usuwania z koryta wszelkich zatamowań, przeszkód oraz śmieci, w warunkach normalnego użytkowania rowów odwadniających, ma mniejsze znaczenie niż brak odmulania czy wykaszania roślinności. Niemniej jednak, w przypadku gdy elementy te pod wpływem swojego ciężaru stają się przeszkodą podpiętrzającą wodę, to ich oddziaływanie na przepustowość rowu jest istotne, szczególnie w przypadku wystąpienia opadów nawałnych.

LITERATURA

- BANASIK K., BĄK B., BOREK R., JOŃCZYK K., KANECKA-GESZKE E., KASPERSKA-WOŁOWICZ W., KIERASIŃSKI B., KOLAŚIŃSKA K., NOWOCIEŃ E., SKOWRON P., SMAGACZ J., SZYMCHAK T., WACH D., WAWER R., 2022. Kodeks dobrych praktyk wodnych w rolnictwie. MRiRW. PROW 2014-2020, Warszawa.
- BRYSEWICZ A., KIERASIŃSKI B., CZERNIEJEWSKI P., 2021. Dobre praktyki utrzymania niewielkich cieków położonych na obszarach użytkowanych rolniczo. Monografia. Wydawnictwo ITP: Falenty.
- INTEREWICZ A., KACA E., ZAWADA E., 1993. Metody oceny funkcjonowania i stanu technicznego urządzeń melioracyjnych w systemach nawodnień podsiąkowych. W: Współczesne problemy melioracji. Pr. zb. Red. Cz. Somorowski. Wydaw. SGGW. Warszawa
- KACA E., KUBRAK J. (red.), 2020. Budowle i urządzenia do pomiaru przepływu wody w kanałach melioracyjnych. Monografia. Bogucki Wydawnictwo Naukowe Poznań.
- KARPIŃSKA K., BAR-MICHALCZYK D., BĄK B., GARBOWSKI T., KANECKA-GESZKE E., KIERASIŃSKI B., 2024. Retencja na gruntach zmeliorowanych. MRiRW Falenty.
- LIPIŃSKI J., 2015. Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane melioracji wodnych szczegółowych i ich usytuowanie. Zalecenia. Materiały Informacyjne 43 ISSN 0860-1410. Wydawnictwo ITP Falenty.
- MIODUSZEWSKI W., KOWALEWSKI Z., 2015. Małe budowle wodne. Katalog. Wydawnictwo ITP: Falenty.
- SZYMCHAK T., KIERASIŃSKI B., KLASICKA E., 2022. Innowacyjne urządzenia do regulacji poziomu wody w systemach melioracyjnych. Katalog konstrukcji i zalecenia wdrożeniowe. Wydawca: AGROCOM Polska – Jerzy Koronczok. Żędnice.

4. Monitoring melioracyjny: urządzenia kontrolno-pomiarowe (*T. Bolewski*)

Efektywne gospodarowanie wodą na obiektach melioracyjnych wymaga rozpoznania wielkości zasobów wody własnej oraz zasobów które mogą być wprowadzone na obiekt z jego otoczenia. Wymaga również rozpoznania aktualnych warunków meteorologicznych i stanu roślinności. Szczegółowe i kompleksowe określenie warunków panujących na takich obiektach jest możliwe dzięki stworzeniu i eksploatacji systemu monitoringu agro-hydro-meteorologicznego. Taki system składa się z urządzeń kontrolno-pomiarowych (automatycznych i/lub manualnych) za pomocą których wykonuje się regularne pomiary, modułów gromadzenia i przesyłania danych oraz elementów odpowiedzialnych za ich przetwarzanie (komputery i oprogramowanie).

Celem tworzenia i eksploatacji systemów monitoringu na użytkach rolnych jest umożliwienie efektywnego zarządzania zasobami wodnymi i planowania działań, które pozwolą na zapewnienie optymalnych warunków do rozwoju roślin. Najbardziej skutecznymi narzędziami wspomagającymi takie planowanie jest oprogramowanie, które na podstawie danych monitoringowych symuluje zachowanie się zwierciadła wód gruntowych i wilgotności korzeniowej warstwy gleby w wydzielonych częściach obiektu melioracyjnego (tzw. obszarowych jednostkach melioracyjnych).

Kompleksowy monitoring agro-hydro-meteorologiczny prowadzony na zmeliorowanych obiektach obejmuje pomiary: stanu wód gruntowych i wody w rowach melioracyjnych, wilgotności gleby, natężenia przepływu wody oraz parametrów meteorologicznych.

4.1. Monitoring stanu wód gruntowych i wody w rowach

Informacje na temat aktualnego stanu wód gruntowych i wody w rowach, a niekiedy również stanów (ciśnień piezometrycznych) w pierwszej warstwie wodonośnej są kluczowe do prowadzenia gospodarki wodnej na obiekcie melioracyjnym. Pozwalają one na określenie wielkości zasobów wody zretencjonowanych w gruncie zmeliorowanego użytku oraz wielu innych parametrów użytecznych w prowadzeniu nawodnień i odwodnień.

W celu pomiaru poziomu zwierciadła wody gruntowej na terenie użytku rolnego (grunt orny lub łąka) instaluje się studzienki obserwacyjne w zasięgu oddziaływania nawodnień i odwodnień. Do pomiaru położenia swobodnego lub napiętego zwierciadła wody w pierwszej warstwie wodonośnej stosuje się piezometry. Pomiar poziomu wody w rowie melioracyjnym lub ciekui można przeprowadzić w studziencie zainstalowanej przy jego krawędzi lub w rurze zainstalowanej bezpośrednio w dnie rowu lub ciekui.

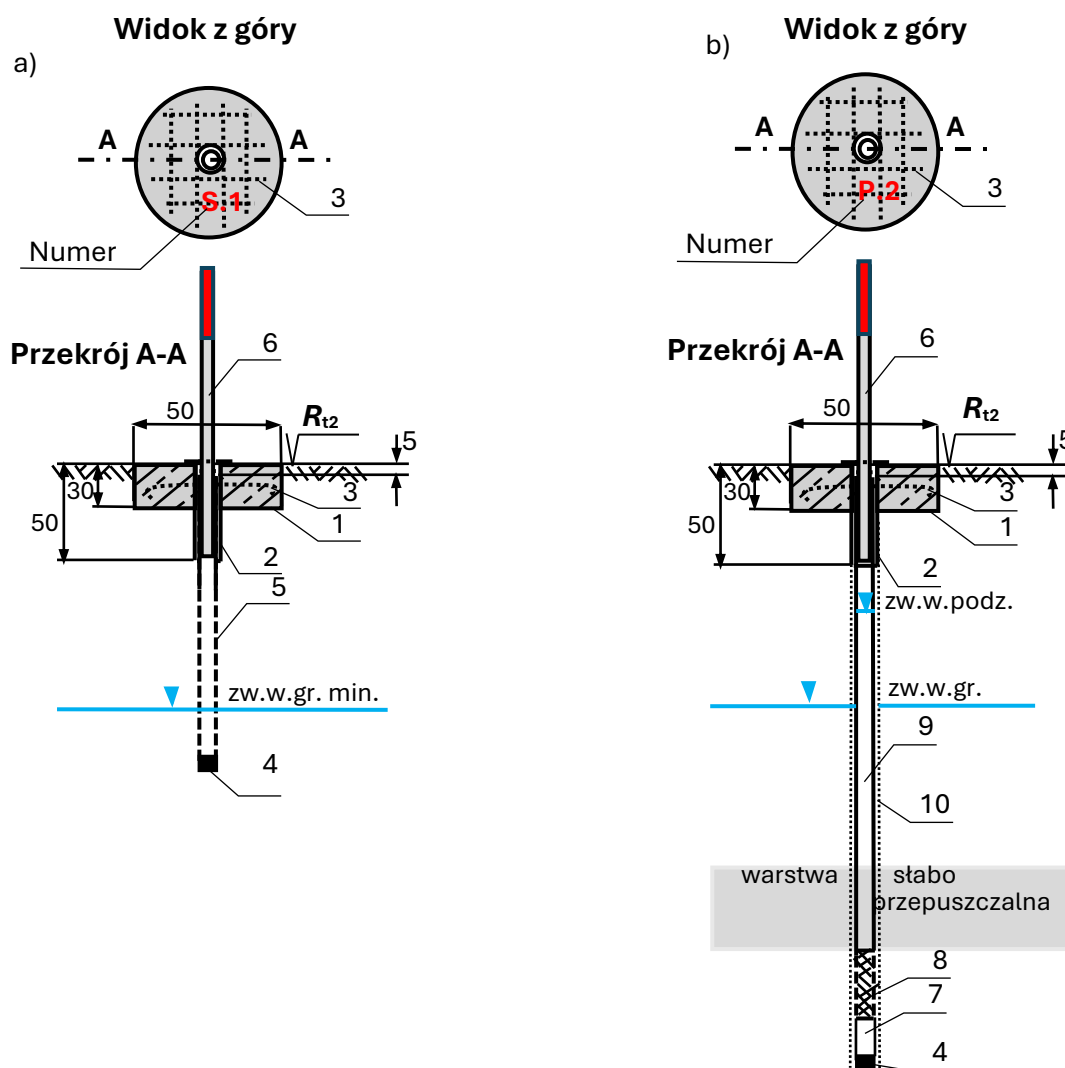
Studzienka obserwacyjna jest to orurowany rurami z PCV otwór wykonany w glebie do głębokości zalegania najniższej położonego zwierciadła wody gruntowej (w dolinach cieków wodnych ok. 2 m) (rys. 12a). Studzienka stała powinna być ustabilizowana na powierzchni terenu za pomocą oczepu żelbetowego (1) z krótką rurą (0,5 m) osłonową (2) o takiej wewnętrznej średnicy, aby była możliwość swobodnego poprowadzenia w niej rury właściwej (5), perforowanej na dolnym odcinku i o zamkniętym denkiem (4) (korkiem) końcu. W celu przeciwdziałania zamulenia się studzienki jej perforowaną część owija się włókniną. W przypadku zamulenia studzienki jej wnętrze należy odmulić za pomocą np. szlamówki, lub też wyjąć i oczyścić rurę perforowaną i dokonać jej ponownej instalacji. Na gruntach ornym studzienka obserwacyjna wraz z piezometrem i ew. przyrządem do pomiaru wilgotności gleby powinny być zabezpieczone przed zniszczeniem w czasie prac polowych. Zabezpieczenie może być podobne do zabezpieczenia studni drenarskiej, w formie obudowy z kręgu betonowego średnicy 0,6–0,8 m na powierzchni terenu.

Piezometr ma budowę podobną do budowy studzienki obserwacyjnej (rys. 12b). Składa się z kolumny rur stalowych lub z tworzywa sztucznego (9) zakończonych filtrem (8), przez który do wnętrza piezometru przedostaje się woda podziemna. Filtr powinien znajdować się w górnej części (stropie) drugiego poziomu wodonośnego. Na wysokości filtra piezometr obsypany jest zasypką filtracyjną, a wyżej uszczelniony mieszanką bentonitową (10).

Pomiary w studzienkach obserwacyjnych i w piezometrach wykonuje się w sposób manualny świstawką hydrogeologiczną. Pomiary w studzienkach można prowadzić również dwumetrową składaną miarą z wywierconymi (wypalonymi) w odstępach co 1 cm otworkami o średnicy 1–2 mm. Otworki powinny być wywiercone w miarce na długości co najmniej 30 cm. Miarkę zanurza się w studziencie a wynik pomiaru oblicza z różnicy zagłębienia końca miary w studziencie i liczby zalanych wodą otworków.

Monitoring stanu wód gruntowych i poziomu wody w rowach melioracyjnych prowadzony jest przy udziale obserwatorów. Pomiar poziomu wody gruntowej wykonuje się za pomocą

taśmy, linijki głębinowej lub świstawki (gwizdka hydrologicznego). Obecnie szeroko dostępną alternatywą dla tradycyjnych metod pomiarowych jest zastosowanie automatycznych czujników zanurzeniowych.



Rys. 12. Studzienka obserwacyjna (a) i piezometr (b) na łące/pastwisku: 1 – oczep żelbetowy grubości ok. 30 cm i średnicy około 50 cm, 2 – rura osłonowa z PCV zabetonowana w oczepie, 3 – siatka zbrojenia, 4 – denko, 5 – rura PCV średnicy min. 5 cm i długości 200 cm, w dolnej części na 2/3 długości perforowana i owinięta geowłókniną (np. ogrodniczą) przytwierdzoną do rury (sznurkiem, pończochą), 6 – świadek wysokości do 2 m, a jednocześnie zatyczka otworu studzienki/piezometru, 7 – rura podfiltrowa $\varnothing=110$ mm, 8 – filtr $\varnothing=110$ mm i długości min. 50 cm, 9 – rura nadfiltrowa $\varnothing=110$ mm, 10 – uszczelnienie mieszanką bentonitową (śląd po rurach $\varnothing 6,5''$). R_{t2} – rzędna kryzy studzienki/piezometru; wymiary na rysunku podano w cm (opr. E. Kaca)

Przed instalacją systemu pomiarowego wskazane jest wstępne rozpoznanie przeciętnego poziomu zalegania zwierciadła wody gruntowej. Umożliwi to dobór długości rur piezometrycznych. Pierwszy etap instalacji systemu pomiarowego polega na wywierceniu otworów w gruncie. Ich średnica i głębokość powinny pozwolić na wprowadzenie rur piezometrycznych. W praktyce pomiarowej stosuje się najczęściej rury wykonane z PCV (fot. 16.). W dolnej części są one perforowane i dodatkowo owinięte geowłókniną (np. ogrodniczą) o zdolności filtracyjnej. Na zainstalowaną rurę montuje się element umożliwiający jej zamknięcie za pomocą nakrętki (lub zatyczki). Po instalacji rury w otworze należy określić rzędną kryzy (górnej krawędzi studzienki

stanowiącej punkt odniesienia). Następnie w tak przygotowanej studzience instaluje się automatyczny czujnik do pomiaru położenia lustra wody gruntowej. Czujnik wprowadza się na zadaną głębokość poniżej lustra wody w studzience. Położenie czujnika w studzience powinno gwarantować stałe zanurzenie czujnika w wodzie. Czujnik poziomu wody podwiesza się do specjalnego pierścienia znajdującego się w górnej części studzienki lub bezpośrednio do zatyczki studzienki. Do tego celu stosuje się kabel bezpośredniego odczytu danych lub cienką linkę stalową.



Fot. 16. Rura z tworzywa sztucznego z zainstalowanym czujnikiem poziomu wody w cieku znajdująca się przy budowlu piętrzącej (fot. E. Bolewski)

Aktualnie dostępnych jest wiele modeli zanurzeniowych czujników poziomu wody (przykład na fot. 17). Są one zasilane wbudowanymi przez producentów bateriami, które gwarantują ciągłą pracę urządzeń nawet do dziesięciu lat. Określenie poziomu lustra wody odbywa się na podstawie pomiaru ciśnienia wywieranego przez słup wody nad urządzeniem. Dokładność pomiarów deklarowana przez producentów urządzeń sięga $\pm 0,5$ cm. Urządzenia te posiadają wbudowane rejestratory danych. W zależności od modelu urządzenia, odczyt danych odbywa się przez wyjęcie czujnika ze studzienki i podłączenie go do czytnika optycznego połączonego z komputerem lub poprzez podłączenie końcówki kabla, na którym jest podwieszony czujnik, do komputera (za pomocą specjalnej przelotki). W skład zestawu pomiarowego wchodzi również czujnik ciśnienia atmosferycznego, który pozwala na późniejszą kompensację barometryczną wyników uzyskanych z czujników znajdujących się w studzienkach. Czujnik ciśnienia atmosferycznego powinien znajdować się na obiekcie melioracyjnym lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Niektóre modele czujników dostępnych na rynku mają możliwość współpracy z modułami transmisji danych. Dane przesyłane są na serwer lub na e-mail użytkownika. Odczyt danych powinien odbywać się regularnie (np. do celów operacyjnego planowania nawodnień/odwodnień dane odczytuje się co siedem dni). Kompensacja barometryczna i przeliczenie wartości ciśnienia z czujnika

zanurzeniowego na wartości głębokości do lustra wody wykonywana jest za pomocą oprogramowania dostarczonego razem z urządzeniem.



Fot. 17. Zanurzeniowy czujnik poziomu wody wraz z kablem bezpośredniego odczytu danych pomiarowych (fot. E. Bolewski)

Wskazane jest również okresowe prowadzenie manualnych pomiarów poziomu wody w studzienkach w celu kontroli wskazań urządzeń automatycznych.

Ceny przykładowych urządzeń do pomiaru i rejestracji poziomu wody wynoszą orientacyjnie (2025 r.):

- a) rejestrator poziomu i temperatury wody do głębokości 9 m (rejestrator może również mierzyć ciśnienie atmosferyczne): 1500-2500 zł,
- b) rejestrator poziomu wody do głębokości 30 m (rejestrator może również mierzyć ciśnienie atmosferyczne): 2500-3000 zł,
- c) kabel bezpośredniego odczytu danych ze złączem optycznym 400-600 zł.

4.2. Monitoring wilgotności gleby

Informacje na temat aktualnego uwilgotnienia gleby są kluczowe do prowadzenia gospodarki wodnej na obiekcie melioracyjnym. Dzięki nim można określić aktualną ilość wody dostępnej dla roślin, ewentualną ilość wody jaką należy uzupełnić w glebie, bądź czy wilgotność gleby wymaga zmniejszenia.

Do praktycznych celów wilgotność gleby można szacować organoleptycznie, przez obserwację gleby w czasie jej ugniatania w dłoni i przez obserwację kondycji roślin. Punkty pomiaru wilgotności gleby powinny być zlokalizowane w kilku miejscach na kwaterze. Jeden z punktów powinien być w pobliżu studzienki obserwacyjnej. W typowaniu lokalizacji tych punktów mogą być użyteczne zdjęcia lotnicze lub satelitarne.

Obecnie dostępne są metody pozwalające na szybkie uzyskanie informacji na temat wilgotności gleby i nie wymagające poboru prób gleby i pracochłonnych analiz laboratoryjnych. Do pomiaru wilgotności gleby stosowane są najczęściej sondy lub czujniki

wykorzystujące zależności pomiędzy parametrami rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w ośrodku glebowym a wilgotnością gleby. Główne metody to metoda reflektometrii w domenie czasu TDR (ang. *Time Domain Reflectometry*) i metoda reflektometrii w domenie częstotliwości FDR (ang. *Frequency Domain Reflectometry*). Inne metody, polegające na wykorzystaniu tych zależności, to metoda ADR (*Reflektometria Domenowo-Amplitudowa*) oraz metoda TDT (*Time Domain Transmission*). Zastosowanie znajdują również tańsze urządzenia oparte na pomiarze oporności elektrycznej gleby (tzw. rezystancyjne). Urządzenia te charakteryzują się jednak mniejszą dokładnością i dużo mniejszą trwałością.

Do pomiaru wilgotności gleby można też zastosować urządzenia przenośne lub zainstalowane na stałe w glebie (na wybranych głębokościach). Urządzenia przenośne (fot. 18) wymagają zaangażowania personelu, który powinien przyjeżdżać na obiekt i dokonywać regularnych pomiarów w określonych punktach pomiarowych. Takie pomiary wymagają każdorazowo wykonania odkrywki glebowej w celu określenia wilgotności w profilu glebowym. Najbardziej rozpowszechnione są zestawy pomiarowe składające się z sondy i czytnika.



Fot. 18. Przenośny zestaw do pomiaru wilgotności gleby (sonda wilgotności i czytnik) (fot. E. Bolewski)

Niektóre modele czytników mają możliwość rejestracji wyników pomiarów. Pomiar polega na wprowadzeniu prętów pomiarowych sondy wilgotności w ściankę odkrywki glebowej (na wybranych głębokościach, np. 10 cm, 20 cm, 30 cm). Wskazane jest kilkukrotne powtórzenie pomiaru i obliczenie średniej wartości wilgotności dla danej głębokości. Na rynku dostępne są przenośne zestawy pomiarowe, które składają się z sondy profilowej i czytnika oraz dodatkowo zestawu rur (wykonanych z tworzywa sztucznego) umieszczanych na stałe w glebie. Pomiar polega na wprowadzeniu przenośnej sondy profilowej do rury i uruchomieniu czytnika. W ten sposób uzyskuje się wartości wilgotności gleby na poszczególnych głębokościach (np. 10, 20, 30, 40, 50 cm). Następnie sonda jest wyciągana z rury i osoba wykonująca pomiar może przenieść się na inny punkt pomiarowy.

W przypadku zarządzania zasobami wodnymi i planowania działań nawodnieniowych/odwodnieniowych w trybie operacyjnym, najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie urządzeń automatycznych zainstalowanych na stałe w glebie. Ich zastosowanie pozwala na zmniejszenie

obciążenia personelu zaangażowanego w pomiary i ogranicza czasochłonność prac w ramach prowadzenia monitoringu. Urządzenia automatyczne umożliwiają prowadzenie regularnych pomiarów ze znacznie mniejszym krokiem czasowym (np. kilka razy na dobę), a wykonywanie pomiarów nie wymaga wielokrotnego naruszania gleby.

Na rynku dostępne są dwa główne rodzaje automatycznych zestawów do pomiaru wilgotności gleby. Pierwszym rodzajem jest zestaw składający się z czujników (najczęściej kilku) i rejestratora danych. Czujniki posiadają pręty pomiarowe (fot. 19.), które wprowadza się na stałe w ściankę odkrywki glebowej. Następnie odkrywkę zakopuje się. Głębokości na które wprowadza się czujniki zależą od miąższości gleby i od głębokości systemów korzeniowych roślin (głębokości instalacji czujników mogą być modyfikowane stosownie do potrzeb użytkowników oraz w przypadku zmiany uprawianej rośliny na monitorowanym użytku). Rejestrator danych do którego podłączone są czujniki umieszcza się powyżej powierzchni gleby, niekiedy umieszcza się go w dodatkowej obudowie (np. w postaci rury z PCV, zamykanej od góry specjalną pokrywą). Drugim z dostępnych rozwiązań jest zestaw składający się z sondy profilowej i rejestratora danych (fot. 20 i 21). Dobór długości sondy zależny jest od potrzeb użytkowników. Instalacja zestawu polega na wywierceniu w glebie otworu, którego średnica i głębokość odpowiadają wymiarom sondy. Następnie zainstalowaną sondę łączy się z rejestratorem. Podobnie jak w pierwszym rozwiązaniu rejestrator można umieścić w dodatkowej obudowie. Istnieje możliwość zastosowania rejestratorów wyposażonych w moduły transmisji danych. Dzięki temu dane pomiarowe są przesyłane automatycznie na serwer i są dostępne zdalnie. Ich zastosowanie pozwala na ograniczenie liczby wyjazdów na obiekt objęty monitoringiem (nie ma potrzeby bezpośredniego podłączania komputera do rejestratora aby pozyskać dane pomiarowe). Dostępne na rynku rejestratory mają możliwość konfiguracji częstotliwości pomiarów i wysyłki danych na serwer.



Fot. 19. Czujnik wilgotności
przed instalacją w glebie (fot. E. Bolewski)



Fot. 20. Sonda profilowa wilgotności



Fot. 21. Rejestrator danych wilgotności gleby z możliwością zdalnego przesyłu danych, zamknięty w kropłoszczelnej obudowie (fot. E. Bolewski)

Ceny przykładowych zestawów pomiarowych wynoszą orientacyjnie (2025 rok):

- a) Przenośny zestaw do pomiaru wilgotności gleby, który składa się z sondy i czytnika danych: 4–5 tys. zł.
- b) Czujniki (4 szt.) wilgotności gleby wraz z rejestratorem danych zasilanym energią słoneczną i z możliwością zdalnej transmisji danych: 6–8 tys. zł. W cenę najczęściej wlicza się roczny abonament na przesyłanie danych i dostęp do serwera.
- c) Czujniki pomiaru wilgotności i temperatury wraz z rejestratorem danych (pomiar na dwóch wybranych głębokościach): 6 tys. zł.
- d) Sonda profilowa (pomiar wilgotności gleby na kilku poziomach: np. 10, 20, 30, 50 i 100 cm) z rejestratorem danych i modemem: 8–15 tys. zł. W cenę wlicza się roczny abonament na przesyłanie danych i dostęp do serwera.

Uzyskane dzięki systemowi monitoringu dane dotyczące wilgotności gleby w wybranych punktach mogą być zastosowane jako dane wejściowe do oprogramowania służącego do operacyjnego sterowania nawodnień podsiąkowych i odwodnień. Można je również zastosować do kalibracji i walidacji oprogramowania stosowanego w symulacjach procesów ruchu wody na użytkach rolnych.

4.3. Monitoring meteorologiczny

Informacje na temat warunków pogodowych są niezbędne do skutecznego zarządzania zasobami wody na obiekcie melioracyjnym. Warunki te odgrywają istotną rolę w kształtowaniu się bilansu wodnego użytków rolnych i tempa rozwoju roślin.

Ze względu na zmienność przestrzenną parametrów meteorologicznych (szczególnie sum opadów) nie zawsze możliwe jest uzyskanie wyników z istniejących sieci pomiarowych (np.

IMGW), które dobrze oddają warunki panujące na obiekcie melioracyjnym. W przypadku braku stacji meteorologicznej zlokalizowanej w pobliżu interesującego nas obiektu melioracyjnego (np. w tej samej gminie), wskazana jest instalacja stacji meteorologicznej (fot. 22) na terenie obiektu lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie.

Obecnie istnieje szeroki wybór stacji automatycznych, w tym możliwość doboru odpowiednich jej elementów. Stacje tego typu wymagają najczęściej tylko okresowych wizyt kontrolno-konserwacyjnych (np. sprawdzenie czystości czujników promieniowania słonecznego, czyszczenie wlotu deszczomierza). Dostępne na rynku stacje meteorologiczne posiadają wydajne ogniwa słoneczne, które umożliwiają poprawną ich pracę nawet w warunkach zimowych.

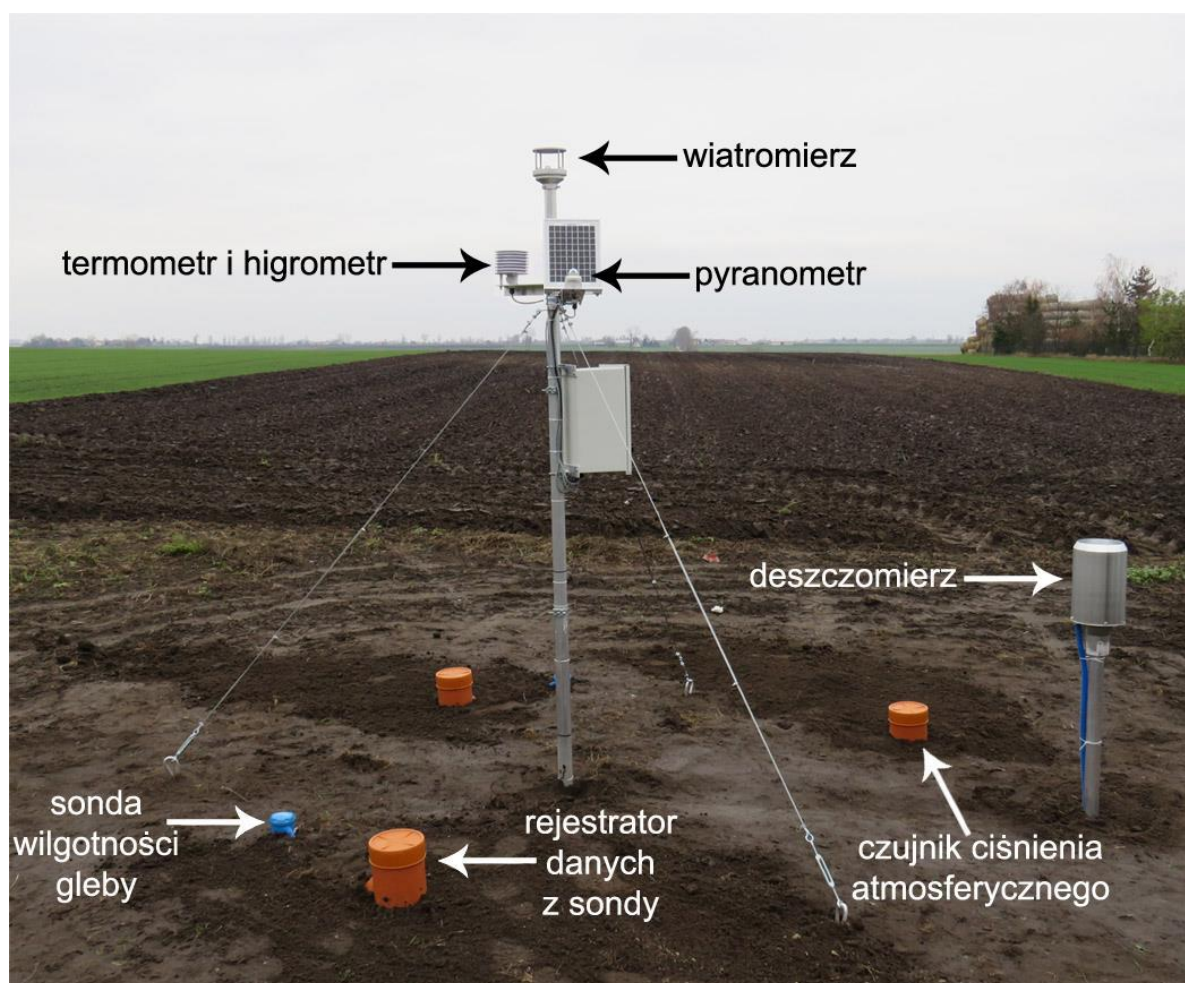
Stację należy zlokalizować na otwartej, równej powierzchni, pokrytej krótką trawą. Miejsce instalacji stacji powinno być z dala od budynków, drzew, zbiorników wodnych i innych obiektów, które mogą wywierać bezpośredni wpływ na wyniki pomiarów.

Stacja meteorologiczna powinna zawierać następujące przyrządy pomiarowe: anemometr (prędkość wiatru), termometr (temperatura powietrza), higrometr (wilgotność względna powietrza), pyranometr (strumień energii słonecznej), deszczomierz (suma opadu atmosferycznego). Anemometr, termometr, higrometr i pyranometr powinny być zainstalowane na wys. 2 m nad poziomem gruntu, natomiast powierzchnia odbiorcza deszczomierza powinna znajdować się na wysokości 1 m. Wymienione wyżej przyrządy podłączone są do rejestratora danych, z którego można pobrać dane za pomocą kabla bezpośredniego odczytu. Istnieje również możliwość zastosowania modułu pozwalającego na zdalną transmisję danych pomiarowych.

Standardowo rejestracji podlegają średnie godzinne wartości prędkości wiatru, temperatury powietrza, wilgotności powietrza, promieniowania słonecznego oraz godzinne sumy opadów atmosferycznych. Taka częstotliwość pomiarów jest wystarczająca do większości potrzeb użytkowników stacji. Częstotliwość rejestracji danych może być zmieniana w zależności od aktualnych wymagań użytkowników.

Ceny przykładowych automatycznych stacji meteorologicznych są bardzo zróżnicowane i orientacyjnie wynoszą (2025 rok):

- a) Stacja meteorologiczna z funkcją transmisji danych, wyposażona w termometr, higrometr, anemometr i deszczomierz (zasilanie stanowi bateria słoneczna): 4–5 tys. zł;
- b) Stacja meteorologiczna z funkcją transmisji danych, wyposażona w termometr, higrometr, anemometr, czujnik promieniowania słonecznego i deszczomierz (zasilanie stanowi bateria słoneczna): 5–6 tys. zł;
- c) Stacja meteorologiczna z wydajnym panelem słonecznym, baterią podtrzymującą i wbudowanym modułem GSM. Wyposażona w termometr, higrometr, anemometr ultradźwiękowy, czujnik promieniowania słonecznego, deszczomierz oraz barometr, opcjonalnie w inne czujniki (np. wilgotności gleby). Czujniki są indywidualnie kalibrowane, aby zapewnić bardzo wysoką dokładność pomiarów. Wytrzymała konstrukcja mechaniczna stacji, dostosowana jest do pracy w trudnych warunkach: 16–22 tys. zł.



Fot. 22. Automatyczna stacja meteorologiczna zlokalizowana w pobliżu obiektu drenarskiego Kolonia Bodzanowska (fot. E. Bolewski)

Uzyskane wyniki monitoringu meteorologicznego mogą być zastosowane jako dane wejściowe do oprogramowania służącego do operacyjnego planowania nawodnień podsiąkowych i odwodnień, w szczególności do obliczania wielkości ewapotranspiracji na interesującym nas użytku rolnym. Aktualne dane meteorologiczne w połączeniu z prognozami pogody mogą posłużyć w planowaniu prac agrotechnicznych w gospodarstwie oraz m.in. do oceny możliwości wystąpienia chorób roślin.

4.4. Monitoring natężenia przepływu wody

Wiedza o wielkości natężenia przepływu wody dopływającej do i odpływającej z obiektu melioracyjnego jest kluczowa do prowadzenia operacyjnego planowania nawodnień i odwodnień. Monitoring przepływu natężenia wody w wybranych punktach (cieki będące źródłem wody do nawodnień, wpusty, upusty, węzły) pozwala na uzyskanie danych charakteryzujących warunki początkowe do obliczeń bilansu wodnego oraz do przygotowywania prognoz hydrologicznych.

W praktyce możliwe są pomiary wykonywane na istniejących budowach piętrzących. Po niewielkiej adaptacji tych budowli, instaluje się specjalne urządzenia pomiarowe i regulacyjne. Są to ruchome zestawy przelewów, koryta i nasadki pomiarowe. Jest to tzw. metoda hydrauliczna pomiaru natężenia przepływu. Zestaw przelewów został opisany w rozdziale 3.

Można również wykonywać pomiary metodami hydrometrycznymi poprzez pomiar pola powierzchni przekroju czynnego cieką i prędkości płynącej w nim wody. Wtedy natężenie przepływu jest iloczynem tych dwóch wielkości.

Pomiary prędkości przepływu wody wykonuje się w wybranych przekrojach hydrometrycznych na ciekach, doprowadzalnikach i rowach melioracyjnych. Najczęściej stosowanymi do tego celu przyrządami są tzw. młynki hydrometryczne. Młynki hydrometryczne pozwalają na punktowy pomiar prędkości przepływu. Pomiar wymaga najczęściej udziału dwóch osób. Jedna z nich utrzymuje młynek w danym punkcie pionu hydrometrycznego, zaś druga prowadzi odczyt wyników. Uzyskane wartości prędkości przepływu w określonych pionach hydrometrycznych są podstawą do obliczenia natężenia przepływu wody (m^3/s) w całym przekroju koryta.

Na rynku dostępne są dwa podstawowe rodzaje młynków hydrometrycznych. Pierwszym rodzajem są młynki wirnikowe (mechaniczne). Dobór modelu urządzenia i średnica wirnika zależy od wielkości cieką na którym planuje się pomiary. Zestaw pomiarowy składa się z młynka mocowanego do stalowej nierdzewnej tyczki oraz czytnika obrotów wirnika. Pomiar prędkości przepływu polega na zliczeniu ilości obrotów wirnika w określonym czasie. Następnie stosuje się specjalne równanie dedykowane do konkretnego modelu młynka i zastosowanego wirnika. Niektóre droższe modele młynków wirnikowych obliczają prędkość przepływu automatycznie i prezentują jej wartość na wyświetlaczu. Oferują również możliwość zapisu wyników pomiarów w pamięci. Drugim rodzajem urządzeń są młynki elektromagnetyczne. Nie posiadają one ruchomych elementów. Zestaw pomiarowy składa się z sensora mocowanego do stalowej nierdzewnej tyczki oraz czytnika z funkcją rejestracji danych. Płaski sensor pomiarowy pozwala na pomiar prędkości w mniejszej objętości cieczy. Dzięki temu, możliwy jest pomiar w płytszych ciekach niż tradycyjnymi młynkami wirnikowymi. Urządzenia tego rodzaju mierzą prędkość przepływu z większą dokładnością i są bardziej czułe na jego zmiany niż młynki mechaniczne. Niewątpliwą zaletą tego rodzaju urządzeń jest możliwość bezpośredniego odczytu prędkości przepływu z ekranu wyświetlacza.

W monitoringu natężenia przepływu wody znajdują zastosowanie urządzenia automatyczne, które montuje się na stałe w wybranych częściach obiektów melioracyjnych. Przykładem takich urządzeń są ultradźwiękowe sensory prędkości przepływu wody, wykorzystujące efekt Dopplera. Urządzenia tego rodzaju montowane są najczęściej w wąskich betonowych korytach, rurach odpływowych lub betonowych wlotach/wylotach w obrębie systemów melioracyjnych. Mogą być to np. wyloty wód z sieci drenarskiej do rowów odpływowych. Zestaw pomiarowy składa się z czujnika pomiaru prędkości wody, modułu zasilającego oraz modułu rejestrującego i przetwarzającego dane.

Pojedynczy sensor mierzy średnią prędkość strumienia cieczy w całym wybranym przekroju poprzecznym. Zaletą tej metody pomiaru jest więc brak konieczności montażu wielu czujników w badanym przekroju. Powierzchnię przekroju poprzecznego określa się poprzez pomiar głębokości strumienia za pomocą integralnego czujnika ciśnienia. Przy wprowadzeniu odpowiednich parametrów charakteryzujących badany przekrój możliwe jest automatyczne uzyskanie wartości natężenia przepływu wody. Istnieje również możliwość współpracy takich zestawów pomiarowych z urządzeniami do automatycznego poboru prób wody. Zestaw pomiarowy pozwala na podgląd bieżących wartości prędkości przepływu, natężenia przepływu i stanu wody.

W wyniku wielokrotnych pomiarów natężenia przepływu wody oraz jej stanu można opracować zależność między tymi wielkościami. Zależność ta nazywa się krzywą natężenia przepływu (dawniej krzywa konsumcyjna). Na podstawie tej zależności, znając stan wody w cieku, można oszacować natężenie przepływu płynącej w nim wody.

5. Gleboznawstwo melioracyjne trwałych użytków zielonych (E. Kaca)

Do czynników warunkujących skuteczność gospodarowania wodą (skuteczność regulacji stosunków powietrzno-wodnych gleb) na zmeliorowanych trwałych użytkach zielonych (TUZ) zalicza się właściwości fizyko-wodne gleb tych użytków. Na ich podstawie można ustalić charakterystyczne głębokości zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu nazywane normami odwodnień, retencję użyteczną gleb, dawki nawodnieniowe (polewowe), zapotrzebowanie na wodę do nawodnień itp.

Zasady regulacji stosunków powietrzno-wodnych gleb można opracować w oparciu o wiedzę z fizyki wody glebowej. W tym przypadku wykorzystuje się charakterystyki fizyczno-wodne (krzywe pF), krzywe przewodnictwa wodnego itp.) oraz modelowanie matematyczne. Bardziej praktyczne i dobrze opracowane są również gleboznawcze procedury postępowania, prowadzące najpierw do ustalenia rodzaju danej gleby i jej przynależności do określonego kompleksu wilgotnościowo-glebowego oraz typu zasilania jej w wodę, a następnie do przypisania glebie takich szczegółowych zasad regulacji stosunków wodnych, w tym dopuszczalnych głębokości odwadniania (tzw. norm odwodnienia), które powinny być stosowane w danym kompleksie czy siedlisku. Metody gleboznawcze stosuje się do gleb pod trwałymi użytkami zielonymi, w szczególności zaś do gleb hydrogenicznych, tj. gleb bagiennych mułowych i torfowych oraz gleb pobagiennych murszowych i murszowatych. Można je również stosować do gleb semihydrogeniczych, w szczególności do czarnych ziem oraz do gleb napływowych, w szczególności aluwialnych (mad rzecznych). W dalszej części gleby semihydrogeniczne będziemy zaliczać do gleb hydrogenicznych, a więc do gleb których proces glebotwórczy był silnie kształtowany przez wodę.

5.1. Rodzaje gleb trwałych użytków zielonych

Od 2019 r. obowiązuje szóste wydanie systematyki gleb Polski według Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego. Systematyka ta ma hierarchiczną budowę dla jednostek na wyższym poziomie podziału (rzędy, typy i podtypy), zaś niehierarchiczną na niższym poziomie podziału (odmiany, rodzaje i gatunki). Jednostką klasyfikacyjną gleb obejmującą gleby o takim samym układzie poziomów glebowych i zbliżonych właściwościach fizycznych, chemicznych i biologicznych jest typ gleby.

Gleboznawstwo melioracyjne dotyczy rodzajów gleb hydrogenicznych (glejowych, bagiennych, murszowych, czarnych ziem i gleb napływowych - mad) i zostało wprowadzone m. in. w celu określania zasad regulacji stosunków wodnych gleb, w tym wyznaczenia norm odwodnień. Podstawę tego gleboznawstwa stanowią wieloletnie i kompleksowe wyniki badań gleb hydrogenicznych prowadzone w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach (IMUZ). Zgodnie z tymi wynikami

określanie rodzaju gleby oraz zasad regulacji stosunków wodnych rozpatrywanej gleby rozpoczyna się od opisu diagnostycznego warstw jej profilu glebowego (OKRUSZKO, 1994):

- warstwy korzeniowej (K) o miąższości 0–30 cm,
- pierwszej warstwy podścielającej (T1) o miąższości 30–80 cm oraz
- drugiej warstwy podścielającej (T2) o miąższości 80–130 cm.

W warstwie korzeniowej określa się zachodzący proces glebotwórczy, rodzaj utworu glebowego (materiału macierzystego) oraz stopień zaawansowania procesu glebotwórczego.

Ze względu na zachodzący proces wyróżnia się gleby glejowe oznaczone symbolem **G**, bagienne – **P**, murszowe – **M**, czarne ziemie – **D** oraz gleby napływowe, głównie mady – **F**.

Utworem glebowym, czyli materiałem macierzystym który charakteryzuje się cechami i właściwościami związanymi z litogenezą (a nie z procesem glebotwórczym - pedogenezą), gleb hydrogenicznym wg OKRUSZKI (1994) może być:

- utwór próchnicowy (**i**), silnie zhumifikowany, zawierający do 10% humusu. Powstaje w podmokliskach,
- utwór torfiasty (**e**), zawierający 10–20% humusu i śladowe ilości roślinnego włókna. Powstaje w podmokliskach,
- utwór torfowy (**t**), zawierający 5–95% włókna roślinnego i humus. Mogą być domieszki mineralne mułowe i CaCO_3 . Powstaje w siedliskach torfowych,
- utwór mułowy (**m**), zawierający zwykle humus otoczony przez drobną (koloidalną) zawiesinę, tworzący kompleks organiczno-mineralny (20–60%), mogą być wstawki mineralnego mułu o różnej granulometrii, możliwy jest dodatek CaCO_3 . Powstaje w mułowiskach,
- utwór gytiowy (**gy**), zawierający detrytus wodnego pochodzenia, CaCO_3 , dodatki mineralnych resztek (muł) zwykle o bardzo drobnym uziarnieniu (frakcja gliny). Powstaje na dnie płytkich jezior,
- utwór namułowy (**nm**) jako materia mułowa osadzana przez wodę, o różnej granulometrii, zawierający do 20% humusu. Powstaje w stanowiskach aluwialnych (namuliskach).

Proces tworzenia utworów może być bardzo złożony. W jego wyniku mogą powstawać nie tylko w/w utwory jednorodne (właściwe) lecz również utwory niejednorodne mieszane albo warstwowane (tab. 9).

Tabela 9. Rodzaje utworów torfowych i mułowych z uwzględnieniem domieszki innych utworów glebowych (OKRUSZKO, 1994)

Jednorodne (właściwe)		Niejednorodne			
		mieszane		warstwowane	
Nazwa	symbol	nazwa	symbol	nazwa	symbol
Torfy	t	torfy:		torfy:	
		- zamulone	tz	- torfowo-mułowe	tm
		- namulone	tn	- torfowo-namulone	tnm
		- zagytnione	tg	- torfowo-gytiowe	tgy
Muły	m	muły:		muły:	
		- namulone	mn	- mułowo-namulowe	mm
		- zagytnione	mg	- mułowo-gytiowe	mgy

Dla gleb bagiennych i murszowych stopień (stadium) zaawansowania procesu glebowego (zabagnienie, murszenie) określa się w skali trzystopniowej (I – niski, II – średni, III – wysoki (im wyższy stopień tym wyższe stadium zaawansowania procesu)).

W warstwie podścielającej T1 i T2 gleb torfowych oznacza się stopień rozkładu torfu oraz jego strukturę. Wyróżnia się torf:

- włóknisty (**a**) – z przewagą torfu słabo rozłożonego R1. Przy wyciskaniu torfu w dłoni wydziela się woda czysta, bezbarwna albo lekko żółtawa albo brunatnoszara, mętna a torf nie przechodzi między palcami,
- mozaikowy (**b**) – z przewagą torfu średnio rozłożonego R2. W torfie struktura roślinna jest niewyraźna, wyciska się między palcami do 1/3 masy torfu,
- amorficzny (**c**) - z przewagą torfu silnie rozłożonego R3. W torfie struktura roślinna jest niewyraźna lub jej brak, wyciska się między palcami co najmniej 1/2 masy torfu.

W glebach gytiowych dominujący rodzaj utworu wynika z rodzaju gytii, określonego zawartością w niej detrytusu, węglanu wapnia i części ilastych. Warstwę określa się jako gytiovą organiczną (h), mineralno-organiczną (k) lub mineralną (c).

Warstwy z utworów torfowo-namułowych i torfiastych, zasobnych w części mineralne o bardzo zbliżonych właściwościach określa się symbolem **e**.

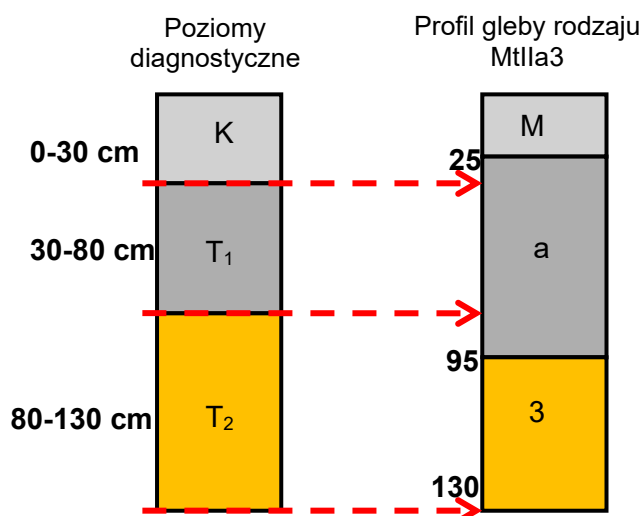
Jeżeli warstwa murszu zalega bezpośrednio na utworze mineralnym to nie identyfikuje się utworu macierzystego w poziomie K. Fakt ten oznacza się symbolem **r**, dając symbol Mr temu poziomowi. Są to gleby mineralno-murszowe.

W glebach z utworów mineralnych (czarnych ziem – D, mad – F) oraz z utworów mineralno-organicznych (mineralno-murszowych) – Mm, murszowatych właściwych – Me rodzaj utworu podścielającego określa się na podstawie składu granulometrycznego. Wydziela się cztery podstawowe rodzaje utworów mineralnych z odpowiednimi symbolami:

- bardzo lekkie (**1**), np. piasek luźny (pl), piasek słabo gliniasty (psg),
- lekkie (**2**), np. piasek gliniasty lekki (pgl), piasek gliniasty mocny (pgm),
- średnie (**3**), np. glina lekka (gl), glina średnia (gs), pył zwykły (plz),
- ciężkie (**4**), np. pył ilasty (pli), glina ciężka (gc), il (i).

Informacje uzyskane z całego profilu są kodowane za pomocą odpowiednich symboli, np. MtIIbc, Mm33, Me12, MtmItm1, F33, D33 (rys. 13). Dwa końcowe symbole informują o charakterze warstw podścielających T1 i T2. Przykładowo zapis bc oznacza, że w warstwie T1, tj. na głębokości od 30 do 80 cm przeważa i decyduje o właściwościach gleby torf mozaikowy (średnio rozłożony), głębiej, tj. w warstwie T2 (od 80 do 130 cm) – torf amorficzny (silnie rozłożony). Zapis 33 informuje, że obie warstwy podścielające (T1 i T2) są zbudowane z utworów mineralnych średnich (3), zaś zapis tm1, że w warstwie T1 występuje torf mułowy (tab. 9), a w T2 utwór bardzo lekki. Poprzez początkowe symbole kodu charakteryzuje się warstwę korzeniową (K). Zapis MtII informuje, że jest to gleba murszowa (M) wytworzona z torfu (t), o średnim (II) stadium zmurszenia. Zapis Mm oznacza, że jest to gleba mineralno-murszowa (murszowa wytworzona z mułu), Me – gleba murszowata właściwa (z utworów torfowo-namułowych i torfiastych), MtmI – gleba murszowa wytworzona z torfu mułowego w I stadium zmurszenia, F – mada, zaś D – czarna ziemia. Symbol MtIIbc wyraża informację, że jest to gleba torfowo murszowa w średnim stadium zmurszenia na torfie mozaikowym,

średnio rozłożonym podeszłym przez torf amorficzny silnie rozłożony. Z kolei symbol Mm33 oznacza glebę mineralno-murszową na utworze średnim, itp.



Rys. 13. Warstwy diagnostyczne gleb hydrogenicznych, naniesione na profil gleby rodzaju Mtila3

Gleby torfowo-murszowe słabo zmurszałe (MtI) występują na obszarach słabo odwodnionych, w których poziom wód gruntowych utrzymuje się stosunkowo blisko powierzchni. Miąższość poziomu murszowego M określa zasięg korzeni traw i nie przekracza 20 cm. Poziom murszu jest silnie związany z korzeniami roślin, wśród których widoczne są storfiące włókna roślin oraz słabo rozziarniony mursz. Gleby torfowo-murszowe średnio zmurszałe (MtII) występują na torfowiskach odwodnionych co najmniej przed kilkunastu laty i użytkowanych jako trwałe użytki zielone. Miąższość poziomu murszenia M przekracza zasięg korzeni traw i wynosi od 25 do 35 cm. Często mursz w tych glebach w stanie suchym ma postać ziaren wyraźnie oddzielających się od siebie. Gleby torfowo-murszowe silnie zmurszałe (MtIII) występują na terenach dawno i mocno odwodnionych torfów silnie rozłożonych. Miąższość murszu może przekraczać niekiedy 45 cm. W części zmurszałej profilu wyróżnić można wyraźnie wykształconą strukturę agregatową, szczególnie w warstwie dolnej agregaty są zwykle pryzmatyczne, ostrokrawędziowe, luźno ułożone.

5.2. Progностyczne kompleksy wilgotnościowo-glebowe (PKWG)

W celu określenia zasad melioracji i gospodarowania wodą na trwałych użytkach zielonych, a więc również określenia norm odwodnienia, glebę, na podstawie kodu jej właściwości, klasyfikuje się do jednego z siedmiu progностycznych kompleksów wilgotnościowo-glebowych (PKWG): mokrego (A), okresowo mokrego (AB), wilgotnego (B), okresowo-posusznego (BC), posusznego (C), okresowo suchego (CD) oraz suchego (D) (tab. 10). Zawarty w nazwie tych kompleksów określnik „progностyczne” ma znaczenie historyczne, gdyż grupowanie gleb hydrogenicznych w kompleksy wilgotnościowo-glebowe było prowadzone na potrzeby badań przedprojektowych gleb nieprzeobrażonych przewidzianych do melioracji.

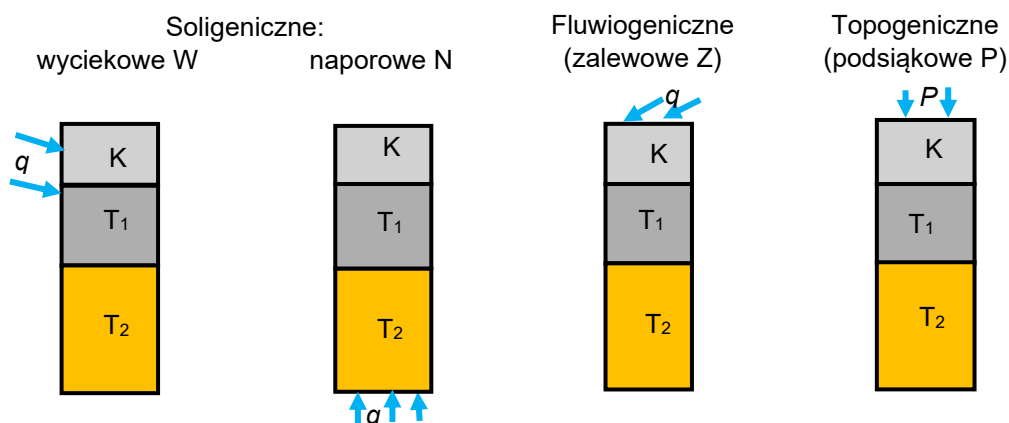
Tabela 10. Podział zmeliorowanych gleb hydrogenicznych na prognostyczne kompleksy wilgotnościowo-glebowe (wg OKRUSZKI 1994)

Prognostyczny kompleks wilgotnościowo-glebowy	Gleby organiczne – miąższość warstwy organicznej, cm			Gleby mineralno-organiczne (Mm, Me)	Gleby mineralne (D, F)
	głębokie > 130	średnie 80–130	płytkie 30–80		
A – mokry	MtIaa	–	–	–	–
AB – okresowo mokry	MtIab, MtIba, MtIIaa	–	–	–	–
B – wilgotny	MtIbb, MtIIab, MtIIba, MtIIbb	MtIaa, MtIab, MtIba, MtIbb, MtIIaa	MtIa3	–	–
BC – okresowo posuszny	MtIac, MtIbc, MtIIac, MtIIbc, MtIIba	MtIac, MtIbc, MtIIab, MtIIac, MtIIba, MtIIbb, MtIIbc	MtIa4, MtIb3, MtIIa3, MtIIb3	Mm33, Mm34, Mm43, Mm44, Me33, Me34, Me43, Me44	D, F 33, 34, 43, 44
C – posuszny	MtIIca, MtIIcb, MtIIcc, MtIIbb, MtIIbc, MtIIca, MtIIcb, MtIIcc	MtIIca, MtIIcb, MtIIcc, MtIIba, MtIIbb, MtIIbc, MtIIca, MtIIcb	MtIa2, MtIa1, MtIb4, MtIb2, MtIb1, MtIIa4, MtIIa2, MtIIa1, MtIIb4, MtIIb2, MtIIc3, MtIIb3, MtIIc3	Mm23, Mm24, Mm32, Mm42, Me23, Me24, Me32, Me42	D, F 23, 32, 24, 42
CD – okresowo suchy		MtIIcc	MtIIb1, MtIIc4, MtIIc2, MtIIc1, MtIIb4, MtIIb2, MtIIb1, MtIIc4, MtIIc2, MtIIc1	Mm11, Mm12, Mm13, Mm14, Mm21, Mm22, Mm31, Me12, Me13, Me14, Me21, Me22, Me31, Me41	D, F 13, 12, 14, 21, 22, 31, 41
D – suchy	–	–	–	Mm11, Me11	D11, F11

5.3. Typy hydrologicznego zasilania gleb łąkowych w wodę (THZ)

O skuteczności gospodarowania wodą na użytkach zielonych, oprócz właściwości retencyjnych i zdolności przewodzenia wody, decyduje również intensywność dopływu wody i występowanie wody gruntowej w siedlisku. Wyróżnia się trzy typy hydrologicznego zasilania (THZ) w wodę siedlisk łąkowych (OKRUSZKO, 1994, DEMBEK, OŚWIT, 1992) (rys. 14):

- soligeniczny – siedlisko zasilane jest głównie w wodę gruntową dopływającą z zewnątrz o zwierciadle swobodnym (podtyp – soligeniczny wyciekowy W) lub napiętym (podtyp – soligeniczny naporowy N). W tych przypadkach intensywność zewnętrznego zasilania w wodę może wynosić $q = 1 \div 2 \text{ mm/d}$;
- fluwiogeniczny (zalewany Z) – siedlisko zasilane jest w wodę z zalewów wiosennych.
- topogeniczny (podsiąkowy P) – siedlisko zasilane jest głównie wodą opadową i w mniejszym stopniu wodą gruntową. Zwierciadło wody gruntowej jest poziome lub z niewielkim spadkiem, a gospodarka wodna opiera się na zasobach wody własnej i na efektywnym podsiąku kapilarnym ze strefy nasyconej.



Rys. 14. Schematy profili glebowych z wyróżnionymi typami hydrologicznego zasilania (THZ) w wodę siedlisk łąkowych. Oznaczenia dominujących strumieni wody:
 q – strumień wody gruntowej, P – strumień wody opadowej (Oprac. E. Kaca)

5.4. Potencjalne hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe (PHSW)

Poprzez połączenie PKWG i THZ utworzono potencjalne hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe (PHSW) trwałych użytków zielonych (tab. 11), którym przypisano odpowiednie charakterystyki oraz zasady melioracji i gospodarowania wodą. Takie charakterystyki i zasady zostały opracowane przez wielu autorów.

Przykładowo z badań SZUNIEWICZA i in. (1994) wynika, że gleby kompleksu A i B (AB) są utworzone z torfu włóknistego (a) albo z mozaikowego (b) i znajdują się w I albo II stadium murszenia (tab. 10). Charakteryzują się małą gęstością i znaczną zawartością wody. W warstwie korzeniowej (0–30 cm) zawartość wody jest z reguły większa niż 85%, natomiast poniżej tej warstwy wilgotność dochodzi do 92-94% objętości. Z uwagi na małą ilość makroporów gleby te, nawet w warstwie korzeniowej, charakteryzują się niskim napowietrzeniem, w większości mniejszym niż 15% objętości, jak również intensywnym podsiąkiem kapilarnym. Gleby te są ciągle bardzo wilgotne, głównie z powodu soligenicznego naporowego (N) i wysiękowego (W) zasilania w wodę (tab. 11) oraz wysokiego podsiąku kapilarnego. Maksymalny zasięg podsiąku wynosi 140 cm dla gleb rodzaju Mtlab (kompleks AB) i 170 cm dla gleb Mtlaa (kompleks A). Poziom wody gruntowej nigdy nie obniża się poniżej maksymalnej normy odwodnienia, która wynosi $z_3 = 110$ cm dla Mtlab i 120 cm dla Mtlaa. Zawartość powietrza w korzeniowej warstwie (0–30 cm) wynosi 6, 8 i 10% przy głębokości zwierciadła wody gruntowej odpowiednio 35, 50 i 80 cm, rekomendowanych jako normy odwodnienia z_1 , z_2 i z_{opt} .

Tabela 11. Zasady wyróżniania potencjalnych hydrogenicznych siedlisk wilgotnościowych (PHSW) (Okusko 1994)

Typy hydrologicznego zasilania	Prognostyczne kompleksy wilgotnościowo-glebowe*						
	A	AB	B	BC	C	CD	D
Soligeniczny naporowy N	NA	NAB	Nb	–	–	–	–
Soligeniczny wyciekowy W	WA	WAB	WB	Wbc	Wc	–	–
Topogeniczny podsiąkowy P	Pa	Pab	PB	PBC	PC	Pcd	Pd
Fluwiogeniczny zalewowy Z	–	–	Zb	Zbc	Zc	Zcd	Zd

* Typowe podrodzaje PHSW opisywane są dużą literą, korespondującą z rodzajem PKWG, natomiast mniej typowe, a także mniej prawdopodobne co do ich występowania – małą literą

5.5. Graniczne stany uwilgotnienia gleb

Wyróżnia się trzy charakterystyczne stany uwilgotnienia korzeniowej warstwy gleby: stan uwilgotnienia nadmiernego, dostatecznego i niedostatecznego. Gleba znajduje się w stanie nadmiernego uwilgotnienia, gdy w jej warstwie korzeniowej brakuje tlenu (powietrza). Dla traw minimalny zapas powietrza w glebie, czyli w przestrzeni nie zajętej przez wodę i fazę stałą gleby, powinien wynosić najmniej 8% objętości gleby, ale dopuszcza się 6%. W przypadku roślin polowych minimalna zawartość powietrza w korzeniowej warstwie gleby wynosi 10%.

Wg badań IMUZ, w szczególnych przypadkach, np. potrzeby magazynowania wody w glebie w celu jej późniejszego wykorzystania, można dopuścić do płytkich 10–20-dniowych zalewów lub podtopień łąk w okresie wiosny. Zabieg ten nie powoduje wyraźnej obniżki plonu, jednak łąki wymagają intensywnego nawożenia NPK, najlepiej po obniżeniu wody gruntowej do 15–20 cm poniżej powierzchni terenu. Dopiero podtopienia długotrwałe, 30-40-dniowe, wyraźnie opóźniają rozwój traw i powodują spadek plonu. Nie należy obawiać się naturalnych zalewów łąk w okresie zimowym i wczesnowiosennym oraz kilkudniowych latem po zbiorze traw, gdyż nie przynoszą one większych szkód a nawet mogą powodować użyźnianie gleby, przez co zmniejszają potrzebę nawożenia. Natomiast należy unikać podtapiania łąk wyrosniętych, czyli w drugiej połowie odrostu.

Gleba znajdująca się w stanie niedostatecznego uwilgotnienia zawiera wodę, która jest silnie związana z fazą stałą gleby, a przez to trudno dostępna dla roślin. Pobieranie takiej wody z gleby, np. przez korzenie roślin, związane jest z jej „odsysaniem”, czyli wykonaniem pracy przez rośliny lub inaczej: użyciem dużego ciśnienia ssącego, tym większego im niższe uwilgotnienie gleby. Wskaźnikiem tego ciśnienia jest tzw. pF. Wartości pF większej od 2,7 (lub 3,0) odpowiada woda trudno dostępna dla roślin, a więc niedostatek uwilgotnienia, a wartości pF powyżej 4,2 – woda niedostępna dla roślin. Wskaźnik pF jest parametrem funkcyjnym danej gleby, gdyż jego wartość nie jest stała, lecz zależy od ilości wody w glebie.

5.6. Normy odwodnień

W gospodarce wodnej na trwałych użytkach zielonych wyróżnia się cztery charakterystyczne głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu. Głębokości te nazywa się normami odwodnienia. Wyróżnia się **dwie szczegółowe minimalne normy odwodnienia, optymalną normę odwodnienia i maksymalną normę odwodnienia**.

Maksymalna norma odwodnienia (z_3) jest to taka głębokość zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu w okresie krytycznym (długotrwała susza atmosferyczna, co najmniej 2 tygodnie gorącej i bezopadowej pogody, wysoka ewapotranspiracja potencjalna), przy której w wyniku odwodnień i ewapotranspiracji roślin woda w korzeniowej warstwie gleby staje się trudno dostępna dla roślin. Przy tej głębokości zwierciadła wody gruntowej powinno się rozpoczynać nawodnienie podsiąkowe. Maksymalna norma odwodnienia zależy od rodzaju gleby, w szczególności zaś od jej zdolności retencyjnych i podsiąkowych. Im gleba ma większą zdolność do zatrzymywania wody (retencyjność) oraz im jest większy zasięg i intensywność podsiąku kapilarnego, tym większa jest wartość maksymalnej normy odwodnień, tym mniejsza potrzeba melioracji nawadniających. Wartość tej normy można wyznaczyć w oparciu o rozwiązania proponowane przez fizyków wody glebowej albo też na podstawie empirycznych

badan klasycznych gleboznawców. W oparciu o te badania opracowano prognostyczne kompleksy wilgotnościowo-glebowe i przypisano im wartości maksymalnej normy odwodnienia (tab. 12 i 13). Dla danego kompleksu wartość tej normy jest stała i nie zależy od typu hydrologicznego zasilania gleby w wodę.

Optymalna dla traw łąkowych i pastwiskowych norma odwodnienia z_{opt} to taka głębokość zwierciadła wody gruntowej, przy której w wyniku odcieku wody grawitacyjnej w korzeniowej warstwie gleby pozostaje 10% powietrza. Jej wartości są podane w tabelach 12 i 13.

Minimalne normy odwodnienia, oznaczane symbolami z_1 i z_2 , bierze się pod uwagę wyznaczając potrzebę i termin rozpoczęcia wiosennych poroztopowych i pozalewowych odwodnień oraz odwodnień w okresie wegetacji po długotrwałych opadach deszczu lub po letnich powodziowych wylewach rzek. Minimalna norma odwodnienia z_1 oznacza taką głębokość zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu, przy której w korzeniowej warstwie gleby średnio znajduje się 6% powietrza, a przy zwierciadle wody gruntowej na głębokości równej minimalnej normie odwodnienia z_2 8% powietrza. Minimalne normy odwodnienia zależą od odciekalności gleby (zawartości makroporów), a więc od zdolności gleby do oddawania wody. Im mniejsza odciekalność przy danym położeniu zwierciadła wody gruntowej, tym mniej powietrza w korzeniowej warstwie gleby, tym większe wartości minimalnych norm odwodnień i tym większa potrzeba odwodnień. Wartości norm z_1 i z_2 podano w tabelach 12 i 13. Wartości tu zawarte można traktować jako przybliżone normy końca odwodnień.

Tabela 12. Normy odwodnienia łąk na glebach torfowo-murszowych, mineralno-murszowych i murszowatych właściwych (wg SZUNIEWICZA 1979, 1994)

Prognostyczny kompleks wilgotnościowo-glebowy (PKWG)	Normy odwodnienia, cm			
	z_1	z_2	z_{opt}	z_3
A – mokry, AB – okresowo mokry	35	50	80	120
B – wilgotny	35	45	70	95
BC – okresowo posuszny	30	35	50	85
C – posuszny	25	30	35	60
CD – okresowo suchy	20	30	35	50

z_1 , z_2 , z_{opt} – głębokość (norma) odwodnienia zapewniająca w warstwie 0–30 cm zawartość powietrza odpowiednio 6%, 8% i 10%; z_3 – maksymalna norma odwodnienia, tj. taka największa głębokość zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu w okresie suszy, przy której wilgotność wierzchniej 0–30 cm warstwy korzeniowej gleby nie spada – w wyniku podsiąku kapilarnego – poniżej wartości wilgotności krytycznej

Tabela 13. Normy odwodnienia łąk na glebach mineralnych (wg IMUZ)

Prognostyczny kompleks wilgotnościowo-glebowy (PKWG)	Normy odwodnienia, cm			
	z_1	z_2	z_{opt}	z_3
BC – okresowo posuszny	70	90	90	100
C – posuszny, CD – okresowo suchy	50-60	60-70	60-70	70-90
D – suchy	30	40	40	50

Oznaczenia jak w tabeli 12.

5.7. Minimalna norma odwodnienia ($z_{\min}$)

Przez **minimalną normę odwodnień** $z_{\min}$ albo inaczej **normę końca odwodnienia** rozumie się takie położenie zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu, przy którym powinno nastąpić zakończenie odwadniania gleby po wiosennych roztopach, po długotrwałych (rozlewowych) opadach deszczu oraz po zalewie terenu przez letnie powódzie.

Z badań przeprowadzonych przez SZUNIEWICZA i in. (1994) wynika, że wartość tej normy powinna być uzależniona nie tylko od PKWG (tak jak uzależniono minimalne normy z_1 i z_2), ale również od typu hydrologicznego zasilania gleby w wodę (THZ). Obowiązuje ogólna zasada, że dany PKWG o mniej intensywnym zasilaniu w wodę, np. o zasilaniu topogenicznym charakteryzuje się minimalną normą odwodnienia o niższej wartości w stosunku do wartości minimalnej normy odwodnienia tego kompleksu, lecz o bardziej intensywnym zasilaniu w wodę, np. o zasilaniu soligenicznym wyciekowym czy naporowym (tab. 14 i 15).

Tabela 14. Zalecana minimalna norma odwodnienia ($z_{\min}$) /maksymalna norma odwodnienia (z_3) w cm gleb organicznych (oprac. E. Kaca na podstawie danych SZUNIEWICZA i in. (1994) zawartych w Załączniku)

Typy hydrologicznego zasilania	Rodzaj nawodnienia ¹⁾	Prognostyczne kompleksy wilgotnościowo-glebowe								
		A	AB	B	BC	C			CD	D
		MtIaa	MtIab, MtIIaa	MtIIbb, MtIIba	MtI-IIbc	MtIIcb, MtIIca	MtIIcc, MtIIcc(1)	MtIIIcc, MtIIIcb	MtIIc1, MtIIIc1	MtmI1m1, MtmII1m2, MmII1m1
Soligeniczny naporowy (N) $z q = 1 \text{ mm/d}$	a	60/120	60/110	45/100	–	–	–	–		
Soligeniczny wyciekowy (W) $z q = 0,5 \text{ mm/d}$	a	50/120	50/110	35/100	30/90	25/80	25/70	–		
Topogeniczny podsiąkowy (P)	a	35/120	35/100	35/100	30/90	25/80	25/70	20/60	25/60	30/70
	b	60/120	60/110	55/100	50/90	35/80	35/70	30/60	35/60	50/70
Fluwioogeniczny zalewowy (Z)	a	–	–	35/100	30/90	25/80	25/70	20/60	25/60	30/70
	b			100/100	90/90	80/80	70/70	60/60	60/60	70/70

¹⁾ nawodnienia a) ze stałym zwierciadłem wody w rowach i b) ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach

Tabela 15. Zalecana minimalna norma odwodnienia ($z_{\min}$)/maksymalna norma odwodnienia (z_3) w cm gleb mineralnych i organiczno-mineralnych (oprac. E. Kaca na podstawie danych SZUNIEWICZA i in. (1994) zawartych w Załączniku)

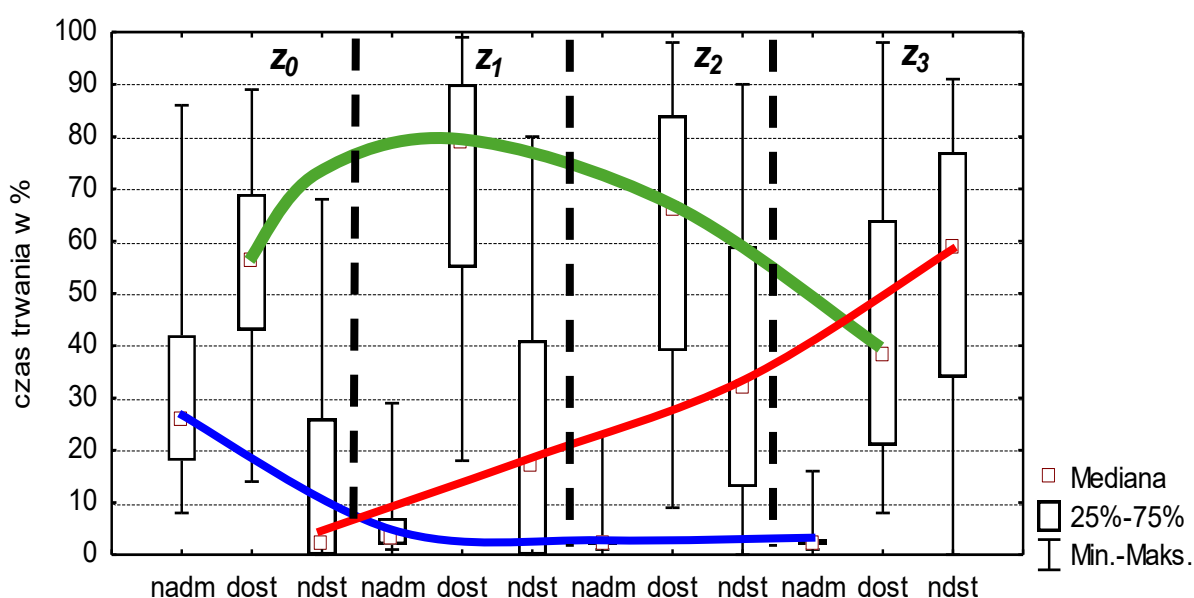
Typy hydrologicznego zasilania	Rodzaj nawodnienia ¹⁾	Prognostyczne kompleksy wilgotnościowo-glebowe ¹⁾						
		BC		CD			D	
		Me33	F34, F43, F44	Mr31, Mr21	Me31, Me22, Me21	Mi31	Mr11	Me11
Topogeniczny podsiąkowy (P)	a	25/90	40/90	25/60	30/60	30/60	25/50	25/50
	b	45/90	60/90	45/60	50/60	55/60	45/50	45/50
Fluwioogeniczny zalewowy (Z)	a	55/90	40/90	25/60	30/60	30/60	25/50	25/50
	b	90/90	90/90	60/60	60/60	60/60	50/50	50/50

¹⁾ nawodnienia: a) ze stałym zwierciadłem wody w rowach i b) ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach

Z badań wykonanych przez KACĘ i in. (2003), wynika, że na minimalną normę odwodnienia $z_{\min}$ mogą mieć istotny wpływ również uwarunkowania klimatyczne. Uwarunkowania te zostały uwzględnione w oszacowanej głębokości minimalnego odwodnienia, którą nazwano **rolno-środowiskową normą odwodnienia (z_s)**. Jest to taka głębokość odwodnienia wiosennego lub po dużych opadach deszczu (odwodnienie pozimowe i poopadowe), w wyniku którego w skali wielolecia w okresie wegetacji przeciętny (medialny) czas trwania dostatecznego uwilgotnienia gleby jest najdłuższy.

Przykład wyznaczania takiej normy podano na rys. 15. Są tu rozkłady częstości rocznych sum czasów trwania charakterystycznego uwilgotnienia gleby MtlIcb (kompleks C) w siedlisku posusznym o topogenicznym zasilaniu w wodę (P) w Polsce, przy wiosennym i opadowym odwodnieniu gleby na głębokość $z_0 = 0$ cm oraz norm $z_1=20$, $z_2=30$ i $z_3=50$ cm. Charakterystyczne uwilgotnienia korzeniowej warstwy gleby to uwilgotnienie nadmierne (nadm) przy którym w glebie występuje niedostatek powietrza ($\leq 6\%$ obj.), dostateczne (dost) i niedostateczne (ndst) przy którym woda w glebie jest trudno dostępna ($pF > 3$).

Z przedstawionego rysunku wynika, że dostateczne (dost) uwilgotnienie tej gleby najdłużej w okresie wegetacji utrzymuje się przy pozimowym i poopadowym odwodnieniu na głębokość z_1 . W tym przypadku przeciętny czas trwania (mediana, środkowa) dostatecznego uwilgotnienia gleby wynosi 80% okresu wegetacji. Zdarza się rok, w którym czas ten wyniesie 90% okresu wegetacji, ale również rok, w którym czas ten wyniesie 55%. W tym przedziale czasów trwania znajdzie się 50% lat. W przypadku pozimowych i poopadowych odwodnień na głębokość z_0 , z_2 , z_3 przeciętne czasy trwania dostatecznego uwilgotnienia będą mniejsze niż 80% okresu wegetacji i wyniosą odpowiednio: 57%, 67% i 39%. Podobną analizę można przeprowadzić analizując czas trwania nadmiernego i niedostatecznego uwilgotnienia gleby.



Rys. 15. Rozkłady częstości rocznych sum czasów trwania nadmiernego (nadm), dostatecznego (dost) i niedostatecznego (ndst) uwilgotnienia gleby MtlIcb (kompleks C) w siedlisku posusznym o topogenicznym zasilaniu w wodę (P) w Polsce [KACA i in. 2003]

Wartość normy rolnośrodowiskowej z_s regulowanych odwodnień (bez możliwości doprowadzenia wody z zewnątrz obiektu) dla siedlisk od mokrych do posusznych o zasilaniu topogenicznym (opadowym) (Pa, Pab, Pb, Pbc, Pc) jest zbliżona do wartości minimalnej normy odwodnienia z_1 kompleksów wilgotnościowo-glebowych odpowiednio A, AB, B, BC i C (tab.12). Jednak dla siedlisk Pab i Pb rejonu Polski centralnej i środkowego pasa Polski zachodniej głębokość ta jest zerowa ($z_s \approx 0$), tzn. odwodnienie wiosenne lub po dużych opadach deszczu tych gleb powinno polegać tylko na usunięciu wody z powierzchni terenu. W przypadku siedlisk okresowo mokrych i wilgotnych o zasilaniu soligenicznym (NAB i Nb oraz WAB i WB), szczególnie zaś naporowym – NAB i Nb (o intensywnym dopływie wody z zewnątrz) norma ta jest większa od minimalnej normy z_1 i zbliżona do normy optymalnej z_{opt} odpowiednio dla kompleksów wilgotnościowo-glebowych AB i B (tab.12). Szerzej zagadnienie związane z tą normą opisano w rozdziale 5.8.

Podsumowując należy stwierdzić, że minimalna norma odwodnień z_{min} może przyjmować wartości minimalnych norm odwodnienia z_1 , z_2 , optymalnej normy odwodnienia z_{opt} (Załącznik) oraz wartość rolnośrodowiskowej normy odwodnienia z_s . Są to takie głębokości odwodnienia, którym odpowiada odpowiednio 6, 8 i 10% powietrza w korzeniowej warstwie gleby oraz najdłuższy czas trwania dostatecznego uwilgotnienia gleby w okresie wegetacji. Norma z_{min} o wartości równej normie z_{opt} odnosi się do kompleksów A i AB o zasilaniu soligenicznym naporowym.

W przypadku nawodnień podsiąkowych ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach z odciekem, powodującym cykliczne odwadnianie i nawadnianie gleby norma z_{min} przyjmuje wartość normy optymalnej z_{opt} a nawet normy maksymalnej z_3 . (Załącznik). Norma z_{min} może przyjąć wartość normy maksymalnej z_3 w PKWG o zasilaniu fluwiogenicznym (zalewowym). Wtedy po zalewie zwierciadło wody gruntowej w środku łanu można obniżyć do normy z_3 .

5.8. Odciekalność i objętość rezerw przejściowych

Do podstawowych charakterystyk gleb (profilu glebowego) zalicza się odciekalność wody gruntowej (glebowej) oraz objętość rezerw przejściowych. Odciekalność δ jest to zdolność gleby do pozbywania się wody związanej siłami mniejszymi od sił ciężkości. Miarą tej wielkości jest ilość wody (mm, m³) jaką gleba po pełnym nasyceniu wodą odda pod wpływem siły ciężkości przy obniżeniu zwierciadła wody gruntowej na głębokość z poniżej powierzchni terenu w warunkach braku wysychania. Jest to więc wielkość zależna od głębokości z obniżenia zwierciadła wody pod powierzchnią terenu.

Objętość rezerw przejściowych V_3 jest to taka ilość wody, jaka zostanie usunięta z gleby po pełnym jej nasyceniu wodą, pod wpływem siły ciężkości oraz na skutek wysychania do wilgotności hamowania wzrostu rośliny, przy obniżeniu się zwierciadła wody gruntowej na głębokość maksymalnej normy odwodnienia z_3 . Na objętość rezerw przejściowych składa się odciekalność oraz wysychalność przy zwierciadle wody gruntowej na głębokości z_3 .

Wielkości δ i V_3 zależą od rodzaju gleby hydrogeniczej, nie zależą natomiast od typu hydrologicznego jej zasilania. W tabeli 16 podano wartości tych charakterystyk w zależności od głębokości z zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu.

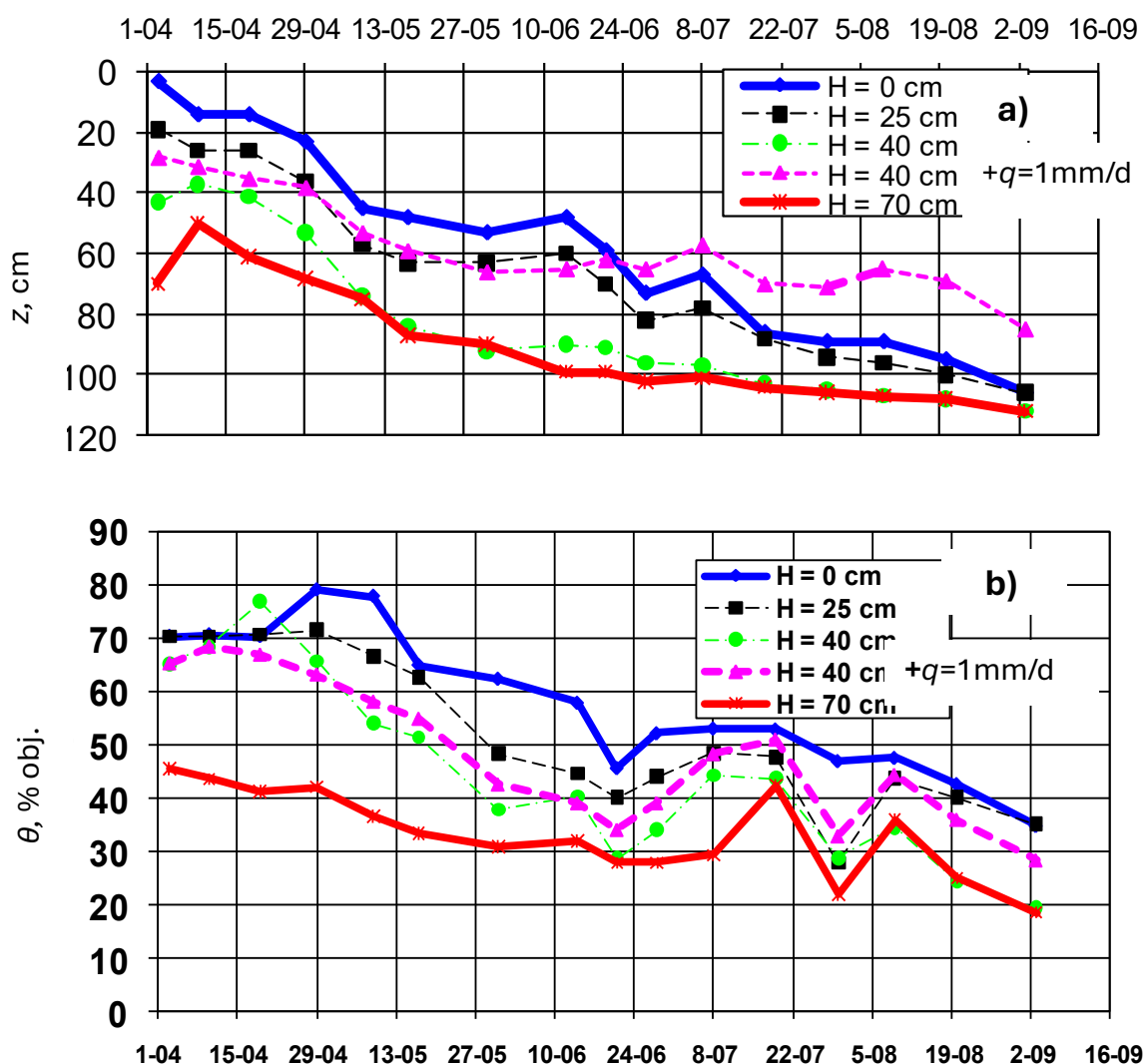
Tabela 16. Uśrednione odciekalności wody gruntowej δ i objętości rezerw przejściowych V_3 wody w zależności od głębokości odpowiednio z i z_3 zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu w przykładowych rodzajach gleby murszowo-torfowych Mt, mineralno-organicznych Mr, Me, Mi oraz mineralnych (mady) F, wg Szuniewicza i in. (1994)

PKWG	Rodzaj gleby	Odciekalność δ w mm przy zwierciadle wody gruntowej na głębokości z w cm											Objętość V_3 rezerw przejściowych przy zwierciadle wody gruntowej na głębokości z_3					
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	z_3 , cm	V_3 , mm	z_3 , cm	V_3 , mm	z_3 , cm	V_3 , mm
A	MtIaa	9	16	24	35	48	64	83	105	129	157	182	110	211	120	237		
AB	MtIab, MtIIaa	7	15	24	36	50	68	89	111	133	156	184	100	192	110	213	120	238
B	MtIIbb, MtIIba	7	15	27	38	51	65	81	97	116	136	157	90	146	100	161	110	179
BC	MtIIbc	9	18	29	40	52	65	80	95	112	-	-	80	124	90	143	100	155
C	MtIIcb, MtIIca	13	25	40	55	70	86	103	120	139	-	-	70	131	80	144	90	159
C	MtIIcc	11	23	41	60	78	95	112	128	149	-	-	60	133	70	145	80	159
C	MtIIIcb	14	31	49	71	94	115	136	156	177	-	-	50	126	60	141	70	156
CD	MtIIc1, MtIIIc1	12	28	50	71	89	103	116	129	143	-	-	50	127	60	139	70	152
CD	MtmI1m1, MtmII1m2, MnII1m1	13	24	35	45	55	64	75	86	101	-	-	60	106	70	111	80	119
CD	Mr11	10	21	34	49	66	84	103	123	145	-	-	50	104	60	117	70	134
BC	Me33	12	22	34	45	57	70	82	99	114	-	-	70	132	80	141	90	152
CD	Me31, Me22, Me21	11	20	30	42	53	64	76	90	103	-	-	50	104	60	111	70	118
D	Me11	12	22	34	49	68	90	115	139	165	-	-	50	112	60	133	70	153
CD	Mi31	10	18	28	39	52	67	84	100	116	-	-	50	92	60	103	70	116
BC	F34, F43, F44	7	11	17	24	30	36	42	49	57	61	68	80	106	90	111	100	117

5.9. Retencja użyteczna gleb hydrogenicznych

Retencja użyteczna gleby hydrogenicznych (zapas wody łatwo dostępnej) jest to ilość wody w mm albo m^3 , która jest zgromadzona w glebie po jej wiosennym, po opadowym, po podtopieniowym albo po zalewowym odwodnieniu na głębokość minimalnej normy odwodnienia ($z_{\min}$) i która może być wykorzystana przez rośliny. Retencja użyteczna może być tworzona nie tylko przez odwodnienie, ale również przez wiosenne nawodnienie do minimalnej normy odwodnienia ($z_{\min}$) np. po bezśnieżnej zimie, czy po małych opadach deszczu.

Wartość retencji pozimowej wpływa na uwilgotnienie gleby w okresie wegetacji. Zobrazowano to na rys.16a, na którym pokazano pięć wariantów przebiegu głębokości z zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu w okresie wegetacji, kształtowanej przez zadaną głębokość odwodnienia (H) na początku okresu wegetacji (1.04.2002). Przy głębokości $H = 40$ cm wprowadzono zasilanie profilu wodą z intensywnością $q = 1$ mm/d. Pokazano również przebieg wilgotności θ (w % obj.) korzeniowej warstwy gleby kształtowanej przez położenie zwierciadła wody gruntowej (rys. 16b).



Rys. 16. Przebieg głębokości z zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu (a) i wilgotności θ korzeniowej warstwy gleby MtlIcb (b) w różnych wariantach głębokości odwodnienia wiosennego H w badaniach lizymetrycznych w dolinie Noteci w 2002 roku; q – zasilanie gruntowe z intensywnością $1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (źródło KACA i in., 2003)

Różnice w przebiegach zwierciadła wody gruntowej i wilgotności w okresie wegetacji są wyraźne. Wyższy poziom wody gruntowej na wiosnę to wyżej położone zwierciadła wody gruntowej i wyższe wilgotności gleby w okresie wegetacji.

Retencja użyteczna gleb hydrogenicznych zależy od głębokości z położenia zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu na wiosnę po śnieżnej zimie albo po długotrwałych opadach deszczu albo po podtopieniach i zalewie powierzchni wodą powodziową. Zależy również od sposobu gospodarowania wodą na obiekcie tzw. wodą własną oraz wodą doprowadzaną z zewnątrz obiektu. Wodą własną gospodaruje się poprzez regulowany jej odpływ z obiektu, zaś wodą doprowadzaną z zewnątrz obiektu prowadzi się nawodnienia w formie wodooszczędnego podsiąku ze stałym zwierciadłem wody w rowach albo również wodooszczędnego podsiąku ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach bez odcieku, albo wodochłonnego podsiąku ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach (i w gruncie) z odciekami.

W glebach organicznych kompleksu A, AB, B, BC i C w skład retencji użytecznej (*RU*) wchodzi tzw. retencja pulsacji, czyli dodatkowo zgromadzona woda w spęczniałej glebie, która oddawana przy obniżaniu się zwierciadła wody gruntowej powoduje kurczenie się (osiadanie) złoża torfowego. Na wiosnę pod wpływem wzrostu poziomu wody gruntowej i wilgotności gleby, gleby te silnie pęcznieją powodując podniesienie powierzchni terenu z roślinnością i pojawienie się tzw. retencji pulsacji, która zwiększa zasób wody łatwo dostępnej. Retencja pulsacji jest ilościowo równa podniesieniu się powierzchni terenu. W czasie suszy obniżanie się zwierciadła wody gruntowej, kurczenie się torfowiska i osiadanie powierzchni terenu oznacza, że retencja pulsacji jest wykorzystana przez rośliny. Z badań SZUNIEWICZA i in. (1994.) wynikało, że w torfach o miąższości od 1,3 do 5 m, pulsacyjne osiadanie powierzchni (i retencja pulsacji) zależy od potencjalnego hydrogenicznego siedliska wilgotnościowego gleb (tab. 3) i wynosiło dla siedliska Pa od 58 do 180 mm, Pab od 51 do 159 mm, WA od 48 do 148, NA i WAB od 41 do 127 mm i dla siedliska NAB od 34 do 106 mm.

Literatura

- DEMBEK W., OŚWIT J., 1992. Rozpoznawanie warunków hydrologicznego zasilania siedlisk mokradłowych. W: Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe. Biblioteczka Wiadomości IMUZ Nr 79
- KACA E., ŁABĘDZKI L., CHRZANOWSKI S., CZAPŁAK I., KASPERSKA-WOŁOWICZ W. 2003. Gospodarowanie zasobami wody użytecznej gleb torfowo-murszowych w warunkach regulowanego odpływu w różnych regionach agroklimatycznych Polski. Rozprawy Naukowe i Monografie nr 9. Wydaw. IMUZ. Falenty
- OKRUSZKO H., 1994. System of hydrogenic soil classification used in Poland (System klasyfikacji gleb hydrogenicznych w Polsce). W: Taxonomy of hydrogenic soils and sites used in Poland (Taksonomia gleb i siedlisk hydrogenicznych stosowana w Polsce). Biblioteczka Wiadomości IMUZ Nr 84.
- SZUNIEWICZ J., CHURSKA CZ., CHURSKI T., 1994. Potential hydrogenic soil-moisture sites and their differentiation in terms of disposal resources of useable water (Potencjalne hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe i ich różnicowanie pod względem dyspozycyjnych zasobów wody użytecznej). W: Taxonomy of hydrogenic soils and sites used in Poland (Taksonomia gleb i siedlisk hydrogenicznych stosowana w Polsce). Biblioteczka Wiadomości IMUZ Nr 84.

6. Potrzeby i ogólne zasady gospodarowania wodą na TUZ (E. Kaca)

Nawiązując do gleboznawstwa melioracyjnego (rozdział 5.) należy zauważyć, że kompleks mokry (A) i okresowo mokry (AB) nie wymagają nawodnień z zewnętrznego źródła wody. Kompleks wilgotny (B), szczególnie w warunkach soligenicznego (wysiękowego, naporowego) zasilania w wodę, również może się obyć bez nawodnień, pod warunkiem bardzo starannego kontrolowania odpływu wody.

Gospodarowanie wodą na glebach kompleksu okresowo posusznego (BC), posusznego (C) i okresowo suchego (CD), szczególnie w warunkach topogenicznego (podsiąkowego, opadowego) zasilania w wodę, będzie możliwe w przypadku istnienia systemu nawadniającego wodą doprowadzaną z zewnątrz. W przypadku braku takiego systemu, utrzymywanie uwilgotnienia na poziomie dopuszczalnym będzie łatwiejsze w siedliskach soligenicznych, szczególnie naporowych. Większe zwarte obszary kompleksu suchego (D) powinny być przewidywane pod uprawy polowe, zaś drobne wysepki – pod zalesienia.

Funkcję systemu nawadniającego w kompleksach BC, C i CD może pełnić podnoszenie zwierciadła wody w gruncie poprzez piętrzenie wody bezpośrednio w ciekach. Zabieg ten jest skuteczny w przypadku wąskich dolin rzecznych wypełnionych glebami lekkimi lub utworami torfowymi na dobrze przepuszczalnym podłożu.

Bardziej szczegółowo potrzebę regulacji stosunków powietrzno-wodnych można ocenić analizując różnego rodzaju wskaźniki.

6.1. Podstawowe wskaźniki potrzeby regulacji stosunków powietrzno-wodnych gleb

Potrzeby regulacji stosunków powietrzno-wodnych gleb hydrogeniczych (dolinowych) wynikają z rodzaju oczekiwanej roślinności (użytku) w stosunku do roślinności (użytku) aktualnie występującej na brany pod uwagę terenie. Oczekiwany użytkiem może być roślinność tworząca wysokoprodukcyjną łąkę czy wysokowydajne pastwisko, ale może być to pożądana jako materiał w budownictwie roślinność bagienna (paludikultura), uprawiana na dobrze nawodnionym torfowisku, chronionym przed degradacją (i emisją gazów cieplarnianych).

Potrzeby te można charakteryzować za pomocą głębokości z zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu w stosunku do norm odwodnień (rozdział 2. i 5.) oraz różnych wskaźników, w tym agrometeorologicznych, rozpatrywanych w charakterystycznym okresie np. w okresie wegetacji czy w okresie największego zapotrzebowania na wodę planowanego użytku. Ich wartości będą inne w latach mokrych, inne w latach średnich, a jeszcze inne w suchych. Do wskaźników agrometeorologicznych można zaliczyć:

- 1) klimatyczny bilans wodny

$$KBW = P - ET_o, \quad (1)$$

- 2) niedobór opadów

$$N = ETR - P_{ef}, \quad (2)$$

- 3) niedobór wodny – zapotrzebowanie na wodę do nawodnień:

$$Z = ETR - P_{ef} - Q - RU, \quad (3)$$

- 4) zapotrzebowanie na wodę do nawodnień ze stałym „wysokim” zwierciadłem wody gruntowej (np. we wprowadzaniu rolnictwa bagiennego):

$$Z = (ETR + \Delta R) - P_{ef} - Q - RU, \quad (4)$$

We wzorach opisujących w/w wskaźniki zastosowano następujące oznaczenia:

ET_o – suma ewapotranspiracji wskaźnikowej za rozpatrywany okres, mm,

ETR – suma ewapotranspiracji planowanego użytku (parowanie terenowe) w warunkach nawodnień za rozpatrywany okres, mm,

P - opady mierzone za rozpatrywany okres, mm,

P_{ef} – opady efektywne (znaczące, zwilżające glebę) za rozpatrywany okres, mm,

RU – retencja użyteczna jako dyspozycyjny zapas wody użytecznej ($DZWU$) na początku rozpatrywanego okresu, mm,

ΔR - wymagany przyrost retencji poprzez nawodnienie i podniesienie zwierciadła wody gruntowej na pożądaną poziom na początku rozpatrywanego okresu, mm,

Q – zasób wody z hydrologicznego zasilania gleby w wodę w rozpatrywanym okresie, zależny od typu hydrologicznego zasilania gleby w wodę (THZ), mm,

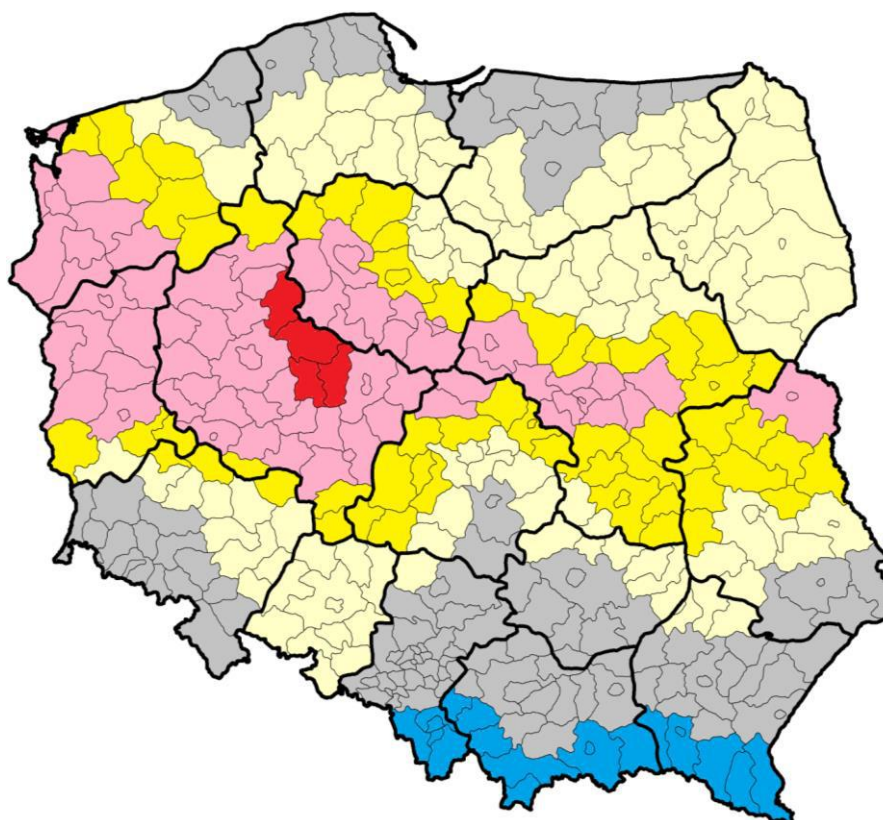
Wskaźnik 1) może być stosowany w ocenie potrzeby nawodnień i odwodnień, zaś wskaźniki 2), 3), 4) i 5) służą do oceny potrzeb nawodnień.

6.1.1. Klimatyczny bilans wodny (KBW)

Jednym z generalnych wskaźników potrzeby regulacji stosunków powietrzno-wodnych gleb jest klimatyczny bilans wodny za okres zimowy, okres letni i w poszczególnych miesiącach. Na jego podstawie można zorientować się, czy na danym obszarze, w brany pod uwagę okresie, występuje niedobór opadów w stosunku do ewapotranspiracji wskaźnikowej (ujemny klimatyczny bilans wodny) lub nadmiar opadów w stosunku do ewapotranspiracji wskaźnikowej (dodatni klimatyczny bilans wodny).

Ewapotranspiracja wskaźnikowa (ET_o) charakteryzuje parowanie ze standardowej pokrywy roślinnej. Najczęściej przyjmuje się, że jest nią trawa o stałej, jednakowej wysokości równej 12 cm, w pełni zakrywająca glebę, w warunkach aktywnego rozwoju i nieograniczonego dostępu do wody. Można ją obliczać wg metody Penmana Monteitha, która jest zalecana do stosowania przez FAO jako metoda standardowa.

W charakterze przykładu, na rys. 17 pokazano (za ŁABĘDZKIM 2014) przestrzenny rozkład średnich z wielolecia 1970–2004 rocznych sum klimatycznego bilansu wodnego (KBW) za okresy wegetacji (kwiecień–wrzesień). W bardziej zawansowanych analizach rozpatruje się klimatyczne bilanse wodne występujące z określonym prawdopodobieństwem. Aktualnie w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym PIB w Falentach pracuje się nad KBW za okres ostatnich kilkunastu lat, uwzględniającym zmiany klimatyczne.



Legenda

KBW, mm	Klasa klimatycznego bilansu wodnego
<-250	skrajnie niedoborowy
[-250; -200)	silnie niedoborowy
[-200; -150)	umiarkowanie niedoborowy
[-150; -100)	lekko niedoborowy
[-100; 100]	zrównoważony
>100	nadmiarowy

Rys. 17. Przestrzenny rozkład średnich z wielolecia 1970–2004 za okresy wegetacji (kwiecień–wrzesień) rocznych sum klimatycznego bilansu wodnego (KBW) (opr. Leszek Łabędzki)

6.1.2. Niedobór opadów (N)

Do oceny potrzeby nawodnień wykorzystuje się różnicę między ewapotranspiracją rzeczywistą (ETR) użytku w warunkach nawodnień (przy dostatecznym uwilgotnieniu gleby) a opadem efektywnym (P_{ef}). Ostatnio wartość ETR do wzoru (2) (na niedobór opadów) oblicza się poprzez przemnożenie wysokości ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET_o) przez tzw. współczynnik roślinny. Dla trwałych użytków zielonych jego wartość jest zależna od rodzaju użytku (np. pastwisko, łąka 2-kośna, łąka 3-kośna), jego plonu oraz fazy rozwoju roślin. Np. wg OSTROWSKIEGO i in. (2008) dla łąki 3-kośnej o plonie 80 dt/ha wartość tego współczynnika w pierwszej dekadzie kwietnia, maja, czerwca, lipca, sierpnia i września wynosi odpowiednio: 0,50, 1,00, 0,55, 1,15, 0,80, 1,40, a o plonie 100 dt/ha odpowiednio: 0,70, 1,15, 0,65, 1,25, 0,95, 1,60. Na początek maja, początek czerwca i początek sierpnia przypadają sianokosy.

Wielkość P_{ef} oznacza efektywny (znaczący) opad deszczu, definiowany jako część opadów naturalnych, przydatnych bezpośrednio lub pośrednio w produkcji polowej tam gdzie spada. Wysokość efektywnych opadów deszczu zależy od różnych czynników takich jak: gatunek rośliny (intercepcja), wilgotność korzeniowej warstwy gleby, wysokość i rozkład czasowy opadów itp. Najprościej oblicza się go przez przemnożenie opadu rzeczywistego (P) przez tzw. współczynnik wykorzystania opadu (μ). Na etapie projektowania melioracji dla trwałych użytków zielonych przyjmuje się $\mu = 0,9$.

Można analizować średni z wielolecia za badany okres niedobór opadu albo też niedobór opadów występujący z niedoborami większymi z określonym prawdopodobieństwem. W analizach najczęściej bierze się prawdopodobieństwo równe 20%. Niedobór opadów przy tym prawdopodobieństwie pojawia się średnio wraz z niedoborami większymi co 5 lat. Niedobór o określonym (20%) prawdopodobieństwie nazywa się niedoborem miarodajnym, gdyż to on jest brany pod uwagę w projektowaniu systemów nawadniających.

6.1.3. Niedobór wodny – zapotrzebowanie na wodę do nawodnień (Z)

Niedobór wodny jest tożsamy z zapotrzebowaniem na wodę do nawodnień w analizowanym okresie. Oblicza się go wg wzoru (3) jako różnicę między niedoborem opadów (N) a zasobem wody (Q) z hydrologicznego zasilanie gleby w wodę w rozpatrywanym okresie i retencją użyteczną (RU) traktowaną jako dyspozycyjny zapas wody użytecznej ($DZWU$) na początku rozpatrywanego okresu. Jest to zapas wody po śnieżnej zimie albo po znaczących opadach deszczu albo po podtopieniach i zalewach albo po skutecznym nawodnieniu (podniesieniu zwierciadła wody gruntowej). Zależy on od głębokości odwadniania terenu (od minimalnej normy odwodnienia (z_{min}) oraz od maksymalnej dopuszczalnej normy odwodnienia (z_3). Zagadnienie retencji użytecznej omówiono w rozdziale 5, a sposób obliczania w rozdziale 6.3.

W przypadku konieczności podniesienia zwierciadła wody gruntowej, np. po bezśnieżnej zimie, do tak obliczonego zapotrzebowania na wodę należy dodać dodatkowe zapotrzebowanie na wodę związane z tym podniesieniem. Realizacja tego dodatkowego zapotrzebowania prowadzi do przyrostu retencji (ΔR). Retencja ta praktycznie nie będzie wykorzystana przez rośliny, gdyż jest ona wymagana do podtrzymania zwierciadła wody gruntowej na wyższym poziomie. Z taką sytuacją można mieć do czynienia w przypadku nawodnień podsiąkowych ze stałym zwierciadłem wody gruntowej na wysokim poziomie. Jest to sytuacja, którą można planować w tzw. gospodarstwach bagiennych, w których na odwodnionych i zabagnianych torfowiskach zamierza się uprawiać turzycę, trzcinę, pałkę wodną i in.

Wartość ΔR w przybliżeniu oblicza się mnożąc wysokość podniesienia (w mm) zwierciadła wody gruntowej w łanie na pożądany poziom przez współczynnik zmiany retencji podczas nawodnienia. Wg wykresów opracowanych przez SOMOROWSKIEGO (1971) po podniesieniu zwierciadła wody gruntowej z głębokości w przedziale 0,5 ÷ 1,0 m pod powierzchnią terenu na głębokość 0,3 m orientacyjne wartości współczynnika zmiany retencji wynoszą:

- piaski luźne	0,26
- piaski słabo gliniaste	0,18
- piaski gliniaste	0,14

- gliny lekkie 0,12
- gliny średnie 0,10
- gliny ciężkie 0,09

Wartości te są wyższe dla niższych podniesień zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu (np. na głębokość 0,4, 0,5 m). Orientacyjne wartości tego współczynnika dla torfów wynoszą:

- torfy głęboki średnio rozłożony, słabo zmurszały (MtI) 0,25
- torfy głęboki średnio rozłożony, średnio zmurszały (MtII) 0,37
- torfy głęboki średnio rozłożony, silnie zmurszały (MtIII) 0,33
- torfy płytki średnio rozłożony, średnio zmurszały (MtII) 0,25

Przykład: zapotrzebowanie na wodę do podniesienia zwierciadła wody gruntowej w torfie głębokim średnio rozłożonym średnio zmurszałym (MtIIbb) z poziomu 1,0 metra pod powierzchnią terenu na poziom 0,3 m wyniesie $\Delta R = 700 \times 0,37 = 259$ mm.

Zapotrzebowanie na wodę do nawodnień w okresie wegetacji roślin obliczone na podstawie zapotrzebowania miarodajnego (o prawdopodobieństwie przekroczenia 20%) nazywa się dawką okresową. Na taką ilość wody projektuje się rolnicze zbiorniki retencyjne o co najmniej rocznym wyrównaniu zapasów wody. Orientacyjne niedobory wodne roślin łąkowych, odczytane z „Atlasu niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce” (OSTROWSKI i in., 2008) przedstawiono w tabeli 17. Są to niedobory określone dla łąk trzy- i dwukośnych na glebach organicznych o prawdopodobieństwie przewyższenia 20% i 50% (podane w tabeli niedobory wody za okres wegetacji pojawiają się z niedoborami wyższymi średnio odpowiednio raz na pięć i raz na dwa lata).

Zapotrzebowania na wodę w krótszym okresie, obliczane wg wzoru (4), może być traktowane jako dawka polewowa. W klasycznych nawodnieniach podsiąkowych ze zmiennym zwierciadłem wody gruntowej jest to ilość wody jaką należy doprowadzić na użytek, aby podnieść zwierciadło wody gruntowej z poziomu niższego (np. z głębokości z_3) do poziomu wyższego (np. do głębokości z_{opt}) i jednocześnie pokryć niedobór opadów w okresie podnoszenia zwierciadła wody gruntowej. Dawka polewowa jest stosowana w projektowaniu przepustowości doprowadzalników i obliczaniu zapotrzebowania na przepływ wody w rzece.

Tabela 17. Niedobory wodne łąk za okres wegetacji w mm

Użytek	Rodzaj gleby / Siedlisko (kompleks)							
	MtIaa / A		MtIIbb / B		MtIIIbb / C		Mr21 / D	
	Intensywność hydrologicznego zasilania w wodę q mm/d							
	1		0,5		0,5		0	
	Plon dt/ha							
	100		80		70		50	
	Prawdopodobieństwo przewyższenia $p\%$							
	50	20	50	20	50	20	50	20
Łąka 3-kośna	0-40	0-40	40-80	80-120	□	□	□	□
Łąka 2-kośna	□	□	□	□	40-80	80-120	40-80	120-160

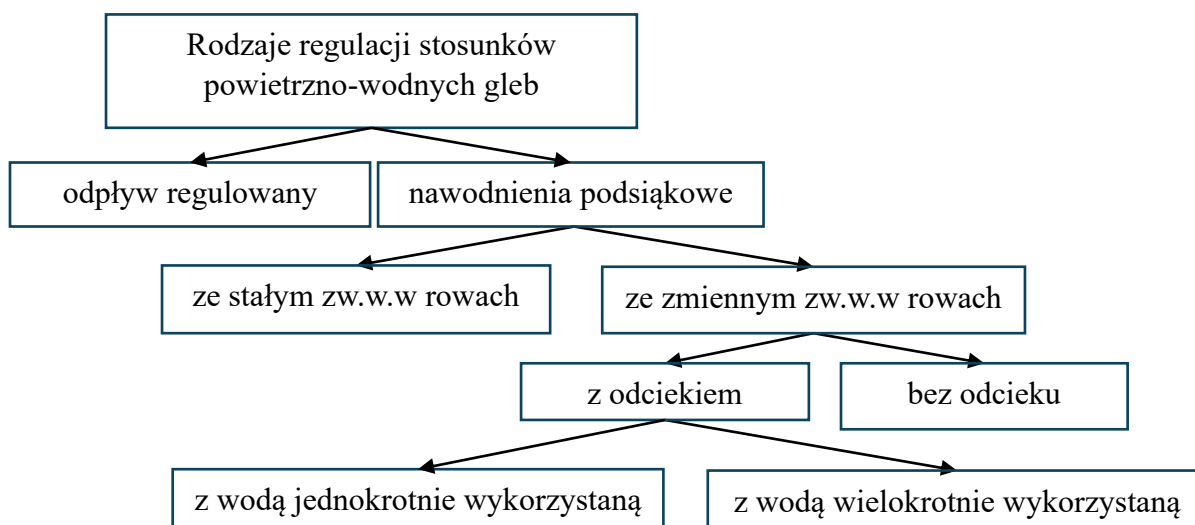
Oprac. E. Kaca - na podstawie OSTROWSKI i in. 2008 (Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce)

6.2. Rodzaje gospodarowania wodą na TUZ

Wodą na każdym obiekcie melioracyjnym należy tak gospodarować, aby

- 1) utrzymać poziom wody gruntowej w środku rozstawy rowów/drenów na głębokości między minimalną ($z_{\min}$) i maksymalną (z_3) normą odwodnienia, a tym samym minimalizować czas trwania nadmiernego i niedostatecznego uwilgotnienia gleby,
- 2) jak najlepiej wykorzystać wody z opadów (wodę własną) i wodę doprowadzaną z zewnątrz obiektu, minimalizując zrzuty wody z obiektu, a tym samym również straty składników nawozowych.

Gospodarowanie wodą na trwałych użytkach zielonych (TUZ), prowadzące do zmiany stosunków powietrzno-wodnych gleb (i retencji glebowo-gruntowej), może być realizowane poprzez regulowany odpływ wód własnych – opadowych i roztopowych, z podtopień i zalewów oraz wód soligenicznych wyciekowych i soligenicznych naporowych, a w przypadku ich braku lub niedostatku – w oparciu o nawodnienia podsiąkowe wodami doprowadzonymi z zewnątrz obiektu, z cieków albo zbiorników naturalnych i sztucznych. Metody gospodarowania wodą na TUZ (regulacji stosunków powietrzno-wodnych gleb) można podzielić bardziej szczegółowo (rys. 18) biorąc pod uwagę dostępność wody do nawodnień, dynamikę zwierciadła wody w rowach w czasie nawodnień podsiąkowych, zagospodarowanie potencjalnego odcieku wody gruntowej itp.



Rys.18. Klasyfikacja metod regulacji stosunków powietrzno-wodnych gleb hydrogenicznnych (łąkowych)
(opr. E. Kaca)

W przypadku braku możliwości doprowadzenia wody z zewnątrz obiektu gospodarowanie wodą (własną) na obiekcie melioracyjnym prowadzi się **metodą regulowanego odpływu** wody z rowów.

Ogólnie polega ona na krótkotrwałym spuszczeniu wody z rowów wiosną, po długotrwałych opadach deszczu, podtopieniach czy zalewach, a następnie zatrzymaniu dalszego jej odpływu. Działanie to powinno spowodować takie podniesienie zwierciadła wody w rowach, aby zwierciadło wody w łanie (między rowami) osiągnęło pożądaną głębokość równą normie $z_{\min}$, tzn. normie z_1 , z_2 albo z_{opt} , w zależności od typu hydrologicznego zasilania gleby w wodę (THZ), a nawet głębokość równą środowiskowej normie odwodnienia z_s . Na tym

poziomie, w miarę możliwości, utrzymuje się zwierciadło wody w rowach stosując regulowany odpływ w poszczególnych pokosach/odrostach runi łąkowej. Pod koniec pierwszego pokosu/odrostu (przed koszeniem, wypasem), albo kolejnych pokosów/odrostów należy dopuścić do wykorzystania poziomowej retencji użytecznej i naturalnego obniżenia poziomu wody gruntowej do maksymalnej normy odwodnienia z_3 .

Podobna metoda gospodarowania wodą została szczegółowo opisana w rozdziale 2. Uwzględniono tam dwie fazy regulowanego odpływu - 4. i 5.. W fazie 4. odwodnienie realizuje się przy częściowym piętrzeniu wody w rowach, a w fazie 5. przy całkowitym braku piętrzenia wody w rowach. To ostatnie jest realizowane wtedy, gdy pomimo częściowego obniżenia poziomu wody w rowach woda przez dłuższy czas, przekraczający czas krytyczny dla roślin stagnuje na powierzchni terenu.

Gdy istnieje możliwość doprowadzenia wody z zewnątrz obiektu (w ilości ok. 0,35–0,50 l/s/ha) nawodnienie prowadzi się metodą tzw. **nawodnień podsiąkowych ze stałym zwierciadłem wody w rowach**. Na wiosnę albo po długotrwałych opadach deszczu albo po podtopieniach i zalewach, po krótkotrwałym maksymalnym obniżeniu zwierciadła wody z rowów i zatrzymaniu jej dalszego odpływu, zwierciadło wody w łanie (między rowami) powinno osiągnąć głębokość równą normie $z_{\min}$ (normie $z_1, z_2, z_{\text{opt}}, z_3$ w zależności od PKWG i THZ). Na tym poziomie, w miarę możliwości, utrzymuje się zwierciadło wody w rowach stosując regulowany odpływ i dopływ wody, utrzymując zwierciadło wody gruntowej w okolicach minimalnej normy odwodnienia ($z_{\min}$). Pod koniec pierwszego pokosu/odrostu (przed koszeniem, wypasem), podobnie jak w przypadku odpływu regulowanego, dopuszcza się do wykorzystania poziomowej retencji użytecznej i naturalnego obniżenia poziomu wody gruntowej do maksymalnej normy odwodnienia z_3 .

Istnieje również możliwość gospodarowania wodą na obiekcie poprzez tzw. **nawodnienia podsiąkowe ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach bez odcieku**. W tym przypadku, podobnie jak w poprzednich, na wiosnę albo po długotrwałych opadach deszczu, krótkotrwale maksymalnie obniża się zwierciadło wody w rowach, a następnie zatrzymuje się jej dalszy odpływ. Po osiągnięciu przez zwierciadło wody gruntowej normy $z_{\min}$, dopuszcza się do zużycia efektywnej retencji użytecznej w warunkach aktualnej pogody, bez doprowadzania wody z zewnątrz. Gdy zwierciadło wody gruntowej w środku łanu osiągnie poziom maksymalnej normy odwodnienia z_3 rozpoczyna się napełnianie rowów wodą i intensywne nawadnianie, które kończy się, gdy zwierciadło wody gruntowej osiągnie poziom najbliższy poziomowi optymalnej normy odwodnienia z_{opt} . W tym momencie nawodnienie jest kończone, a rozpoczyna się proces naturalnego zużywania wody glebowej, aż do osiągnięcia przez zwierciadło wody gruntowej w środku łanu maksymalnej normy odwodnienia z_3 . Jest to jednocześnie moment do rozpoczęcia kolejnego napełniania rowów wodą i nawadniania. Podobny sposób gospodarowania wodą został szczegółowo opisany w rozdziale 2. Wskazano tam na pięć faz nawodnień podsiąkowych. Dwie z nich (faza 4. i 5.), jak w przypadku regulowanego odpływu, dotyczy odwodnień - odpowiednio przy częściowym piętrzeniu wody w rowach i przy całkowitym braku piętrzenia wody w rowach.

Coraz rzadziej stosowany jest (ze względu stratę składników nawozowych i na dużą wodochłonność – niezbędny dopływ wody co najmniej 0,5 l/s/ha) **podsiąk ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach z odciekiem**, polegający na takim maksymalnym obniżaniu i podnoszeniu zwierciadła wody w rowach, aby cyklicznie odwadniać i nawadniać glebę. Zwierciadło wody gruntowej w łanie obniża się do poziomu najbliższemu maksymalnej normy odwodnienia z_3 , a następnie bez zwłoki, w wyniku napełniania rowów wodą, podnosi się do

głębokości nie przekraczającej normy $z_{\min}$. W pierwszym odróżeniu taki zabieg (odwodnienie i nawodnienie) zazwyczaj powtarza się dwukrotnie. W tym przypadku norma $z_{\min}$ powinna być większa od minimalnej normy odwodnienia z_1 ($z_{\min} > z_1$). W czasie takich nawodnień nadmiar wody gruntowej odcieka i odpływa. Część odciekalności przekształca się w odpływ gruntowy, a warstwa korzeniowa gleby zyskuje lepsze napowietrzenie. Pozostała (nie odciekająca) część wody zostaje w glebie i może być zużyta przez rośliny. Woda odciekająca może być wykorzystana wielokrotnie do nawadniania niżej położonych obszarów albo gromadzona w małych zbiornikach wodnych (oczkach wodnych).

6.3. Obliczanie retencji użytecznej gleb hydrogenicznych

Analizując retencję użyteczną dla roślin zakłada się, że po śnieżnej zimie albo po długotrwałych opadach albo po podtopieniach i zalewie wodą terenu zwierciadło wody gruntowej w glebach łąkowych jest blisko powierzchni terenu, a w wyniku odwodnienia osiąga głębokość $z_{\min}$ pod powierzchnią terenu. Wtedy zgromadzone zasoby wody glebowej osiągają poziom połowej pojemności wodnej (PPW). Przyjmuje się również, że rośliny mogą jeszcze wykorzystywać zgromadzoną wodę, gdy w warunkach suszy atmosferycznej i w okresie wysokiej temperatury zwierciadło wody gruntowej znajduje się na głębokości maksymalnej normy odwodnienia z_3 .

W przypadku regulowanego odpływu wody, nawodnień podsiąkowych ze stałym zwierciadłem wody w rowach oraz nawodnień podsiąkowych ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach bez odcieku wielkość retencji użytecznej dla roślin oblicza się wg wzoru:

$$RU = V_3 - \delta_{\min} \quad (5)$$

gdzie:

RU - retencja użyteczna po wiosennym albo po dużych opadach deszczu albo po zalewach powierzchni gleby odwodnieniu na głębokość $z_{\min}$ (z_1 albo z_2 albo z_{opt} albo z_3 albo z_s), mm,

V_3 - objętość rezerw przejściowych przy obniżonym zwierciadle wody gruntowej na głębokość maksymalnej normy odwodnienia z_3 , mm,

$\delta_{\min}$ - odciekalność wody gruntowej przy zwierciadle wody gruntowej na głębokości $z_{\min}$ poniżej powierzchni terenu, mm.

W przypadku gleb organicznych we wzorze na retencję użyteczną uwzględnia się retencję pulsacji, którą oblicza się wg wzoru

$$r = 10 \cdot k \cdot (z_3 - z_{\min}) \quad (6)$$

w którym k oznacza współczynnik pulsacji, a $z_{\min}$ głębokość odwodnienia poziomowego, po opadach deszczu albo po podtopieniach i zalewie powierzchni.

Wg SZUNIEWICZA i in. (1994) współczynnik pulsacji k oblicza się wg wzorów:

- dla gleb organicznych kompleksów A i AB:

$$k = 0,018 + 0,0387 \cdot T \quad (7)$$

- dla gleb organicznych kompleksów B, BC, C

$$k = 0,016 + 0,0192 \cdot T \quad (8)$$

gdzie: T - zastępcza miąższość złoża torfowego, m.

Wielkość T jest miąższością złoża torfu, a gdy pod nim znajduje się gytia wówczas miąższość T jest równa miąższości złoża torfu i $\frac{1}{2}$ miąższości złoża gytii. W glebach torfowo-murszowych kompleksów CD i D oraz w hydrogenicznych glebach mineralno-murszowych (Me) i glebach murszowatych właściwych (Mm) retencja pulsacji jest zerowa ($k = 0$). Po uwzględnieniu retencji pulsacji wzór (2) przyjmie postać:

$$RU = V_3 - \delta_{min} + 10 \cdot k \cdot (z_3 - z_{min}) \quad (9)$$

Jest to wzór, wg którego oblicza się retencję użyteczną dla roślin (zapas wody użytecznej) w regulacji stosunków powietrzno-wodnych gleb torfowo-murszowych (Mt) kompleksów A, AB, B, BC i C poprzez regulowany odpływ wody albo nawodnienia podsiąkowe ze stałym zwierciadłem wody w rowach albo nawodnienia podsiąkowe ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach bez odcieku.

Wartości retencji użytecznej dla typowych rodzajów gleb hydrogenicznych i różnych rodzajów regulacji stosunków powietrzno-wodnych gleb, w tym poprzez nawodnienie ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach z odciekami, przedstawiono w tabelach 18 i 19. Warto podkreślić, że retencja użyteczna nawodnień z odciekami jest mniejsza niż retencja użyteczna innych form regulacji stosunków powietrzno-wodnych gleb hydrogenicznych.

Tabela 18. Retencja użyteczna $RU^{1)}$ gleb organicznych w mm (oprac. E. Kaca na podstawie danych SZUNIEWICZA i in. (1994) zawartych w Załączniku)

Typy hydrologicznego zasilania	Rodzaj nawodnienia ²⁾	Prognostyczne kompleksy wilgotnościowo-glebowe								
		A	AB	B	BC	C			CD	D
		MtIaa	MtIab, MtIIaa	MtIIbb MtIIba	MtI-IIbc	MtIIcb MtIIca	MtIIcc MtIIcc(1)	MtIIIcc MtIIIcb	MtIIc1 MtIIIc1	MtmIml MtmIIml MtmIIml2 MmIIml
Soligeniczny naporowy (N) $z q = 1 \text{ mm/d}$	a	230-315	195-270	150-190	–	–	–	–		
Soligeniczny wyciekowy (W) $z q = 0,5 \text{ mm/d}$	a	250-350	215-305	165/210	150-190	145-185	147-175	–		
Topogeniczny podsiąkowy (P)	a	275-395	245-350	165-210	150-190	145-185	145-175	125	120	110
	b	210-290	170-225	105-130	80-95	75-90	70-80	60	55	70
Fluwiogeniczny zalewowy (Z)	a	–	–	175-235	155-210	150-195	150-190	130	120	115
	b			155-200	115-145	95-115	85-100	65	55	75

¹⁾ Dolne wartości RU zaobserwowano w glebach torfowych o miąższości 1,3 m, zaś górne o miąższości 5 m

²⁾ a) nawodnienia ze stałym zwierciadłem wody w rowach i nawodnienia ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach bez odcieku, b) nawodnienia ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach z odciekami

Tabela 19. Retencja użyteczna RU gleb mineralnych i organiczno-mineralnych (oprac. E. Kaca -na podstawie danych SZUNIEWICZA i in. (1994) zawartych w Załączniku)

Typy hydrologicznego zasilania	Rodzaj nawodnienia ¹⁾	Prognostyczne kompleksy wilgotnościowo-glebowe						
		BC		CD			D	
		Me33	F34; F43 F44	Mr31 Mr21	Me31 Me22 Me21	Mi31	Mr11	Me11
Topogeniczny podsiąkowy (P)	a	135	95	95	90	85	90	95
	b	75	70	35	60	50	35	60
Fluwiogeniczny zalewowy (Z)	a	145	100	95	90	85	90	95
	b	100	85	60	60	55	55	65

¹⁾ Oznaczenia nawodnień jak w tabeli 19

Przykład

Obliczyć wielkość wiosennej retencji użytecznej RU po śnieżnej zimie w glebie murszowo-torfowej zmurszałej do głębokości 30 cm, na torfie amorficznym o topogenicznym (P) zasilaniu w wodę. Miąższość złoża torfowego $T = 1,3$ m. Przewiduje się gospodarowanie wodą własną, metodą odpływu regulowanego. Kod rodzaju tej gleby można zapisać: MtIIcc. Wynika to z informacji zawartych w rozdziale 5.2. Jest to gleba należąca do PKWG posusznego C (tab. 10).

Z tabeli 12. wynikają normy odwodnienia dla tej gleby: $z_1 = 20 \div 25$ cm, $z_2 = 30$ cm, $z_{opt} = 35$ cm i $z_3 = 50 \div 60$ cm. Bardziej szczegółowe wartości tych norm są zawarte w tabeli 14 i dla topogenicznego zasilania w wodę tego rodzaju gleby oraz nawodnienia ze stałym zwierciadłem wody w rowach wynoszą: $z_{min} = 25$ cm i $z_3 = 70$ cm. Do obliczeń przyjmuje się $z_{min} = 25$ cm i $z_3 = 70$ cm. Wartość z_{min} jest taka jak wartość normy rolno-środowiskowej z_s dla tego rodzaju gleby (rozdział 5.7).

Wartość współczynnika pulsacji tego rodzaju gleby obliczona wg wzoru (8) wynosi:

$$k = 0,016 + 0,0192 \cdot T = 0,016 + 0,0192 \cdot 1,3 = 0,041$$

a retencja pulsacji wg wzoru (6):

$$r = 10 \cdot k \cdot (z_3 - z_{min}) = 10 \cdot 0,041 \cdot (70 - 25) = 18 \text{ mm}$$

Wielkość retencji użytecznej RU obliczono wg wzoru (9), przyjmując z tabeli 16 dla gleby MtIIIcb: $V_3 = 145$ mm, $\delta_{min} = 17$ mm. Wtedy:

$$RU = V_3 - \delta_{min} + 10 \cdot k \cdot (z_3 - z_{min}) = 145 - 17 + 18 = 146 \text{ mm}$$

Jest to wartość zgodna z wartością odczytaną z tabeli 18, z której wynika, że dla gleb rodzaju MtIIcc i głębokości złoża $T = 1,3$ m pomierzono $RU = 145$ mm.

Z obliczeń wynika, że w przypadku łagodnych odwodnień po wiośnie poprzedzonej śnieżną zimą do normy $z_{min} = z_1$ w glebie pozostanie retencja użyteczna o wartości $RU = 146$ mm. W przypadku nawodnień podsiąkowych ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach z odciekem RU wynosiłaby tylko 70 mm (tab. 18).

LITERATURA

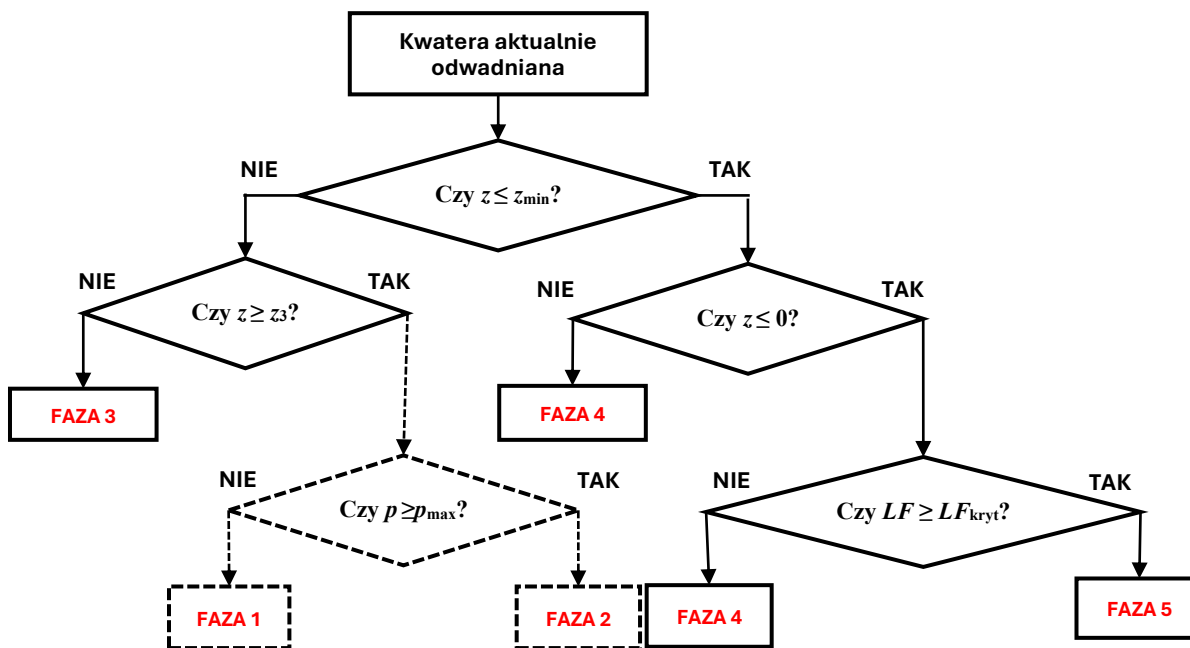
- ŁABĘDZKI L., 2014. Klimatyczne uwarunkowania rozwoju melioracji. W: Uwarunkowania rozwoju melioracji wodnych w Polsce (red. nauk. E. Kaca). Rozprawy naukowe i monografie nr 37. Wydaw. ITP Falenty
- OSTROWSKI J., ŁABĘDZKI L., KOWALIK W., KANECKA-GESZKE E., KASPERSKA-WOŁOWICZ W., SMARZYŃSKA K., TUSIŃSKI E., 2008. Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. Wydaw. IMUZ Falenty
- SOMOROWSKI C., 1971. Materiały do ćwiczeń z melioracji rolnych – stosunki wodne gleb. Dz. Wyd. SGGW
- SZUNIEWICZ J., 1979. Charakterystyka kompleksów wilgotnościowo-glebowych pod kątem parametrów systemu melioracyjnego. Bibl. Wiad. IMUZ nr 58
- SZUNIEWICZ J., CHURSKA CZ., CHURSKI T., 1994. Potential hydrogenic soil-moisture sites and their differentiation in terms of disposal resources of useble water (Potencjalne hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe i ich zróżnicowanie pod względem dyspozycyjnych zapasów wody użytecznej). W: Taxonomy of hydrogenic soils and sites used in Poland (Taksonomia gleb i siedlisk hydrogenicznych stosowana w Polsce). Bibl. Wiad. IMUZ nr 84.
- ZAWADA E., KACA E., NAZARUK G., 1993. Wytyczne sporządzania instrukcji eksploatacji systemu nawodnień podsiąkowych. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie. Styczeń – marzec 1993.

ZAŁĄCZNIK do części III - Schematy blokowe, procedury, akceptowalne normy odwodnień, przykład wytycznych sporządzania instrukcji eksploatacji systemu odwodnień i nawodnień podsięgowych

Schematy blokowe

Poniżej przedstawiono cztery schematy blokowe postępowania przy podejmowaniu decyzji dotyczącej wyboru fazy realizacji nawodnień podsięgowych na kwaterze nawodnień oraz decyzji co do fazy realizacji odpływu regulowanego. Są to schematy odnoszące się do przypadków nawodnień podsięgowych, gdy przed podjęciem decyzji kwatera jest odwadniana (rys. Z1), jest nawadniania (rys. Z2), nie jest ani odwadniana, ani nawadniana (rys. Z3) oraz do przypadku odpływu regulowanego (rys. Z4).

Gdy decyzje dotyczą nawodnień podsięgowych odpowiedni schemat wybiera się na podstawie statusu kwatery przed podjęciem decyzji. Na przykład, jeżeli kwatera jest aktualnie odwadniana to wybiera się schemat na rys. Z1.

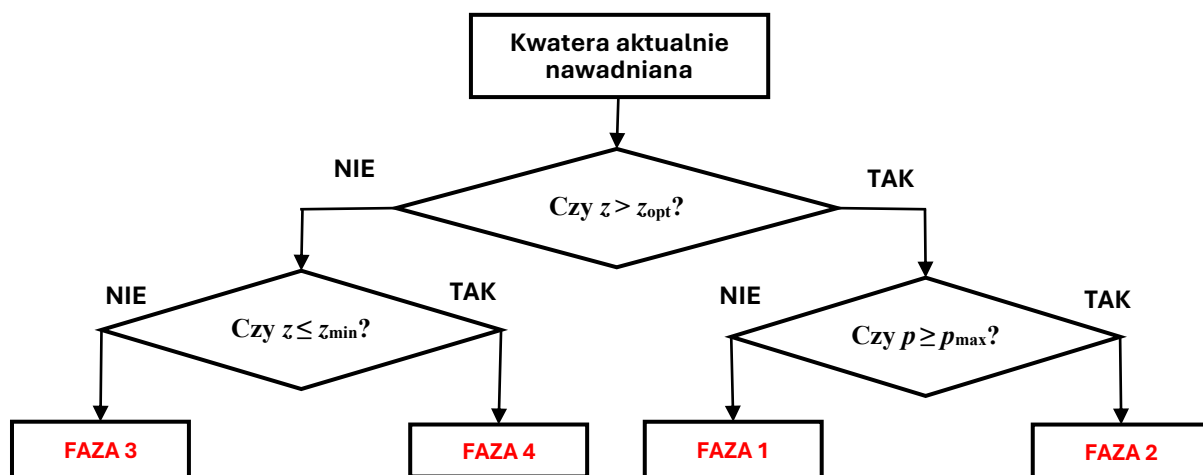


Rys. Z1. Schemat blokowy algorytmu podejmowania decyzji dotyczącej wyboru fazy nawodnienia podsięgowego kwatery aktualnie odwadnianej. Oznaczenia: z – głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu na kwaterze w środku łanu (głębokość do wody gruntowej), $z_{\min}$ – minimalna norma odwodnienia, z_3 – maksymalna norma odwodnienia, p – poziom wody na budowli piętrzącej, $p_{\max}$ – maksymalny poziom wody na budowli piętrzącej (rys. 5), LF – liczba dni nieustającego zalewu powierzchni kwatery, LF_{kryt} – dopuszczalna liczba dni nieustającego zalewu powierzchni kwatery. Linia przerywaną zaznaczono przejście mało prawdopodobne (opr. E. Kaca)

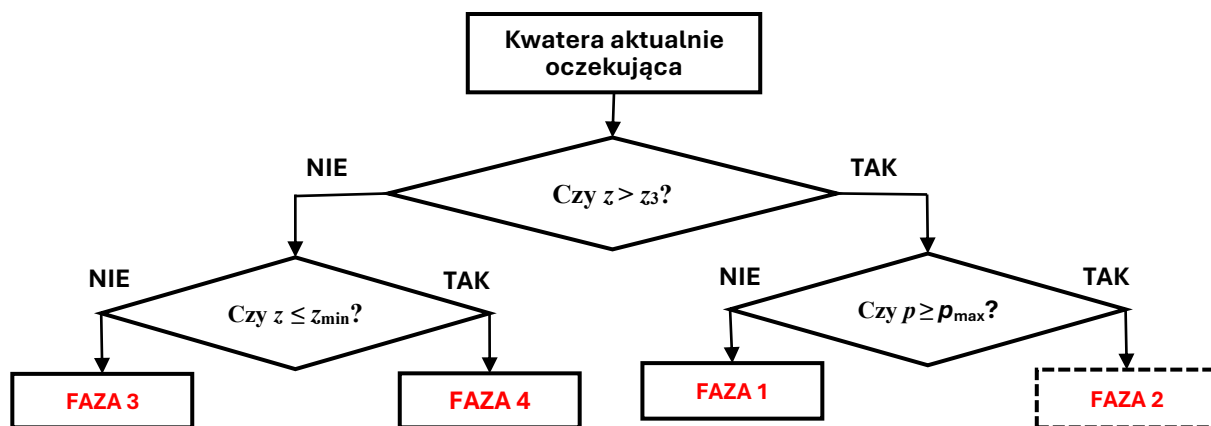
Następnie odpowiada się na zawarte na schemacie pytania w kolejności jak wskazują strzałki 1) Czy głębokość z zalegania zwierciadła wody gruntowej jest równa lub mniejsza od minimalnej normy odwodnienia $z_{\min}$? (pytanie to jest zawarte w pierwszym od góry rombie jako Czy $z \leq z_{\min}$?). Jeżeli NIE to 2) Czy głębokość z zalegania zwierciadła wody gruntowej jest równa lub większa od maksymalnej normy odwodnienia z_3 ? (Czy $z \geq z_3$?). Jeżeli NIE to należy

realizować fazę 3. gospodarowania wodą (oczekiwanie). Jeżeli TAK to 3) Czy poziom wody na budowli piętrzącej (w rowach) jest równy lub większy od stanu maksymalnego $p_{\max}$ (Czy $p \geq p_{\max}$?). Jeżeli NIE to przystępuje się do realizacji fazy 1., czyli napełniania rowów wodą, gdy TAK to do fazy 2. wysokich stanów wody w rowach (hamowanego dopływu wody). Jeżeli odpowiedź na pierwsze pytanie jest pozytywna (TAK) to 4) Czy woda jest na powierzchni terenu? (Czy $z \leq 0$?). Jeżeli NIE to należy realizować fazę 4. niskich stanów wody w rowach (hamowany odpływ), jeżeli zaś TAK to 5) Czy liczba dni LF stagnowania wody na powierzchni kwatery przekracza krytyczną liczbę dni LF_{kryt} lub jest równa tej liczbie (Czy $LF \geq LF_{\text{kryt}}$?). Jeżeli TAK to należy przystąpić do realizacji fazy 5. spustu wody z rowów, jeżeli NIE to do realizacji fazy 4.

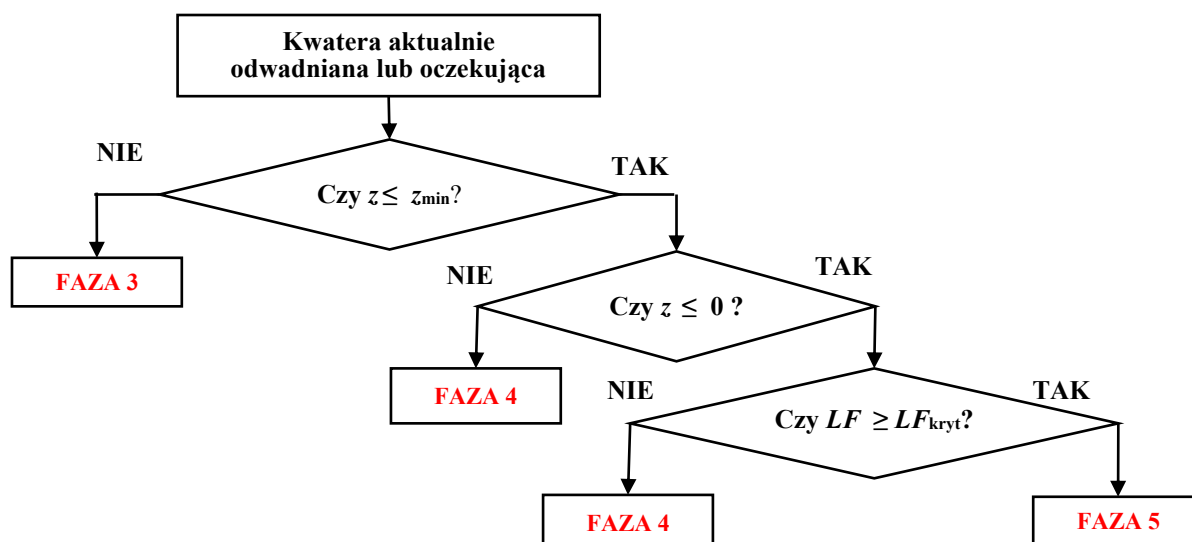
Podobnie postępuje się przy podejmowaniu decyzji co do fazy nawodnienia podsiąkowego kwatery gdy kwatery aktualnie (przed podjęciem) decyzji jest nawadniana (rys. Z2), czy też jest oczekująca na nawadnianie albo odwadnianie.



Rys. Z2. Schemat blokowy algorytmu podejmowania decyzji o fazach nawodnienia podsiąkowego kwatery aktualnie nawadnianej. Oznaczenia symboli jak na rys. Z1 (opr. E. Kaca)



Rys. Z3. Schemat blokowy algorytmu podejmowania decyzji o fazach nawodnienia podsiąkowego kwatery oczekującej, niewymagającej odwodnienia i nawadniania. Oznaczenia symboli jak na rys. Z1 (opr. E. Kaca)



Rys. Z4. Schemat blokowy algorytmu podejmowania decyzji o fazach odpływu regulowanego z kwatery. Oznaczenia symboli jak na rys. Z1 (opr. E. Kaca)

Procedura, w EXCELU, wspomaganie decyzji co do faz nawodnień podsięgowych

W celu ułatwienia decyzji związanych z gospodarowaniem wodą na kwaterze opracowano procedurę w Excelu. Na komputerze w dowolnym arkuszu EXCELA lub w EXCEL na telefonie komórkowym należy stworzyć druk kwestionariusza z pytaniami (dokładnie jak w tabeli Z1, a następnie w komórce C11 wpisać kod instrukcji. Posługiwanie się programem jest bardzo proste. Wystarczy w kolumnie J wpisać odpowiedzi na wszystkie pytania a pojawi się sugestia decyzji. W tabeli Z1 odpowiedzi i sugestie decyzji są przykładowe. Można je stosować do sprawdzenia poprawności zapisu kwestionariusza i kodu instrukcji w arkuszu.

Tabela Z1. Kwestionariusz do wypracowania decyzji dotyczących gospodarowania wodą na podstawie wyników monitoringu, oprogramowany w EXCEL (odpowiedzi i propozycje decyzji są przykładowe) (Opr. E. Kaca)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	Jaki jest status kwatery ? (-1 - odwadniana, 0 - nie odwadniana i nie nawadniana, 1 - nawadniana)								-1
3	Czy zwierciadło wody gruntowej (zw.w.gr.) znajduje się na powierzchni terenu ?							T/N	N
4	Czy zw.w.gr. znajduje się na powierzchni terenu ponad krytyczną liczbę dni LF_{kryt} =.....?							T/N	N
5	Czy zw.w.gr. znajduje się poniżej minimalnej normy odwodnienia z_{min} =.....?							T/N	T
6	Czy zw.w.gr. znajduje się poniżej optymalnej normy odwodnienia z_{opt} =.....?							T/N	N
7	Czy zw.w.gr. znajduje się poniżej maksymalnej normy odwodnienia z_3 =							T/N	N
8	Czy rowy są całkowicie wypełnione wodą?							T/N	T
9									
10	Propozycja decyzji:								
11	Realizuj Fazę 3								

Kod instrukcji gospodarowania wodą na kwaterze do wpisania w komórce C11:
 =JEŻELI(ORAZ(J2<0;J5="T";J7="N");"Realizuj Fazę 3";
 JEŻELI(ORAZ(J2<0;J5="T";J7="T";J8="T");"Realizuj Fazę 2";
 JEŻELI(ORAZ(J2<0;J5="T";J7="T";J8="N");"Realizuj Fazę 1";

JEŻELI(ORAZ(J2<0;J5="N";J3="N");"Realizuj Fazę 4";
 JEŻELI(ORAZ(J2<0;J5="N";J3="T";J4="T");"Realizuj Fazę 5";
 JEŻELI(ORAZ(J2<0;J5="N";J3="T";J4="N");"Realizuj Fazę 4";
 JEŻELI(ORAZ(J2>0;J6="T";J8="T");"Realizuj Fazę 2";
 JEŻELI(ORAZ(J2>0;J6="T";J8="N");"Realizuj Fazę 1";
 JEŻELI(ORAZ(J2>0;J6="N";J5="T");"Realizuj Fazę 3";
 JEŻELI(ORAZ(J2>0;J6="N";J5="N"; J3="N");"Realizuj Fazę 4";
 JEŻELI(ORAZ(J2>0;J6="N";J5="N";J3="T";J4="T");"Realizuj Fazę 5";
 JEŻELI(ORAZ(J2>0;J6="N";J5="N";J3="T";J4="N");"Realizuj Fazę 4";
 JEŻELI(ORAZ(J2=0;J7="T";J8="T");"Realizuj Fazę 2";
 JEŻELI(ORAZ(J2=0;J7="T";J8="N");"Realizuj Fazę 1";
 JEŻELI(ORAZ(J2=0;J7="N";J5="T");"Realizuj Fazę 3";
 JEŻELI(ORAZ(J2=0;J7="N";J5="N"; J3="N");"Realizuj Fazę 4";
 JEŻELI(ORAZ(J2=0;J7="N";J5="N";J3="T";J4="T");"Realizuj Fazę 5";
 JEŻELI(ORAZ(J2=0;J7="N";J5="N";J3="T";J4="N");"Realizuj Fazę 4"))))))))))))))))

Akceptowalne normy odwodnienia

A. Gleby mineralne i organiczno-mineralne

Tabela Z2. Akceptowalne normy (z_1 , z_{opt}) odwodnienia wiosennego i po długotrwałych opadach deszczu, normy maksymalne podczas suszy atmosferycznej (z_3), retencja użyteczna RU w warunkach nawodnień podsiąkowych - wg: SZUNIEWICZ, CHURSKA, CHURSKI, (1994)

Wielkość	PKWG						
	BC		CD			D	
	Me33	F34 F43 F44	Mr31 Mr21	Me31 Me22 Me21	Mi31	Mr11	Me11
Zasilanie topogeniczne (podsiąkowe) (P)							
	Pbc	Pbc	Pcd	Pcd	Pcd	Pd	Pd
a) z_1 , cm	25	40	25	30	30	25	25
z_3 , cm	90	90	60	60	60	50	50
RU , mm	135	95	95	90	85	90	95
b) z_{opt} , cm	45	60	45	50	55	45	45
z_3 , cm	90	90	60	60	60	50	50
RU , mm	75	70	35	60	50	35	60
Zasilanie fluwiogeniczne (zalewowe) (Z)							
a) z_1 , cm	55	40	25	30	30	25	25
z_3 , cm	90	90	60	60	60	50	50
RU , mm	145	100	95	90	85	90	95
b) z_3 , cm	90	90	60	60	60	50	50
RU , mm	100	85	60	60	55	55	65

Objaśnienia: a) nawodnienia ze stałym zwierciadłem wody w rowach i nawodnienia ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach bez odcieku, b) nawodnienia ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach z odciekiem

B. Gleby organiczne

Tabela Z3. Akceptowalne normy odwodnienia wiosennego i po długotrwałych opadach deszczu (z_1 , z_2 , z_{opt}), normy maksymalne podczas suszy atmosferycznej (z_3), retencja użyteczna $RU^{1)}$ przy zadanych wartościach hydrologicznego zasilania profilu w wodę (q), w warunkach nawodnień podsiąkowych²⁾ wg: SZUNIEWICZ, CHURSKA, CHURSKI, (1994)

Wielkość	PKWG								
	A	AB	B	BC	C			CD	
	MtIaa	MtIab, MtIIaa	MtIIbb MtIIba	MtI-IIbc	MtIIcb MtIIca	MtIIcc MtIIcc(1)	MtIIIcc MtIIIcb	MtIIc1 MtIIIc1	MtmItm1 MtmIIIm2 MmIIIm1
Zasilanie soligeniczne naporowe (N) z intensywnością $q = 1 \text{ mm/d}$									
	NA	NAB	Nb						
a) z_2 , cm	□	□	45	□	□	□	□	□	□
z_{opt} , cm	60	60	□	□	□	□	□	□	□
z_3 , cm	120	110	100	□	□	□	□	□	□
RU , mm	230-315	195-270	150-190	□	□	□	□	□	□
q , mm	150	150	150	□	□	□	□	□	□
Zasilanie soligeniczne wyciekowe (W) z intensywnością $q = 0,5 \text{ mm/d}$									
	WA	WAB	WB	Wbc	Wc	Wc			
a) z_1 , cm	□	□	35	30	25	25	□	□	□
z_2 , cm	50	50	□	□	□	□	□	□	□
z_3 , cm	120	110	100	90	80	70	□	□	□
RU , mm	250-350	215-305	165-210	150-190	145-185	145-175	□	□	□
q , mm	80	80	80	80	80	80	□	□	□
Zasilanie topogeniczne (podsiąkowe) (P) z intensywnością $q = 0 \text{ mm/d}$									
	Pa	Pab	Pb	Pbc	Pc	Pc	Pc	Pcd	Pcd
a) z_1 , cm	35	35	35	30	25	25	20	25	30
z_3 , cm	120	110	100	90	80	70	60	60	70
RU , mm	275-395	245-350	165-210	150-190	145-185	145-175	125	120	110
b) z_{opt} , cm	60	60	55	50	35	35	30	35	50
z_3 , cm	120	110	100	90	80	70	60	60	70
RU , mm	210-290	170-225	105-130	80-95	75-90	70-80	60	55	70
Zasilanie fluwiogeniczne (zalewowe) (Z)									
			Zb	Zbc	Zc	Zc	Zc	Zcd	Zcd
a) z_1 , cm	□	□	35	30	25	25	20	25	30
z_3 , cm	□	□	100	90	80	70	60	60	70
RU , mm	□	□	175-235	155-210	150-195	150-190	130	120	115
b) z_3 , cm	□	□	100	90	80	70	60	60	70
RU , mm	□	□	155-200	115-145	95-115	85-100	65	55	75

¹⁾ Dolne wartości RU zaobserwowano w glebach torfowych o miąższości 1,3 m, zaś górne przy miąższości 5 m

²⁾ a) nawodnienia ze stałym zwierciadłem wody w rowach i nawodnienia ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach bez odcieku, b) nawodnienia ze zmiennym zwierciadłem wody w rowach z odciekiem

Przykład wytycznych sporządzania instrukcji eksploatacji systemu odwodnień i nawodnień podsiąkowych (oprac. E. Kaca na podstawie ZAWADA, KACA, NAZARUK (1993))

Zaleca się sporządzanie instrukcji eksploatacji systemu odwodnień i nawodnień podsiąkowych dla obiektów o wielkości od 300 do 3000 ha, stanowiących pod względem systemu gospodarowania wodą funkcjonalną całość, względnie wydzielony funkcjonalnie kompleks w większym systemie wodno-melioracyjnym lub wodno-gospodarczym.

Celem instrukcji eksploatacji obiektów z systemami nawodnień podsiąkowych jest podanie zasad prawidłowej eksploatacji melioracyjnych urządzeń technicznych, umożliwiających optymalne wykorzystanie możliwości produkcji rolniczej na danym obiekcie, z jednoczesną ochroną zasobów naturalnych obszaru.

Instrukcja powinna określać zadania poszczególnych służb eksploatacyjnych oraz metody realizacji tych zadań.

Wskazane jest, aby instrukcja była okresowo aktualizowana, nie rzadziej jednak jak raz na 5 lat. Podstawą aktualizacji powinny być bezpośrednie obserwacje wykonywane w trakcie eksploatacji obiektu i odnotowywane w odpowiedniej dokumentacji eksploatacji obiektu.

W przypadku obiektów niesprawnych technicznie, równolegle z instrukcją eksploatacji obiektu, powinien być opracowywany projekt usprawnienia systemu oraz projekt uzbrojenia obiektu w urządzenia do pomiaru i kontroli.

WSKAZANA FORMA INSTRUKCJI - Instrukcja powinna składać się z części opisowej, zawierającej tabele i harmonogramy, oraz z części mapowej (rysunkowej).

SPIS TREŚCI INSTRUKCJI I WYMAGANY/NIEZBĘDNY ZAKRES INFORMACJI W JEJ POSZCZEGÓLNYCH PUNKTACH:

1. Dane formalne

- przedmiot instrukcji (czego instrukcja dotyczy),
- przeznaczenie instrukcji,
- termin obowiązywania instrukcji (kiedy opracowano i jak długo ma obowiązywać),
- wykonawca i zleceniodawca opracowania,
- wykorzystane materiały.

2. Charakterystyka przyrodniczo-produkcyjna i techniczna obiektu eksploatacji

2.1. Dane ogólne

- nazwa i powierzchnia obiektu,
- położenie administracyjne i hydrograficzne obiektu (wieś, gmina, powiat, województwo, zlewnia (zlewnie), dorzecze, związek obiektu z jednostkami wodnymi wyższego rzędu; opis i mapa przeglądowa w skali 1:25 000 lub 1:50 000,
- warunki społeczno-gospodarcze obiektu (poziom rolnictwa, struktura władania ziemią na obiekcie, granice własności)

2.2. Warunki przyrodnicze obiektu

- klimat (dzielnica klimatyczna, data początku okresu wegetacji, opady średnie i ekstremalne miesięczne i z okresu wegetacyjnego, niedosyty wilgotności powietrza i temperatury – zestawienie tabelaryczne),
- warunki hydrologiczne (w wybranych przekrojach; powierzchnia/powierzchnie zlewni, przepływy charakterystyczne nienaruszalne i dyspozycyjne wynikające z bilansu wodno-gospodarczego zlewni i pozwoleń wodno-prawnych, jakość wody – zestawienia tabelaryczne),

- gleby na kwaterach – (mapa gleb w skali 1:10 000 lub 1:25 000 z konturami: typów, rodzajów, gatunków gleb, prognostycznych kompleksów wilgotnościowo-glebowych, potencjalnych hydrogenicznych siedlisk wilgotnościowych – zestawienie tabelaryczne dla kwater z podaniem powierzchni,
- roślinność na kwaterach (ogólna charakterystyka typów florystycznych, plony potencjalne),
- użytkowanie obiektu i kwater (kośne: na siano, kiszonki i susz, pastwiskowe, kośno-pastwiskowe lub orne – zestawienia tabelaryczne dla kwater z podaniem powierzchni),

2.3. Dane techniczne systemu melioracyjnego na obiekcie

- ogólna charakterystyka systemu melioracyjnego (opis i plan sytuacyjny urządzeń w skali 1:10 000);
- zaopatrzenie obiektu w wodę do nawodnień (parametry budowlę piętrzących i ujęć wody na źródle wody oraz doprowadzalników wody – zestawienia tabelaryczne);
- odprowadzenie wody z obiektu (główny odbiornik/odbiorniki, kanał, pompownia – parametry w zestawieniu tabelarycznym);
- system odwodnień i nawodnień z uwzględnieniem kwater (opis, zestawienie tabelaryczne oraz zasięgi powierzchni na planie sytuacyjnym urządzeń melioracyjnych; tylko odwadnianych, odwadnianych i nawadnianych podsiękowo);
- charakterystyka i stan szczegółowych urządzeń melioracyjnych na kwaterach (opis i parametry urządzeń odwadniająco-nawadniających);
- zestawienie tabelaryczne rowów, budowlę piętrzących i komunikacyjnych;
- urządzenia kontrolno-pomiarowe na obiekcie i kwaterach (opis i lokalizacja na planie sytuacyjnym urządzeń melioracyjnych: znaków wysokościowych, łat wodowskazowych, studzienek kontrolnych, piezometrów oraz urządzeń do pomiaru natężenia przepływu wody na ujęciach);
- drogi rolnicze (długość, szerokość, rodzaj nawierzchni);
- funkcjonowanie urządzeń melioracyjnych (dla obiektów istniejących – na podstawie prób eksploatacyjnych).

3. Gospodarowanie wodą na obiekcie

- 3.1. Obszarowe jednostki melioracyjne - kwatery (obszary, gdzie możliwe jest jednolite gospodarowanie wodą w glebie, wydzielone na podstawie rodzajów gleb, kompleksów wilgotnościowo-glebowych, siedlisk, sposobów użytkowania i rozwiązań technicznych; zestawienia tabelaryczne wielkości powierzchni, z naniesieniem na planie sytuacyjnym urządzeń konturów, numerów i wielkości powierzchni jednostek)
- 3.2. Charakterystyka gospodarowania wodą (zestawienia tabelaryczne i w miarę możliwości opis charakterystyk na planie sytuacyjnym urządzeń melioracyjnych, oddzielnie dla każdej kwatery)
 - normy odwodnienia dla kwater (minimalna, optymalna i maksymalna norma odwodnienia ze względu na wymagania wodne roślin oraz normy ze względu na prace agrotechniczne i pielęgnacyjne w poszczególnych sezonach okresu wegetacyjnego – wiosenne nawożenie, wałowanie, zbiory);
 - charakterystyczne wilgotności gleb na kwaterach.
 - metody regulacji stosunków wodnych gleby na kwaterach (odwodnienie, regulowany odpływ, nawodnienia podsiękowe);
 - kolejność nawodnień kwater.

4. Techniczna eksploatacja urządzeń melioracyjnych

4.1. Obsługa (utrzymanie) urządzeń melioracyjnych

- przeglądy (cel, zakres, metody przeglądów);
- konserwacja urządzeń (zakres, terminy, częstotliwość, technologia robót);
- konserwacja i naprawa dróg rolniczych (zakres, terminy, częstotliwość, technologia robót);
- ogólne zasady bhp prac konserwacyjnych i napraw.

4.2. Użytkowanie urządzeń melioracyjnych

- ochrona przed powodzią
 - zakres, częstotliwość i wykorzystanie obserwacji i pomiarów spływu wielkich wód wiosennych i letnich,
 - użytkowanie urządzeń w czasie przejścia wód wielkich;

- odwodnienia
 - zakres, częstotliwość i wykorzystywanie obserwacji i pomiarów zwierciadła wody na obiekcie
 - użytkowanie urządzeń w czasie odwodnień (opis odwodnienia z zaznaczeniem kolejności otwierania budowli piętrzących, zamykania ujęć wody na obiekcie; czasy odwodnień itp.);
- nawodnienia
 - zakres, częstotliwość i wykorzystywanie obserwacji i pomiarów warunków wodnych na obiekcie (pomiar natężenia przepływu wody i zasobów wodnych w źródle wody, pomiar położenia zwierciadła wody na obiekcie, obserwacja stanu roślinności, warunków meteorologicznych, wilgotności gleby itp.; metody wyznaczania terminów i intensywności nawodnień)*
 - ewidencja poboru wody do nawodnień,
 - użytkowanie urządzeń w czasie nawodnień (opis i harmonogram pojedynczego nawodnienia, z zaznaczeniem kolejności otwierania i zamykania ujęć, budowli rozrządowych i piętrzących na obiekcie, czasy piętrzenia itp.).

4.3. Ochrona przeciwpożarowa torfowisk (zakres ochrony, środki i doprowadzenie wody)

5. Zagadnienia organizacyjno-prawne

- 5.1. Aktualny stan prawny
- 5.2. Organizacja służby eksploatacyjnej obiektu (instytucje, niezbędne służby eksploatacyjne, ich zadania i wyposażenie)
 - organizacja służb odpowiedzialnych za eksploatację techniczną urządzeń melioracyjnych;
- 5.3. Koordynacja eksploatacji technicznej i rolniczej obiektu
- 5.4. Harmonogram przeglądów, nawodnień, odwodnień, nawożenia i zabiegów pratotechnicznych
- 5.5. Szkolenie kadry inżynieryjno-technicznej, służb liniowych i technicznych (zakres i częstotliwość szkolenia)

6. Zakres, treść oraz forma dokumentowania i analiz eksploatacji

- 6.1. Obsługa urządzeń
 - wzory protokołów przeglądów,
 - dokumentacja planistyczna i powykonawcza obsługa.
- 6.2. Gospodarowanie wodą na obiekcie
 - dokumentacja przebiegu zjawisk hydrologicznych oraz pogodowych na obiekcie (zestawienia tabelaryczne: stanów wody w ciekach, poziomy wód gruntowych, opadów, temperatur)
 - przebieg nawodnień i odwodnień
- 6.3. Eksploatacja rolnicza obiektu
 - dokumentacja wspólnych zabiegów pratotechnicznych
 - dokumentacja produktywności obszaru (wysokość i jakość plonu).
- 6.4. Ekonomia eksploatacji
 - nakłady eksploatacyjne (w jednostkach rzeczowych i pieniężnych);
 - efekty produkcyjne (ilość i jakość plonu w stosunku do kosztów eksploatacji technicznej i rolniczej);
 - efekty ekologiczne;
 - efekty niewymierne (pokrycie zapotrzebowania gospodarstw na paszę, intensyfikacja produkcji rolniczej).
- 6.5. Harmonogram powykonawczy
 - graficzne przedstawienie faktycznych działań eksploatacyjnych;
 - opis rozbieżności z harmonogramem ramowym i wnioski na rok następny.

CZĘŚĆ IV

Nawodnienia deszczowniane w praktyce

prof. dr hab. inż. Edmund Kaca, dr inż. Tomasz Horaczek

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy - Państwowy Instytut Badawczy

Spis treści:

1. Technika deszczowniana (E. Kaca).....	200
2. Adaptacja terenu i organizacja nawodnienia (E. Kaca).....	220
3. Zasady nawadniania roślin uprawnych (T. Horaczek)	225
- Załącznik - Skala BBCH	236
4. Strategie (scenariusze) gospodarowania wodą na polach (E. Kaca)	238
5. Sterowanie nawodnieniami deszczownianymi (E. Kaca).....	251

Wprowadzenie. Część IV poświęcona jest nawodnieniom deszczownianym, głównie roślin polowych. W rozdziale 1. w skrócie omówiono zagadnienia dotyczące techniki deszczownianej i metod doboru jej charakterystyk, w szczególności zaś doboru zraszaczy i rurowciągów deszczujących. Zwrócono uwagę (rozdział 2.) na dopasowywanie rozłogu pól do możliwości techniki deszczownianej i odwrotnie - techniki deszczownianej do możliwego rozłogu pól. Zajęto się problematyką organizacji nawodnień pól płodozmianowych za pomocą rurowciągu deszczującego pozycyjnie i rurowciągu nawijanego. Zwrócono uwagę na wydajność pracy takich rurowciągów. Rozdział 3. dotyczy zasad prowadzenia nawodnień wybranych roślin okopowych, zbóż, roślin motylkowych, traw, roślin oleistych. Są tu zagadnienia potrzeb wodnych roślin, okresowych nawodnieniowych dawek wody, krytycznych faz rozwoju i wzrostu roślin, czyli okresów o największym zapotrzebowaniu roślin na wodę, zapotrzebowania na wodę do nawodnień itp. Zagadnienia niezbędne w opracowaniu projektu gospodarowania wodą na deszczowanych polach płodozmianowych oraz ogólnego planu deszczowań omówiono w przedostatnim (4.) rozdziale. Część IV kończy się rozdziałem o metodach operacyjnego sterowania deszczowaniem, a więc głównie wyznaczaniem terminów rozpoczynania, przerywania i kończenia deszczowania na polach płodozmianowych.

1. Technika deszczowniana (E. Kaca)

Systemy deszczowniane należą do mechanicznych systemów nawadniających, gdyż woda jest pobierana ze źródła wody oraz tłoczona do rurowciągów nie grawitacyjnie, ale za pomocą agregatów pompowych, tj. różnego rodzaju pomp i silników je napędzających. Są to obiekty nieraz złożone technicznie, szczególnie tam, gdzie stosuje się mechanizację, automatyzację i precyzyjne sterowanie nawodnieniami. Zagadnienia poruszane w tym punkcie odnoszą się w skrócie do tych zagadnień. Największą uwagę zwraca się na charakterystyki i dobór zraszaczy oraz rurowciągów deszczujących. Liczba jednocześnie czynnych zraszaczy na rurowciągu deszczującym, ich układ (rozmieszczenie) oraz rozwiązania konstrukcyjne warunkują jakość deszczowania, czyli równomierność deszczu, wymiary kropel, natężenie sztucznego deszczu itp. Jakość ta zależy również od ciśnienia i natężenia przepływu wody w rurowciągu deszczującym (ze zraszacami). Od

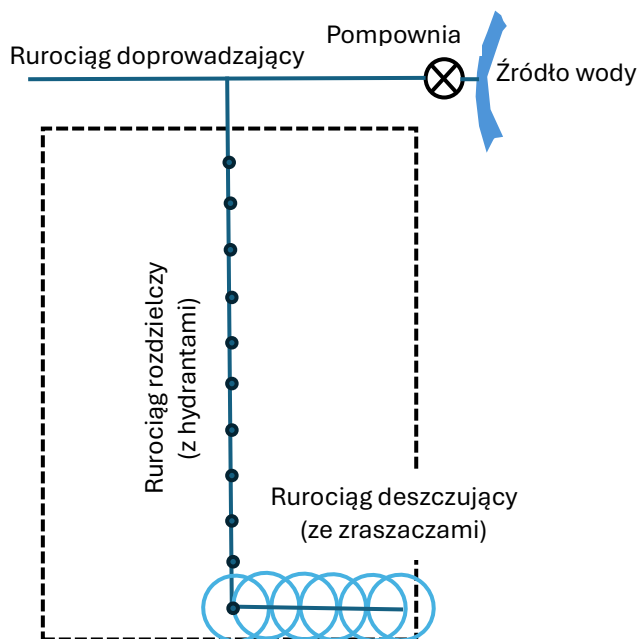
wysokości stosowanego ciśnienia zależy jakość deszczowania zraszaczy oraz koszty deszczowania. Wyższe ciśnienia to wyższe koszty eksploatacji.

1.1. Systemy deszczowniane i ich charakterystyka

W tym punkcie dokonano krótkiego przeglądu istniejących systemów deszczownianych i ich charakterystyk. Zwrócono szczególną uwagę na rodzaje systemów deszczownianych, ich składowe oraz na ich wady i zalety. Stwierdzono, że najważniejszą składową tych systemów są zraszacze oraz rurociągi deszczujące. W dalszej części punktu 1 poradnika omawia się tylko zraszacze obrotowe oraz rurociągi deszczujące przetaczane i rurociągi nawijane. Zraszacze obrotowe są najczęściej używanymi zraszaczami w systemach nawodnień deszczownianych roślin polowych. Rurociągi przetaczane stanowią technikę charakteryzującą się większą mechanizacją w stosunku do rurociągów przenoszonych. Rurociągi nawijane są obecnie coraz szerzej stosowane, szczególnie do deszczowania małych, nieregularnych powierzchni użytków rolnych.

1.1.1. Rodzaje systemów deszczownianych

Na system deszczowniany składają się rurociągi deszczujące ze zraszaczami, rurociągi rozdzielcze z hydrantami, rurociągi doprowadzające wodę do rurociągów rozdzielczych oraz pompownie stałe lub przewoźne, tłoczące wodę ze źródła wody do rurociągów doprowadzających (rys. 1).



Rys. 1. Schemat systemu deszczownianego (opr. E. Kaca)

Ważną częścią systemu deszczującego są rurociągi deszczujące. Rurociąg deszczujący jest rurociągiem wyposażonym w zraszacze. Wyróżnia się (za DRUPKĄ 1980):

- przenośne rurociągi deszczujące,
- przeciągane rurociągi deszczujące,
- przetaczane rurociągi deszczujące,
- frontalne rurociągi deszczujące,

- obrotowe (karuzelowe) rurociągi deszczujące,
- nawijane (bębnowe, szpulowe) rurociągi deszczujące,
- wleczone węże rozwijane ze szpuli,
- mieszane instalacje deszczujące.

Przyjęła się klasyczna klasyfikacja systemów deszczownianych ze względu na mobilność ich urządzeń na **deszczownie stałe, półstałe i deszczownie ruchome**. W deszczowniach stałych rurociągów i agregatów pompowych nie przemieszcza się. Agregaty pompowe (pompy i silniki) są umieszczone na stałe, często w specjalnych budynkach, zaś rurociągi są instalowane w gruncie pod powierzchnią terenu albo przez okres wegetacji pozostają nieruchome na powierzchni terenu. W tym ostatnim przypadku deszczownie nazywane są **deszczowniami okresowo stałymi**. W deszczowniach stałych i okresowo stałych przenoszone są tylko zraszacze, instalowane na stałych (okresowo stałych) hydrantach. W deszczowniach ruchomych mogą być przemieszczane wszystkie elementy deszczowni, łącznie z agregatem pompowym. W deszczowniach półstałych zazwyczaj przemieszczane są ręcznie lub mechanicznie tylko rurociągi deszczujące.

Ze względu na charakter pracy rurociągów deszczujących systemy deszczowniane ogólnie dzielą się na dwie grupy: **systemy deszczujące pozycyjnie i systemy deszczujące w ruchu**. W systemach deszczujących pozycyjnie zraszacze w czasie deszczowania (przez kilka godzin) pozostają na pozycji, zaś w systemach deszczujących w ruchu zraszacze w czasie deszczowania przemieszczają się w ruchu prostoliniowym lub okrężnym. Systemy deszczujące pozycyjnie składają się z rurociągów deszczujących przenoszonych ręcznie, rurociągów przeciąganych, przetaczanych, z instalacji mieszanych (rurociągów wyposażonych w węże ze zraszaczami), rurociągów perforowanych, zraszaczy sadowniczych, działek wodnych itp. Do tych systemów zalicza się również deszczownie stałe i okresowo stałe, z przenoszonymi zraszaczami. Systemy deszczujące w ruchu składają się z rurociągów frontalnych, obrotowych (karuzelowych) oraz z rurociągów nawijanych (bębnowych) z jeżdżącym na kołach lub płozach zraszaczem.

Najważniejszym elementem systemów deszczownianych są zraszacze, gdyż od nich zależy równomierność i intensywność rozpraszania wody po powierzchni w postaci kropel sztucznego deszczu. Od nich zależą również średnice rurociągów, wymagane wysokości ciśnień wody w pompach, a nawet organizacja i pracochłonność deszczowania.

Zraszacze dzieli się na:

- obrotowe,
- nasadkowe,
- rurowe - wielostrumieniowe,
- ozdobne i do specjalnych zastosowań.

Zraszacze obrotowe obracają się wokół pionowej osi obrotu. Jest to pełen obrót (360°) albo obrót częściowy. W tym ostatnim przypadku zrasza się pole w kształcie wycinka koła. Obrót jest powodowany przez różne rodzaje napędów.

Zraszacze nasadkowe nie mają żadnych lub prawie żadnych ruchomych części i dlatego pokrywają sztucznym deszczem jednocześnie całą objętą ich zasięgiem powierzchnię. Dzielą się na zraszacze grzybkowe (z jednym wylotem wody w głowicy) i zraszacze snopowe (z wieloma wylotami wody w głowicy).

Zraszacze rurowe wielostrumieniowe dzielą się na oscylujące rurociągi deszczujące, składające się z aparatu powodującego oscylację rurociągu oraz z małych dysz tryskaczowych rozmieszczonych na całej długości rurociągu oraz na perforowane rurociągi deszczujące.

Zraszacze obrotowe są najczęściej używanymi zraszaczami w systemach nawodnień deszczownianych roślin polowych.

1.1.2. Charakterystyka systemów deszczownianych

Nawodnienia deszczowniane są odpowiednie do stosowania na większość roślin oraz na prawie wszystkie gleby i zróżnicowane warunki topograficzne. Mogą być częściowo i całkowicie automatyzowane, co obniża koszty pracy. Systemy deszczowniane mogą być projektowane tak, aby minimalizować zużycie wody do nawodnień (wysoki współczynnik wykorzystania wody). W przypadku właściwie dobranych zraszaczy ich minimalna intensywność deszczu może wynosić tylko ok. 3 mm/godz. Na tę intensywność ma wpływ głównie rodzaj zraszacza, szczególnie zaś średnica (średnice) jego dyszy (dysz), ciśnienie wody w dyszy oraz układ (rozstaw) zraszaczy na polu.

Wg danych amerykańskich systemy deszczujące pozycyjnie (okresowo przemieszczane) są odpowiednie w przypadku deszczowań powtarzanych nie częściej jak co 5–7 dni. Rośliny płytko korzeniące się na glebach lekkich, o małej pojemności wodnej mogą wymagać częściej powtarzanych nawodnień. Do częstszych nawodnień mogą być używane systemy stałe oraz systemy deszczujące w ruchu. Poza tym systemy stałe mogą być stosowane do ochrony roślin przed mrozem i zamarznięciem, do opóźniania kwitnięcia, do schładzania roślin itp.

Do najważniejszych zalet deszczowni zalicza się dużą ich adaptacyjność, czyli możliwość pracy w zróżnicowanych warunkach, możliwość funkcjonowania przy niskim nakładzie pracy ludzkiej oraz różnorodność zastosowań.

Deszczowanie można efektywnie prowadzić wykorzystując mało wydajne źródła wody zasilające lokalne małe zbiorniki wody. Zalicza się do nich studnie kopane, źródelka wody, małe strugi i strumienie wodne zbierające wody roztopowe i opadowe, a w niektórych przypadkach również sieci wodociągowe. Można deszczować gleby wadliwe, płytkie, warstwowe, o małej przepuszczalności. Deszczuje się tereny o dużych spadkach, nie powodując spływów powierzchniowych i erozji.

Systemy deszczujące pozycyjnie wymagają nakładu pracy tylko raz lub dwa razy w ciągu dnia, aby przestawić rurociąg deszczujący na nowe miejsce. Nakład pracy może być mniejszy w przypadku systemów deszczujących w ruchu, z rurociągami przemieszczanymi mechanicznie. Do tej pracy można zatrudniać pracowników niewykwalifikowanych, gdyż decyzje dotyczące nawodnień podejmuje kierownik. Deszczownie stałe mogą być całkowicie zautomatyzowane.

Systemy deszczowniane mogą mieć specjalne zastosowania. Mogą kształtować mikroklimat, łagodząc ekstremalne warunki. Mogą podnosić wilgotność powietrza, chłodzić rośliny, chronić pączki i liście roślin przed przymrozkami. Poprzez stosowanie łagodnych, przerywanych nawodnień można łagodzić skutki nieregularnych opadów deszczu czy niedoborów opadu. Poprzez odpowiednie deszczowanie można kształtować terminy zbioru plonów. Deszczowanie może być stosowane do przemywania gleb zasolonych, zanieczyszczonych, do zwilżania hałd pokopalnianych, składowisk popiołów.

W deszczowniach współczynnik wykorzystania wody jest wysoki (powyżej 75%) i można go kształtować poprzez właściwe projektowanie i użytkowanie deszczowni.

Do podstawowych wad deszczowni zalicza się wysokie nakłady inwestycyjne i wysokie koszty eksploatacyjne, wymagania co do jakości wody i jej dostaw oraz ograniczenia środowiskowe i projektowe. Nakłady inwestycyjne zależą od rodzaju rurociągów deszczujących, rurociągów doprowadzających wodę i rodzaju pompowni oraz od stopnia mechanizacji i automatyzacji deszczowni. Koszty eksploatacyjne zależą od ilości pompowanej wody oraz od wysokości ciśnienia wody w rurociągach deszczujących.

Deszczownie wymagają budowy zbiornika retencyjnego, gdyż dostawa dużych ilości wody z przerwami (wtedy, gdy się deszczuje) z zewnętrznego źródła nie zawsze jest możliwa i ekonomicznie opłacalna. Nawet małe wahania intensywności dopływu wody mogą być niekorzystne dla deszczowni. Ważna jest również jakość wody, gdyż sól w wodzie zasolonej jest absorbowana przez liście niektórych roślin. Niektóre wody mogą powodować przyspieszoną korozję metalowych części deszczowni.

Nawodnienia deszczowniane trudno stosować na glebach o współczynniku wsiąkania mniejszym niż 3 mm/godz. oraz w warunkach wiatrów o dużej prędkości i ekstremalnie suchych warunkach pogodowych. Kształty pól deszczowanych powinny być zbliżone do prostokąta. W przeciwnym przypadku mechanizacja i automatyzacja deszczowni mogą być utrudnione albo niemożliwe.

Do nawodnień deszczownianych (zwilżających) wykorzystywane są wody powierzchniowe, podziemne oraz oczyszczone ścieki komunalne i ścieki przemysłu rolno-spożywczego. Wody powierzchniowe pobierane są z rzek, jezior lub stawów oraz ze sztucznych zbiorników wodnych, kanałów i rowów melioracyjnych. W szczególnych przypadkach wykorzystuje się wody wgłębne z płytkich i głębszych warstw wodonośnych.

Źródło wody do nawodnień powinno charakteryzować się odpowiednią wydajnością w okresie przewidywanych nawodnień, zaś ujmowana woda - odpowiednią jakością. Przy mniejszych ciekach zazwyczaj buduje się urządzenia piętrzące i zbiorniki wodne, które umożliwiają gromadzenie odpowiedniego zapasu wody na okres deszczowania. Wody ze zbiorników naturalnych lub sztucznych, w porównaniu z wodami płynącymi, są mniej zasobne w tlen, zawierają zróżnicowane ilości składników mineralnych oraz mało zawiesin organicznych i mineralnych. Wody podziemne, z głębszych warstw wodonośnych, zawierają mniej składników pokarmowych i tlenu niż wody powierzchniowe, najczęściej mają też zbyt niską temperaturę (ok. 8–9°C) i mogą zawierać dużo żelaza.

Do nawodnień można wykorzystywać oczyszczone ścieki w ramach tzw. rolniczego wykorzystania ścieków. Ścieki te powinny spełniać szereg warunków sanitarnych, warunków dotyczących zawartości metali ciężkich w nawadnianych glebach oraz warunków położenia gruntów przewidzianych do rolniczego wykorzystywania ścieków oraz rodzaju urządzeń i instalacji przeznaczonych do magazynowania i przygotowywania ścieków. Zagadnienia te są regulowane odpowiednimi rozporządzeniami.

1.2. Zraszacze obrotowe

Wśród zraszaczy obrotowych wyróżnia się zraszacze wolnoobrotowe, pulsacyjne, wirujące i kombinowane. Zraszacze obrotowe obracają się samoczynnie wokół pionowej osi obrotu

o 360° albo częściowo. W tym ostatnim przypadku zrasza się pole w kształcie wycinka koła nazywanego sektorem. Obrót jest powodowany przez różne rodzaje napędów, wśród których najważniejsze to napęd młotkowo-odrzutowy, wahaczowo-odrzutowy, turbinkowy i reakcyjny. Zraszacze wolnoobrotowe są wyposażone w jedną, dwie albo trzy dysze wylotowe o średnicach od 3 do 50 mm (najczęściej od 3 do 20 mm). Posiadają napęd młotkowo-odrzutowy (najczęściej) albo wahaczowo-odrzutowy. W deszczowaniu roślin polowych stosuje się głównie zraszacze wolnoobrotowe.

Podstawowe charakterystyki techniczne zraszaczy obrotowych, mające wpływ na jakość deszczowania to budowa zraszacza, w szczególności ich liczba i średnice dysz, ich pochylenie do poziomu oraz rodzaj napędu powodującego obrót zraszacza. Oprócz parametrów technicznych na jakość deszczowania zraszacza mają wpływ parametry eksploatacyjne, szczególnie ciśnienie wody w dyszach zraszacza.

Zazwyczaj jakość deszczowania ocenia się na podstawie:

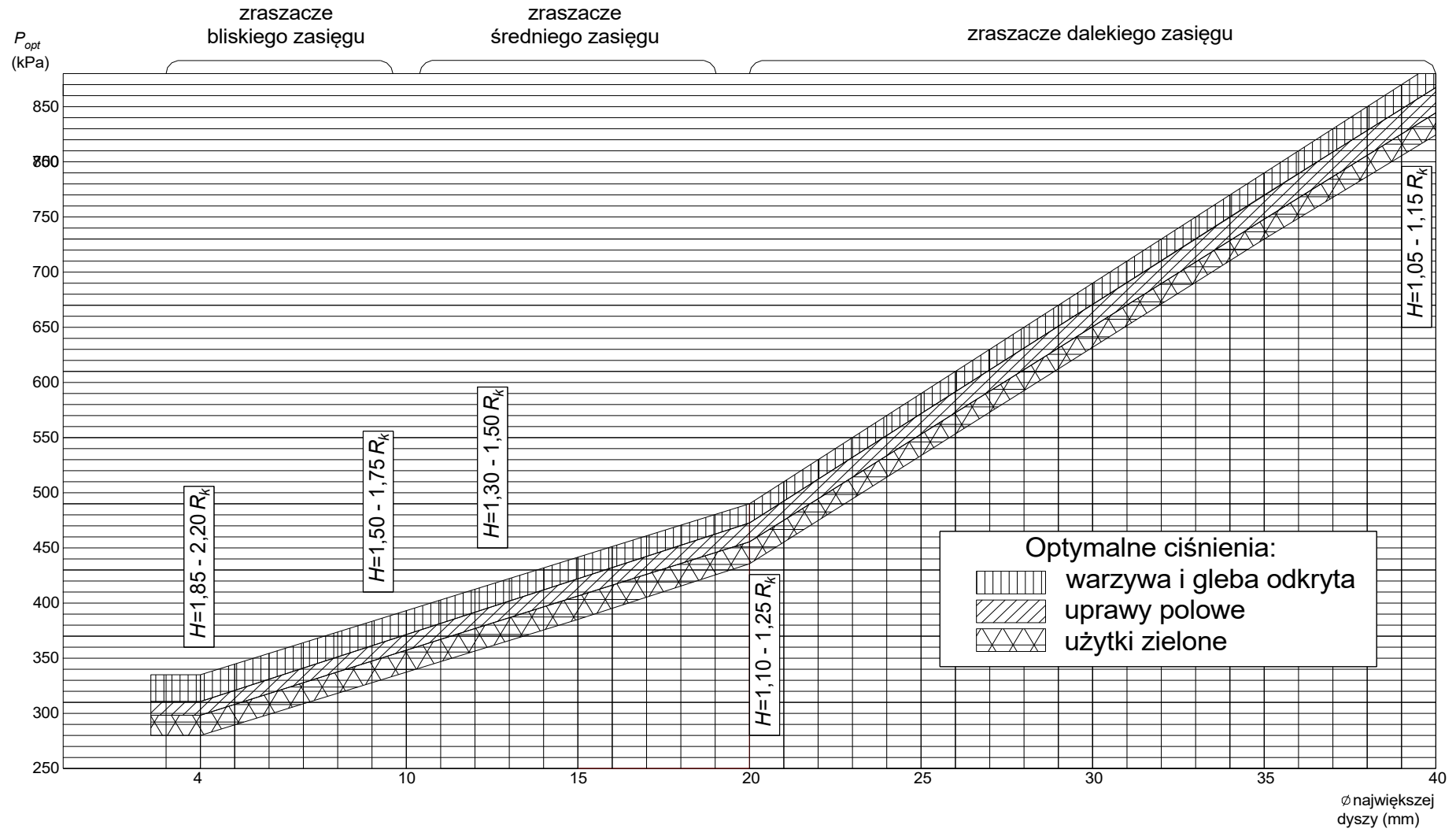
- wielkości, rozkładu i energii kinetycznej kropeł sztucznego deszczu,
- promienia zasięgu i rozkładu deszczu na zraszanej powierzchni,
- natężenia (intensywności) sztucznego deszczu.

1.2.1. Wielkość kropeł sztucznego deszczu

Wielkość kropeł sztucznego deszczu zależy od wysokości ciśnienia wody (H) u wylotu dyszy zraszacza oraz od średnicy dysz, ich konstrukcji, rodzaju napędu itp. Im wyższe ciśnienia tym większe rozbicie na drobne krople wypływającej z dyszy wody, tym mniejsza energia kropeł trafiających na powierzchnię roślin czy powierzchnię odkrytej gleby. Oznacza to, że w warunkach eksploatacyjnych można kształtować wielkość kropeł poprzez dobór odpowiedniego ciśnienia na dyszach zraszacza. Ze względu na wymagane ciśnienie robocze w dyszy wypływowej zraszacza wyróżnia się

- zraszacze na niskie ciśnienie $H < 350$ kPa,
- zraszacze na średnie ciśnienie $H = 350$ do 600 kPa,
- zraszacze na wysokie ciśnienie $H > 600$ kPa.

Z danych włoskich wynika, że wielkość kropeł można oceniać na podstawie stosunku zasięgu zraszania R do wysokości ciśnienia H . Przy stosunku $R/H < 1$ tworzone są bardzo drobne krople, pożądane w warzywnictwie, zaś przy $R/H > 1,3$ krople wielkie, nieprzydatne w deszczowaniu. W przedziale R/H od 1 do 1,3 powstają krople przydatne do nawodnień. Im wyższy ten stosunek tym krople są o coraz większej średnicy, przydatne do nawadniania roślin i gleb bardziej odpornych na uszkodzenia. Wg opinii DRUPKI (1980) dane włoskie mogą mieć zastosowanie tylko do zraszaczy o średnicach dysz od kilkunastu (ok. 16 mm) do kilkudziesięciu mm. Każdy szereg i typoszereg zraszaczy mają swój właściwy zakres ciśnień. Orientacyjne wartości ciśnień można wyznaczyć na podstawie średnicy największej dyszy zraszacza z diagramu opracowanego przez DRUPKĘ (1980) (rys. 2). Są to ciśnienia przy których uzyskuje się odpowiednie rozbicie na krople oraz odpowiedni rozkład opadu na nawadnianym obszarze w zasięgu zraszacza.



Rys. 2. Sugerowane (optymalne) ciśnienie P_{opt} w dyszach zraszaczy obrotowych w zależności od deszczowanych roślin lub użytków (wg DRUPKI 1980).

Oznaczenia: R_k – zasięg zraszania wg katalogu w m, H - wysokość ciśnienia wody na dyszy zraszacza w metrach słupa wody.

Przelicznik: $H = P/9,81 \approx P/10$, gdzie P ciśnienie w kPa

1.2.2. Promień zasięgu i rozkład wysokości sztucznego opadu deszczu na zraszanej powierzchni

Promień zasięgu zraszacza (R) i rozkład wysokości (natężenia) sztucznego deszczu zależy od:

- średnicy i konstrukcji dyszy oraz rury strumieniowej, a także od kąta nachylenia osi dyszy do poziomu i rodzaju napędu,
- wielkości ciśnienia wody w dyszy,
- prędkości i kierunku wiatru podczas zraszania.

Zasięg zraszacza zależy od cech konstrukcyjnych zraszacza, szczególnie zaś od kąta nachylenia geometrycznej osi dyszy do poziomu. Przy dużych i małych kątach w stosunku do kąta optymalnego (23–32°) zasięg ten jest mniejszy. Rodzaj napędu zraszacza ma wpływ na prędkość jego obrotu wokół pionowej osi. Przy małej prędkości obrotowej zraszacza uzyskuje się największy zasięg. Głównymi czynnikami kształtującymi zasięg zraszania i rozkład deszczu są ciśnienie wody w dyszy zraszacza i prędkość wiatru. Przy wietrze o prędkości powyżej 4 m/s deszczowanie, szczególnie zraszaczami o większym zasięgu, może być nieuzasadnione. Wg badań IMUZ w obliczeniach należy stosować zredukowany katalogowy zasięg zraszania (przykład wartości katalogowej podano w tab. 1). Wtedy wartość promienia zasięgu zraszania wyznacza się na podstawie katalogów, jego wartość praktyczną zaś wg wzoru:

$$R_p = k_R R_k \quad (\text{m}) \quad (1)$$

gdzie:

- R_p – praktyczny (efektywny) promień zasięgu, m,
- R_k – promień zasięgu zraszania według katalogu, m,
- k_R – współczynnik redukcji zasięgu zraszacza.

Przy prędkości wiatru od 0 do 2,5 m/s zaleca się stosować współczynniki redukcyjne $k_R = 0,90$ – $0,95$, zaś przy prędkości powyżej 2,5 m/s $k_R = 0,80$ – $0,91$. Mniejsze wartości przyjmuje się przy większej prędkości wiatru.

Tabela 1. Przykład podstawowych danych techniczno-eksploatacyjnych zraszacza obrotowego danego typu

Średnica dyszy (mm)	Ciśnienie P w dyszy (kPa)	Promień R_k zasięgu (m)	Wydatek q (l s ⁻¹)
6	294	17,5	0,60
	343	18,0	0,65
	392	18,5	0,70
	441	19,0	0,75
8 + 6	294	20,0	1,70
	343	21,0	1,83
	392	21,5	1,96
	441	22,0	2,10

Ze względu na praktyczny promień zasięgu zraszacze obrotowe dzieli się na:

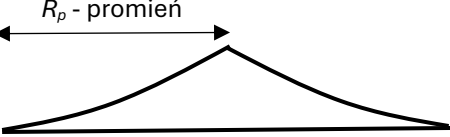
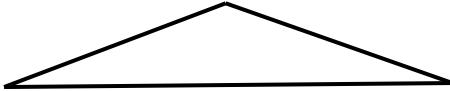
- zraszacze o bliskim zasięgu ($R_p < 20$ m),
- zraszacze o średnio bliskim zasięgu ($R_p = 20 - 30$ m),

- zraszacz średnio dalekiego zasięgu ($R_p = 30 - 40$ m),
- zraszacz o dalekim zasięgu ($R_p > 40$ m).

Rozkłady wysokości (natężenia) sztucznego deszczu, przy różnych średnicach dysz i ciśnień wody w dyszy, powinny być podawane przez producentów. Rozkład taki przy zadanym (optymalnym) ciśnieniu w dyszy zraszacza można pomierzyć metodą naczyń podstawianych na polu zasięgu zraszacza deszczującego w warunkach ciszy.

Charakterystyczne rozkłady deszczu wzdłuż średnicy zasięgu zraszacza w warunkach bezwietrznych pokazano w tabeli 2. Rozkłady A i B są charakterystyczne dla zraszaczy posiadających dwie i więcej dysz, rozkłady C i D dla zraszaczy jednodyszowych w warunkach rekomendowanego ciśnienia. Rozkład E jest kształtowany przez armatki wodne (zraszacz dalekiego zasięgu) lub zraszacz pracujący przy ciśnieniu niższym od rekomendowanego dla danej (największej) średnicy dyszy. Zraszacz z prostującymi łopatkami znajdującymi się tuż przed dyszą również mają tendencję do wytwarzania profilu typu E.

Tabela 2. Typy rozkładu deszczu wg Christiansena i odpowiadająca im rozstawa zraszaczy w % od efektywnego promienia zraszania (R_p) po przekształceniu (przez E. Kacę) procentów od średnicy na procenty od promienia R_p (KELLER, BLIESNER 1990)

Rozkłady deszczu		Rekomendowana rozstawa w % od efektywnego promienia R_p zasięgu zraszacza		
Typ	kształt	kwadrat ¹⁾	trójkąt równoboczny	prostokąt (a x b)
A		100	100	80x(120 do 130)
B		110	130	80x120
C		120	130	80x120 do 130
D		80 (140)	140 - 150	80x140 do 150
E		80 (160)	160	80x160

¹⁾ w nawiasie podano rozkład dopuszczalny

1.2.3. Układ zraszaczy w planie

Najczęściej stosuje się trzy układy stanowisk zraszaczy w planie: trójkątny, prostokątny i kwadratowy (układ trójkątny tylko w rurowodach przenośnych). Układy te charakteryzują dwa wymiary a i b ; gdzie a – oznacza rozstaw zraszaczy wzdłuż rurowodu deszczującego, b – rozstaw zraszaczy w kierunku przemieszczania rurowodu deszczującego. Wielkość b jest również rozstawem stanowisk rurowodów deszczujących.

Układ stanowisk zraszaczy powinien zapewnić równomierne pokrycie opadem nawadnianego obszaru i dlatego najwłaściwsza metoda jego wyznaczania polega na wykorzystywaniu charakterystyk rozkładu opadu wokół zraszacza. W przypadku, gdy takie charakterystyki są niedostępne wymiary a i b powinny wynikać z wartości praktycznego promienia R_p zasięgu zraszania. Ogólne wskazania wg danych amerykańskich dla wszystkich układów zraszaczy zostały opisane w tabeli 2 (KELLER, BLIESNER 1990), a dla układów prostokątnych w tabeli 3 (DRUPKA 1980). Wg danych amerykańskich rozkłady zraszaczy dla układów prostokątnych są bardziej zagęszczone, szczególnie wzdłuż rurowodów deszczujących, a przez to zraszanie powinno być bardziej odporne na destrukcyjne działanie wiatru wiejącego w kierunku prostopadłym do rurowodów deszczujących.

Tabela 3. Układy prostokątne stanowisk zraszaczy obrotowych (DRUPKA 1980)

Oznaczenie	Układ	
	prostokątny średnio zagęszczony	prostokątny maksymalnie zagęszczony
Warunki ograniczające rozstaw	$a = 1,0 \div 1,2 R_p$	$a = 0,8 \div 1,0 R_p$
	$b = 1,4 \div 1,6 R_p$	$b = 1,4 \div 1,7 R_p$
Rodzaj zraszaczy	zraszacze średniego zasięgu ($R_p = 20-40$ m); w uzasadnionych przypadkach – zraszacze bliskiego zasięgu ($R_p < 20$ m)	zraszacze bliskiego zasięgu ($R_p < 20$ m)

Objaśnienia: a – rozstawa zraszaczy wzdłuż rurowodu deszczującego, m; b – odległość między kolejnymi stanowiskami rurowodu deszczującego, m.

Układ prostokątny maksymalnie zagęszczony, szczególnie wzdłuż rurowodów deszczujących (wtedy $a = 0,8 R_p$), powinien być projektowany w przypadku, gdy przewiduje się deszczowanie przy większych prędkościach wiatru (3,5–4,5 m/s) i dominującym kierunku wiatru równoległym do kierunku przemieszczania się rurowodów deszczujących. Można rozważyć rurowodzie deszczujące z taką rozstawem stanowisk zraszaczy, aby była możliwość instalowania dodatkowych zraszaczy i przechodzenia z układu prostokątnego średnio zagęszczonego w układ maksymalnie zagęszczony.

W przypadku dominujących kierunków wiatrów prostopadłych do kierunku przemieszczania się rurowodów deszczujących należy stosować maksymalne zagęszczenie rozstawy rurowodów deszczujących (wymiar b). Najbardziej odporne na destrukcyjne działanie większych wiatrów są deszczownie z najbardziej zagęszczonymi układami $a \times b$ stanowisk zraszaczy.

Ustalając rozstaw $a \times b$ należy brać również pod uwagę charakterystyki konstrukcyjne rurowodów deszczujących. Np. w przypadku rurowodu przetaczanego (jak na rys. 4) gniazda pod zraszacze są co 10 m. W tym przypadku rozstawa a powinna być wielokrotnością 10 metrów.

Rozstawa b powinna być wielokrotnością obwodu koła podporowego. Przy średnicy 1500 mm obwód ten ma długość 1,41 metra.

1.2.4. Natężenie (intensywność) sztucznego deszczu

Istotnym parametrem ze względu na nawadnianą glebę i rośliny jest natężenie (intensywność) sztucznego deszczu odniesione do wyróżnionej powierzchni terenu. Najczęściej podaje się dwa wskaźniki tego natężenia:

- 1) maksymalne natężenie i_m deszczu, które występuje w chwili nawadniania przez zraszacz małego wycinka koła oraz
- 2) średnie natężenie i deszczu na powierzchni $a \times b$ wyznaczonej przez układ zraszaczy.

Chwilowe natężenie i_m deszczu wyznacza się ze wzoru:

$$i_m = 3600 \frac{q \cdot \tau}{\pi \cdot R_p^2} \quad (\text{mm/godz.}) \quad (2)$$

gdzie:

- q – wydatek zraszacza (l/s),
- τ – liczba przesunięć zraszacza w obrocie o kąt pełny (360°),
- R_p – praktyczny promień zasięgu zraszania (m),
- π – przyjęto $\pi = 3,14$.

Maksymalna intensywność deszczu i_m nie powinna przekraczać wartości granicznej, przy której nie tworzą się jeszcze na nawadnianej powierzchni dłużej zalegające kałuże wody. Wartość tę ustalono jako pięciokrotną wielkość miarodajnej prędkości W_m wsiąkania wody w glebę ($i_m < 5W_m$).

Miarodajna prędkość W_m wsiąkania wody w glebę to prędkość, jaka wystąpi w momencie, gdy w glebę wsiąknie podwójna dawka polewowa netto d . Prędkość tę można obliczyć na podstawie dawki polewowej netto oraz krzywej prędkości wsiąkania $W(t)$ wody w glebę i krzywej sumowej ilości $V(t)$ wody, jaka została wprowadzona do gleby od początku nawadniania do momentu t . Obliczenia wykonuje się wg wzoru opracowanego przez KACĘ i in. (2018):

$$W_m = W_1 \left[\frac{2 \cdot d(\alpha + 1)}{W_1} \right]^{\frac{\alpha}{\alpha + 1}} \quad \text{mm/godz.} \quad (3)$$

gdzie:

- W_1 – prędkość wsiąkania wody w momencie pierwszej jednostki czasu (tzn. dla $t = 1$ godz.), mm/godz.,
- d – dawka polewowa netto, mm
- α – współczynnik zależny od gleby, zawarty zazwyczaj w granicach $<-0,8; -0,3>$.

Orientacyjne wartości parametrów W_1 i α wg danych amerykańskich zestawiono w tabeli 4. Średnie natężenie i deszczu na powierzchni $a \times b$ wyznaczonej przez układ zraszaczy (intensywność zespolona) wyraża się wzorem:

$$i = 3600 \frac{q}{a \cdot b} \quad \text{mm/godz.} \quad (4)$$

gdzie:

- q , jak we wzorze (2),
- a, b - rozstawy stanowisk zraszaczy w układzie prostokątnym/kwadratowym (m).

Tabela 4. Wartości parametrów opisujących prędkość wsiąkania wody w glebę należącą do różnych grup granulometrycznych wg danych amerykańskich (SRITHARAN 1992)

Grupa granulometryczna	Wartości parametrów	
	W_1	α
	mm/godz.	(-)
Ił ciężki	7,8	-0,50
Gлина ilasta	11,1	-0,46
Pył ilasty	20,6	-0,38
Pył gliniasty	30,1	-0,33
Gлина drobnopiaszczysta	33,3	-0,31
Gлина grubopiaszczysta	36,6	-0,30
Piasek luźny drobnoziarnisty	49,0	-0,28
Piasek luźny gruboziarnisty	60,9	-0,27

Średnia intensywność deszczu również nie może przekraczać wartości granicznej ($i < i_{kr}$), jej przekroczenie prawdopodobnie spowoduje erozję powierzchniową gleby. Wartość graniczną wyznacza się z tabeli 5. Dla gleb odkrytych wielkości te mogą być zmniejszone o 25%, z kolei dla traw i lucerny mogą być zwiększone o 25%. W przypadku deszczowań za pomocą zraszaczy dalekiego zasięgu (armatki wodne) intensywność deszczu powinna być zmniejszona o 25%, gdyż urządzenia te emitują duże krople deszczu (o dużej energii).

Tabela 5. Orientacyjne maksymalne dopuszczalne natężenie i_{kr} deszczu (mm/godz.) dla poszczególnych gleb pokrytych roślinnością oraz wielkości spadku deszczowanych pól i użytków (KELLER, BLIESNER 1990)

Warunki glebowe i budowa profilu	Spadki terenu (%)			
	0-5	5-8	8-12	12-16
Bardzo lekkie gleby piaszczyste, jednorodne w profilu do gł. 1,8 m (piaski luźne i słabo gliniaste)	50	38	25	13
Gleby jak wyżej, lecz na ciężkim podłożu	38	25	19	10
Lekkie i średnie gleby piaszczysto-gliniaste jednorodne w profilu do gł. 1,8 m, piaski gliniaste lekkie i mocne, gliny lekkie piaszczyste (strukturalne)	25	20	15	10
Gleby jak wyżej, lecz na ciężkim podłożu	19	13	10	8
Lekkie i średnie gliny pyłowo-piaszczyste jednorodne w profilu do gł. 1,8 m	13	10	8	5
Gleby jak wyżej, lecz na ciężkim podłożu	8	6	4	2,5
Gliny ciężkie, piaszczyste, gliny ciężkie pylaste, gleby ciężkie ilaste	4	2,5	2	1,5

Według średniej intensywności i deszczu na powierzchni $a \times b$ wyznaczonej przez układ zraszaczy wydziela się:

- zraszacze o małej intensywności $i \leq 6$ mm/godz.,
- zraszacze o średniej intensywności $i = 7$ do 16 mm/godz.,
- zraszacze o dużej intensywności $i > 16$ mm/godz.

1.2.5. Zasady doboru zraszaczy obrotowych (wolnoobrotowych)

Przy wyborze zraszaczy należy kierować się:

- rodzajem upraw i użytków,
- rodzajem gleb,
- prędkością wiatrów,
- przewidywaną organizacją i warunkami eksploatacji deszczowni,
- rozległością i ukształtowaniem powierzchni nawadnianego terenu,
- rodzajem i jakością rozdeszczowywanej cieczy,
- sposobem przemieszczania rurociągów deszczujących.

Ważne jest poznanie zalet i wad branych pod uwagę zraszaczy. Znaczący wpływ na taką charakterystykę ma zasięg (promień zraszania R_p) zraszaczy. Wg DRUPKI (1980) do zalet zraszaczy o małym zasięgu zalicza się:

- wytwarzanie delikatnego opadu, najmniej szkodzącego glebie i roślinom w początkowym stadium ich rozwoju,
- małą i średnią intensywność deszczowania, co umożliwia deszczowanie wszystkich rodzajów gleb oraz pól leżących na skłonach, bez obawy powstawania spływów powierzchniowych wody i erozji gleb,
- możliwość pracy przy niższych ciśnieniach,
- długi czas pracy (4–8 godz.) na tym samym stanowisku bez obsługi.

Wśród wad wymienia się natomiast mały zasięg, co wpływa na zwiększoną pracochłonność. Wymienione zalety i wady predestynują te zraszacze do zastosowań na mniejszych powierzchniach, a przede wszystkim w ogrodnictwie.

Zaletą zraszaczy średnio dalekiego zasięgu jest ich większy zasięg. Mają one jednak wiele wad, w tym:

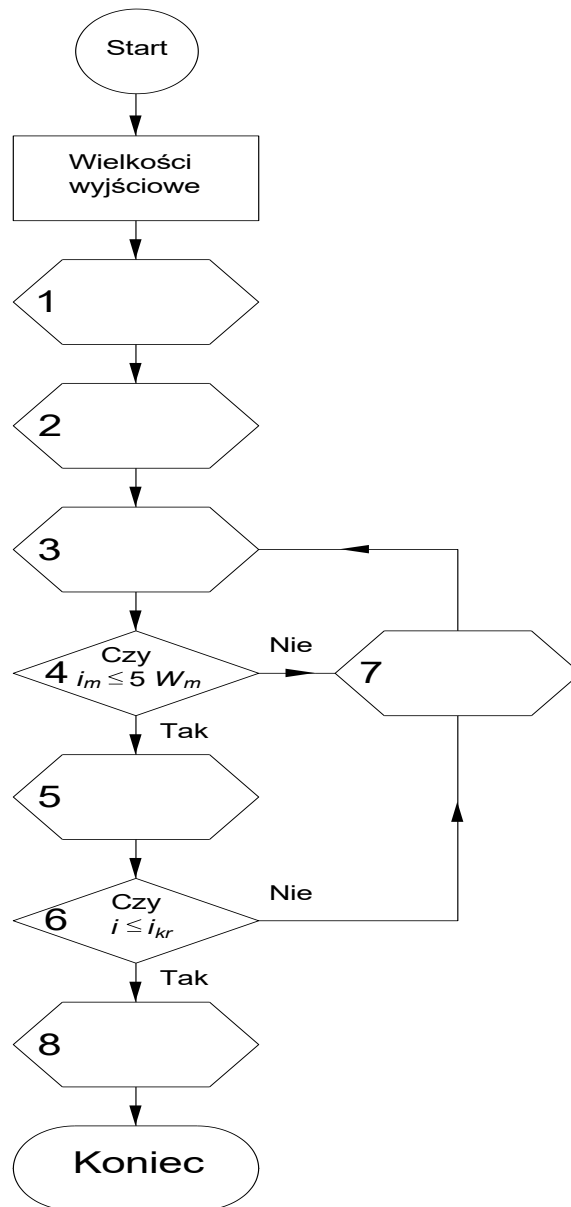
- duże natężenie deszczu oraz znaczna energia spadających kropel deszczu,
- znaczna podatność na wpływ wiatru, co powoduje, że można deszczować w przypadku pogody bezwietrznej i bardzo słabych wiatrów,
- większe ciśnienie w dyszach zraszaczy, co powoduje wzrost kosztów eksploatacji.

Zraszacze te mogą być stosowane do nawadniania dużymi dawkami wysokich i zwartych roślin polowych.

Zraszacze średnio dalekiego i dalekiego zasięgu nie powinny być stosowane do rozdeszczowywania nawozów mineralnych i środków ochrony roślin, z uwagi na małą równomierność rozkładu sztucznego deszczu.

1.2.6. Algorytm wyboru zraszaczy obrotowych (wolnoobrotowych)

Poniżej podano opis doboru (sprawdzania) typu i parametrów zraszacza obrotowego na rurociągu pracującym pozycyjnie (np. na rurociągu przetaczanym), przedstawiony w postaci schematu blokowego (rys. 3) oraz algorytmicznego opisu wg KACY i in. (2018):



Rys. 3. Uproszczony schemat blokowy doboru typu i parametrów zraszacza obrotowego (opis czynności w tekście)

1. Na podstawie opisów zraszaczy w literaturze i w katalogach publikowanych np. na stronach internetowych producentów (przykład tab. 6) oraz danych wyjściowych do projektu deszczowni dokonaj wstępnego wyboru typu zraszacza.

2. Ze zbioru zraszaczy wybranego typu, wybierz na podstawie katalogów (przykład w tab. 1) zraszacz o takiej liczbie i takich średnicach dysz, które w sumie dają największy wydatek.

3. Na punkt ten składa się kilka czynności:

3.1. Na podstawie średnicy dyszy zraszacza, przy zraszaczach zaś wielodyszowych na podstawie średnicy największej dyszy z wykresu (rys. 2) wyznacz ciśnienie sugerowane P_{opt} ;

3.2. Z katalogu wybranego typu zraszacza (przykład - tabela 1), dla ciśnienia sugerowanego P_{opt} , interpolując liniowo wyznacz wydatek q zraszacza oraz katalogowy promień R_k zasięgu zraszacza;

- 3.3. Oblicz: wg wzoru (1) praktyczny promień R_p zasięgu zraszacza;
- 3.4. Oblicz wg wzoru (2) chwilowe natężenie i_m deszczu;
- 3.5. Oblicz wg wzoru (3) miarodajną prędkość W_m wsiąkania wody w glebę. Wartości parametrów do wzoru (3) można odczytać z tabeli 4.
4. Sprawdź, czy $i_m \leq 5W_m$. Jeżeli tak – realizuj krok 5, jeśli nie – realizuj krok 7.
5. Ustal możliwe wartości charakterystyk konstrukcyjnych rurociągu deszczującego, warunkujących układ $a \times b$ zraszaczy w planie (np. rozstawy gniazd pod zraszacz na rurociągu deszczującym, rozstawy hydrantów na rurociągu rozdzielczym). Wybierz taki układ zraszaczy i takie wartości $a \times b$, które spełniają wymagania wynikające z tabeli 3, a następnie wg wzoru (4) oblicz średnią intensywność i deszczu na powierzchni $a \times b$ wyznaczonej przez układ zraszaczy. Z tabeli 5 odczytaj graniczną intensywność i_{kr} deszczowania.
6. Sprawdź, czy $i \leq i_{kr}$. Jeżeli tak – realizuj krok 8, jeżeli nie – realizuj krok 7.
7. Na podstawie katalogu danego typu zraszacza (przykład – tab. 1), ze zbioru zraszaczy tego typu wybierz zraszacz o takich średnicach dysz, które dawałyby nieco mniejszy wydatek q od zraszacza poprzednio przyjętego.
- Realizuj punkt 3.
8. Zanotuj: typ zraszacza, wielkości średnic jego dysz, wartość ciśnienia sugerowanego P_{opt} , wydatek q zraszacza, katalogowy i praktyczny promień zraszania (R_k , R_p), układ i rozstaw a i b stanowisk zraszaczy oraz średnie natężenie deszczu.
- Punkt 8. kończy czynności doboru typu zraszacza i jego parametrów.

Tabela 6. Przykład charakterystyk opisowych danego typu zraszaczy

Typ ¹⁾ zraszacza	Przeznaczenie
X1	Deszczowanie upraw polowych i wyrośniętych warzyw, pastwisk (zwłaszcza, gdy deszczowanie połączone jest z nawożeniem nawozami mineralnymi) oraz zielonek lucernianych i trawiastych. Woda czysta lub dobrze oczyszczone ścieki. Gleby średnio i dobrze przepuszczalne.
X2	Przeznaczenie jak wyżej, lecz deszczowanie głównie gnojowicą i ściekami.
X3	Deszczowanie upraw warzywnych, plantacji jagodowych oraz innych upraw i kultur wymagających delikatnego zraszania. Deszczowanie niewielkich obszarów upraw polowych na glebach ciężkich (słabo przepuszczalnych). Woda czysta.
X4	Deszczowanie wyrośniętych gęstych upraw polowych (buraki cukrowe, kukurydza), pastwisk, lucernisk. Woda czysta i oczyszczone ścieki. Gleby dobrze przepuszczalne. Nie stosuje się w przetaczanych rurociągach deszczujących.

¹⁾ przez X oznacza się fikcyjny typ zraszacza bez podawania nazwy jego producenta

1.2.7. Przykład doboru typu i parametrów zraszacza deszczującego pozycyjnie

W przykładowym gospodarstwie rolnym prowadzi się produkcję na pięciu polach płodozmianowych. W następnym roku na jednym z pól będą uprawiane buraki cukrowe. Pola płodozmianowe położone są na glinie piaszczystej jednorodnej w profilu do głębokości 1,5 m. Średnie spadki terenu na tym polu wynoszą ok. 5%. Dobierz typ i parametry zraszacza do deszczowania buraków rurociągami przetaczanymi o parametrach jak na rysunku 4.

1. Na podstawie opisów zraszaczy w przykładowej tabeli 1 wstępnie zdecydowano, że będzie to zraszacz typu X1,

2. Z przykładowego katalogu w tabeli 1 wstępnie ustalono, że będzie to zraszacz obrotowy o napędzie młoteczkowo-uderzeniowym, dwudyszowy o średnicach dysz 8 i 6 mm. Zraszacze dwudyszowe charakteryzują się większym wydatkiem niż zraszacze jednodyszowe z tabeli 1. Zraszacz taki obraca się o kąt 360° , wykonując $\tau = 40$ chwilowych przesunięć.

3. Ustalono parametry zraszania zraszaczem:

3.1. Z rysunku 2 wynika, że przy największej średnicy dyszy zraszacza (8 mm) sugerowane ciśnienie na dyszy powinno wynosić $P = 345$ kPa,

3.2. Z przykładowego katalogu w tabeli 1 ustalono, interpolując liniowo, że wydatek zraszacza przy ciśnieniu $P = 345$ kPa wyniesie

$$q = 1,83 + (1,96 - 1,83) / (392 - 343) \cdot (345 - 343) = 1,84 \text{ l/s,}$$

zaś katalogowy promień zraszania

$$R_k = 21,0 + (21,5 - 21,0) / (392 - 343) \cdot (345 - 343) = 21,0 \text{ m.}$$

3.3. Praktyczny promień zraszania przy prędkości wiatru powyżej 2,5 m/s, obliczony wg wzoru (1) wyniesie

$$R_p = 0,91 \cdot 21,0 = 19,1 \text{ m.}$$

3.4. Wartość chwilowego natężenia deszczu i_m obliczona wg wzoru (2) wyniesie:

$$i_m = 3600 \frac{1,84 \cdot 40}{3,14 \cdot 19,1^2} = 230,0 \text{ mm/godz.}$$

3.5. Z tabeli 4 odczytano wartości parametrów do wzoru (3): $W_1 = 36,6$ mm/godz., $\alpha = -0,30$, a następnie wg wzoru (3) obliczono miarodajną intensywność wsiąkania wody w glebę:

$$W_m = 36,6 \left[\frac{2 \cdot 38 \cdot (-0,30 + 1)}{36,6} \right]^{-\frac{0,30}{-0,30+1}} = 23,9 \text{ mm/godz.}$$

Do obliczeń wykorzystano wysokość dawki polewowej netto równą $d = 38$ mm (obliczanie dawek polewowych omówiono w punkcie 4.5).

4. Sprawdzono czy chwilowe natężenie i_m deszczu nie przekracza pięciokrotnej wartości miarodajnej prędkości W_m wsiąkania wody w glebę, tzn. czy $i_m \leq 5W_m$.

Warunek, że $i_m \leq 5W_m$ nie jest spełniony, gdyż $230,0 > 119,6$ mm/godz. Przy tak dobranym zraszacz na powierzchni gleby występowałyby kałuże deszczu powodujące niszczenie struktury gleby. W związku z tym należało realizować krok 7.

7. Na podstawie przykładowego katalogu danego typu zraszacza z tabeli 1, ze zbioru zraszczy tego typu wybrano zraszacz obrotowy jednodyszowy o średnicy dyszy 6 mm. Taki zraszacz charakteryzuje się mniejszym wydatkiem od zraszacza o średnicach dysz 6+8 mm. Zraszacz ten obraca się o kąt 360° wykonując $\tau = 40$ chwilowych przesunięć.

3. Ustalono parametry zraszania zraszaczem:

3.1. Z rysunku 2 wynika, że przy średnicy dyszy zraszacza 6 mm sugerowane ciśnienie na dyszy powinno wynosić $P = 325$ kPa,

3.2. Z przykładowego katalogu w tabeli 1 ustalono, interpolując liniowo, że wydatek zraszacza przy ciśnieniu $P = 325$ kPa wyniesie $q = 0,63$ l/min, zaś katalogowy promień zraszania $R_k = 17,8$ m.

- 3.3. Praktyczny promień zraszania przy prędkości wiatru powyżej 2,5 m/s, obliczony wg wzoru (1) wyniesie $R_p = 16,2$ m.
- 3.4. Chwilowe natężenie deszczu obliczone wg wzoru (2) wynosi: $i_m = 110$ mm/godz.,
- 3.5. Miarodajna prędkość W_m wsiąkania wody w glebę, obliczona wyżej, wynosi $W_m = 26,5$ mm/godz.

4. Sprawdzono czy chwilowe natężenie i_m deszczu nie przekracza pięciokrotnej wartości miarodajnej prędkości W_m wsiąkania wody w glebę, tzn. czy $i_m \leq 5W_m$. $i_m \leq 5W_m$, gdyż $110,2 < 132,5$ mm/godz.

5. Ustalono, że ze względu na rozstaw gniazd na rurociągu pod zraszacze (10 m) oraz obwód kół nośnych (4,71 m) rozstawa zraszaczy powinna wynosić $a = 20$ m i $b = 23,55$ m. Przy tych wymiarach stosunek $a/R_p = 1,2$, zaś $b/R_p = 1,5$. Na podstawie tabeli 3 stwierdzono, że są to wartości mieszczące się w górnym zakresie wielkości dopuszczalnych dla układu prostokątnego średnio zagęszczonego.

Ze wzoru (4) obliczono średnią intensywność i deszczu na powierzchni $a \times b$:

$$i = 3600 \frac{0,63}{20,00 \cdot 23,55} = 4,8 \text{ mm/godz.}$$

Z tabeli 5 wyznaczono graniczną intensywność i_{kr} deszczowania: $i_{kr} = 25$ mm/godz.

6. Sprawdzono, że warunek $i \leq i_{kr}$ został spełniony. Średnia intensywność i deszczu nie będzie przekraczała maksymalnego dopuszczalnego natężenia i_{kr} deszczu, w czasie deszczowania nie będą pojawiać się kałuże wody szkodliwe dla struktury gleby.

8. Do nawadniania buraków proponuje się zatem zraszacz typu X1, obrotowy o napędzie młoteczkowo-uderzeniowym, jednodyszowy o średnicy dyszy 6 mm i o następujących parametrach eksploatacyjnych:

- ciśnienie na dyszy $P_{opt} = 325$ kPa, tj. $H = 35,2$ m słupa wody,
- wydatek $q = 0,63$ l/min,
- katalogowy i praktyczny promień zraszania $R_k = 17,8$ m i $R_p = 16,2$ m,
- prostokątny układ stanowisk zraszaczy: wzdłuż rurociągu deszczującego $a = 20,0$ m, a prostopadle do rurociągu deszczującego (rozstawa rurociągów deszczujących) $b = 23,6$ m
- średnie natężenie deszczu $i = 4,8$ mm/godz.,

Jest to zraszacz bliskiego zasięgu, o niskim ciśnieniu i małej intensywności deszczu.

1.3. Rurociągi deszczujące, charakterystyka i dobór

Przy doborze rurociągów deszczujących bierze się pod uwagę:

- uwarunkowania ekonomiczne,
- warunki organizacyjne i stan siły roboczej,
- ukształtowanie terenu i rodzaj gleb,
- gatunki roślin lub rodzaj użytków przewidywanych do nawodnień.

Z badań nad kosztami eksploatacji deszczowni wynikało, że suma nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji wszystkich rodzajów rurociągów deszczujących jest w przybliżeniu jednakowa. Niskim kosztem zakupu rurociągów przenośnych towarzyszyły wysokie koszty eksploatacyjne, zaś wysokim kosztem zakupu rurociągów nawijanych towarzyszyły niskie koszty

eksploatacyjne. Takie porównawcze analizy powinny być wykonywane w skali gospodarstwa planującego inwestycję deszczownianą.

Przenośne rurociągi deszczujące są najbardziej uniwersalne, gdyż można je stosować w deszczowaniu różnych odmian roślin, w różnych warunkach terenowych, na niekształtnych polach, w obecności różnego rodzaju przeszkód naturalnych i stworzonych przez człowieka. Jednocześnie są to rurociągi, których eksploatacja jest bardzo pracochłonna. Rurociągi przetaczane mogą być stosowane głównie na użytkach zielonych, polach lucerny i zbóż o regularnych kształtach, we wczesnym okresie ich rozwoju. Deszczowanie np. warzyw nie jest zalecane ze względu na duże straty w uprawach. Rurociągi te krzywią się w czasie przetaczania, dlatego muszą być ręcznie prostowane.

W przypadku rurociągów przeciąganych następuje wygniatanie roślin przez ciągniki.

Użytkowanie rurociągów nawijanych jest najmniej pracochłonne, ale są drogie i wymagają wysokich ciśnień wody. Deszczują zwykle za pomocą dalekosiężnych zraszaczy charakteryzujących się dużą chwilową intensywnością deszczu oraz dużą podatnością na działanie wiatru. Ich zaletą jest możliwość deszczowania wszystkich gatunków i rodzajów roślin.

Szerokofrontowe urządzenia deszczujące jak rurociągi frontalne i rurociągi obrotowe (karuzelowe) mogą być stosowane tylko na dużych odkrytych polach pozbawionych przeszkód. Ich zaletą jest wysoki stopień mechanizacji i automatyzacji oraz przydatność do nawadniania różnych gleb i gatunków roślin.

W dalszej części będziemy zajmować się rurociągami deszczującymi pozycyjnie, szczególnie zaś rurociągami przetaczanymi oraz rurociągami deszczującymi w ruchu, szczególnie zaś rurociągami nawijanymi.

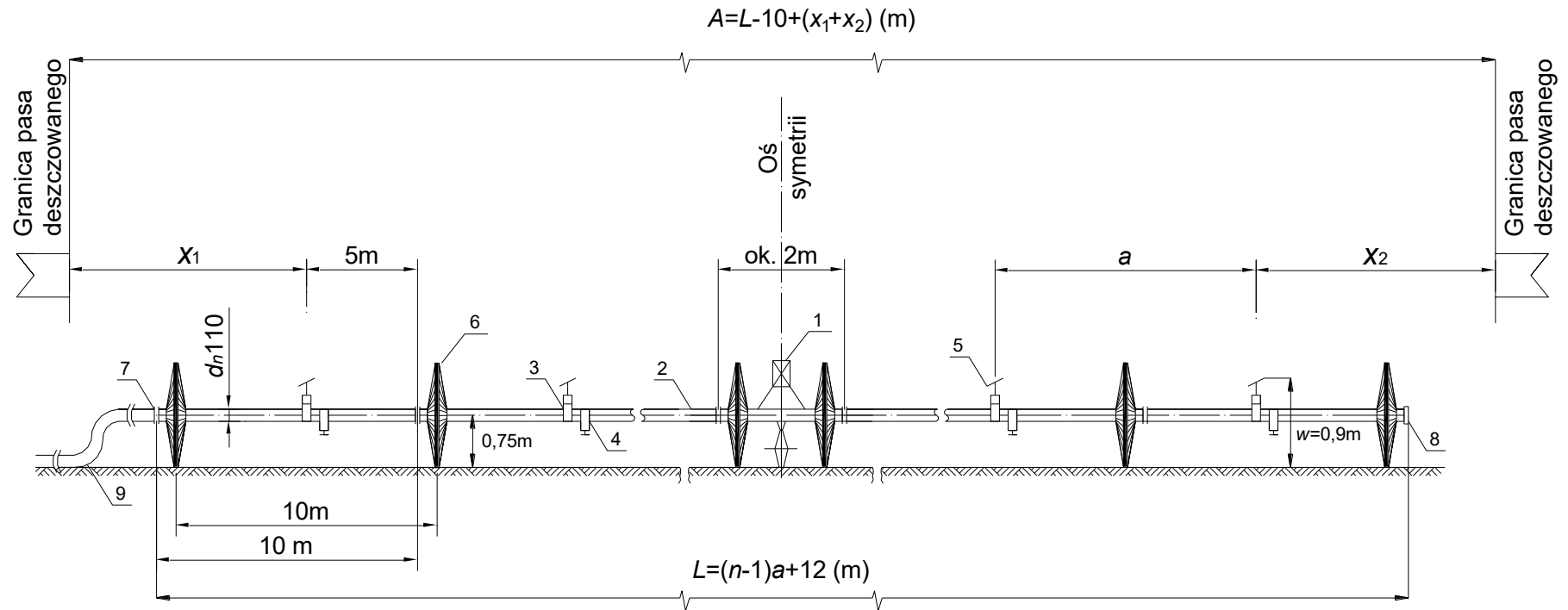
1.3.1. Rurociągi deszczujące pozycyjnie – rurociągi przetaczane

Przetaczany rurociąg deszczujący składa się z kół nośnych, których osią jest rurociąg wyposażony w zraszacze oraz zawory spustowe do opróżnienia wody z rurociągu w czasie jego przetaczania. Do przetaczania służy wbudowany w rurociąg własny zespół napędowy (rys. 4).

Rurociąg w czasie jego przetaczania jest odwodniony w związku z tym jest lekki i w niewielkim stopniu niszczy lub wcale nie niszczy roślin. Z tego względu lepiej jest przetaczać rurociąg w poprzek rzędów uprawianych roślin. Do przeciągania rurociągu (wzdłuż jego osi) na przyległe pole mogą być stosowane płozy lub kółka podstawiane pod koła rurociągu.

Schemat przykładowego rurociągu przedstawiono na rysunku 4. Charakteryzuje się on następującymi parametrami:

- | | |
|--|-----------------|
| - długość całkowita (z możliwością jej zmiany w podanym przedziale | |
| o odcinek będący wielokrotnością 10 m) | od 202 do 302 m |
| - wzniesienie osi rury nad terenem | 750 mm |
| - nominalna średnica rurociągu aluminiowego | 110 mm |
| - średnica wewnętrzna rurociągu | 106 mm |
| - długość odcinka rury | 10 m |
| - długość rury elastycznej ze złączami | 5 m |
| - średnica rury elastycznej | 110 mm |
| - średnica kół | 1500 mm |

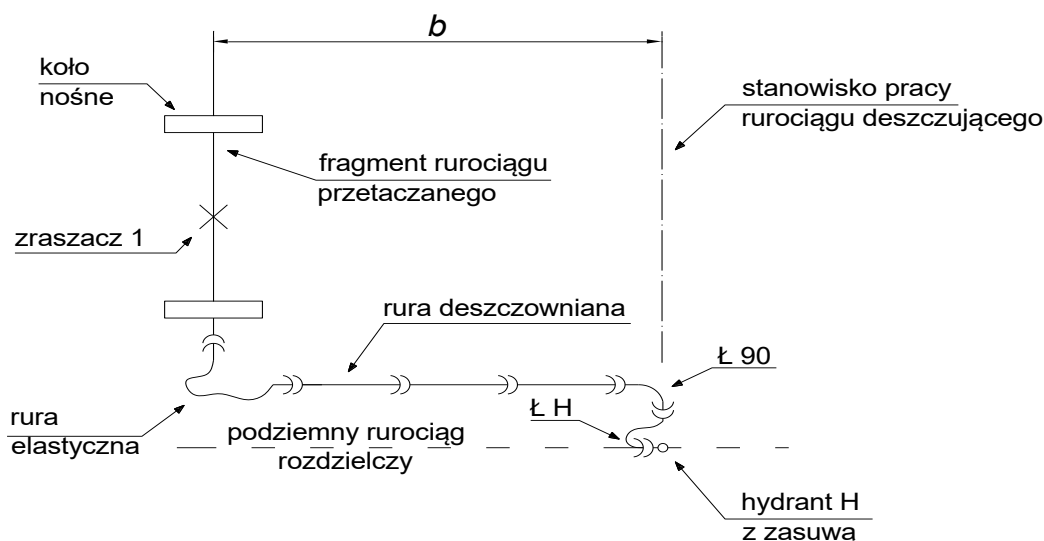


Uwaga:
 n - liczba zraszaczy
 a - odległość między sąsiednimi zraszczami
 $A \geq L$

Rys. 4. Schemat rurociągu przetaczanego: 1 – zespół napędowy, 2 – rura aluminiowa $\phi = 110$ mm z gniazdem pod zraszacz (3) i zawór spustowy (4), 5 – zraszacz, 6 – koło nośne, 7 – złącze, 8 – zaśleпка, 9 – rura elastyczna, łącząca rurociąg z hydrantem $\phi = 110$ mm i długości 5 m (źródło: KACA i in. 2018).

- szerokość kół 100 mm
- prędkość przetaczania z możliwością jazdy do przodu i tyłu 8 m/min
- typ stosowanego zraszacza – zraszacze obrotowe,
- liczba osób obsługi – jeden pracownik na cztery rurowości

Na rysunku 5 przedstawiono schemat przykładowego połączenia deszczującego rurowości przetaczanego z podziemnym rurowościem rozdzielczym (hydrantem). Połączenie to składa się z rury elastycznej długości 5 m i średnicy 110 mm, kilku rur deszczownianych o średnicy 110 lub 125 mm oraz odpowiedniego wyposażenia.



Rys. 5. Schemat podłączenia rurowości deszczującego pozycyjnie (np. przetaczanego) z hydrantem (ŁH – łuk hydrantowy typu łabędzia szyja, Ł90 – łuk o kącie załamania 90°) (źródło: KACA i in. 2018)

1.3.2. Rurowości deszczujące w ruchu – rurowości nawijane

Nawodnienia za pomocą nawijanych rurowości deszczujących są prowadzone w oparciu o podłączoną do hydrantu nawijaną na bęben (szpulę) giętką rurę polietylenową z deszczującym zraszaczem sektorowym (o kącie deszczowania ok. 240°) dalekiego zasięgu na wózku. Kiedy wózek ze zraszaczem zostanie dociągnięty blisko bębna, następuje automatyczne wyłączenie napędu zwijającego. Następnie urządzenie deszczujące należy obrócić o 180° - frontem do przeciwnego stanowiska - i rozwinąć giętką rurę z bębna, po czym po odkręceniu zaworu rozpoczyna się proces nawadniania. Po zakończeniu nawadniania przeciwnego stanowiska, urządzenie deszczujące zostaje przeciągnięte do następnego stanowiska. Kolejność procesu nawadniania powtarzana jest dla każdego następnego stanowiska na nawadnianym polu, aż do nawodnienia wszystkich stanowisk w czasie cyklu nawadniania.

Zalety tego rurowości to:

- łatwa do przemieszczania zwięzła konstrukcja,
- łatwość wykonywania interwencyjnych nawodnień,

- pełna mechanizacja i częściowa automatyzacja,
- możliwość nawadniania prawie wszystkich upraw, nawet sadów,
- możliwość nawadniania pól w różnych warunkach, w tym niekształtnych,
- możliwość nawadniania ściekami i gnojowicą.

Do wad zalicza się:

- potrzebę stosowania wysokiego ciśnienia wody,
- konieczność przejeżdżania ciągnikiem wzdłuż deszczowanego pola, aby rozciągnąć przewód ze zraszaczem oraz przejeżdżania zraszacza przez pole. Niekiedy w tym celu pozostawia się 2–3-metrowe ścieżki technologiczne,
- istotna nierównomierność zraszania wynikająca z zastosowania zraszacza o dalekim zasięgu.

W związku z zaletami tych deszczowni są one szeroko stosowane w krajach, w tym w Polsce, gdzie deszczowanie pełni uzupełniającą rolę.

2. Adaptacja terenu i organizacja nawodnienia (E. Kaca)

Podczas projektowania nawodnień deszczownianych powstaje potrzeba wzajemnego dopasowania (uzgodnienia) parametrów techniki deszczownianej i charakterystyk nawadnianego terenu. Teren powinien ulec adaptacji, aby projektowana deszczownia odznaczała się niskimi nakładami inwestycyjnymi (koszty instalacji deszczowni, adaptacja terenu itp.) i kosztami eksploatacyjnymi (koszty pompowania wody, przemieszczania rurowciągów itp.), a jednocześnie, aby spełnił wymagania wynikające z przyjętego kierunku produkcji roślinnej. Zagadnienie adaptacji charakterystyk terenu nawadnianego do projektowanych urządzeń deszczownianych nazywa się organizacją (adaptacją) terenu nawadnianego. Czynności związane z tym mają charakter projektowy.

2.1. Adaptacja terenu i organizacja nawodnień za pomocą rurowciągów deszczujących pozycyjnie (przetaczanych)

W skład czynności związanych z adaptacją terenu deszczowanego za pomocą rurowciągów deszczujących pozycyjnie, szczególnie przetaczanych, przeciąganych i frontalnych, wchodzi:

- 1) podział terenu na pola płodozmianowe (operacyjne jednostki deszczowania),
- 2) likwidacja zakrzaceń, lokalnych zagłębień terenu i innych przeszkód terenowych, zamiana rowów na rurowciągi itp.,
- 3) zaprojektowanie dróg dojazdowych do wszystkich pól płodozmianowych oraz dróg śródpolnych często o technologicznym charakterze.

Podczas podziału terenu na pola płodozmianowe należy dążyć do tego, aby powierzchnie pól były w przybliżeniu równe i leżały w jednym zwartym rozłogu. Pola leżące poza rozłogiem należy wyłączyć z deszczowania i przeznaczyć pod uprawę roślin o mniejszych wymaganiach wodnych lub też przewidzieć nawadnianie innym rodzajem rurowciągów deszczujących (rurowciągi przenośne, rurowciągi nawijane itp.).

Szerokość pola płodozmianowego A_p , liczona prostopadle do projektowanej trasy przemieszczania rurociągów deszczujących, powinna być wielokrotnością długości A pasa deszczowanego przez rurociąg deszczujący z jednego stanowiska (rys. 6). Ze względów organizacyjnych wskazane jest, aby wielokrotność ta była parzysta, co oznacza, że $A_p/A = n$, gdzie $n = 2, 4, 6, \dots$. W takim przypadku rurociąg przetaczany po zakończeniu deszczowania jednego fragmentu pola może być przeciągnięty (na wózkach lub płozach) na sąsiedni fragment pola. Aby spełnić to zalecenie można podjąć próbę dopasowania długości pasa deszczowanego A do szerokości A_p pola płodozmianowego, a tym samym korektę długości rurociągu deszczującego oraz rozmieszczenia na nim zraszaczy i ich zasięgu.

Na każdym polu płodozmianowym pod daną rośliną (uprawę) należy przewidywać organizację (przebieg) przyszłych nawodnień, którą mogą charakteryzować parametry typu:

- czas deszczowania rurociągu na jednym stanowisku, d,
- czas przemieszczania rurociągu na kolejne stanowisko, godz.,
- efektywny czas deszczowania w ciągu doby, godz./d,
- wymiary $A \times B$ obszaru deszczowanego przez jeden rurociąg, tzw. obszarowej jednostki deszczowania.
- liczba rurociągów czynnych i zmianowych,

Czas t_d deszczowania rurociągu deszczującego na jednym stanowisku można obliczyć wg wzoru:

$$t_d = \frac{d_b}{i} \quad (\text{godz.}) \quad (5)$$

gdzie:

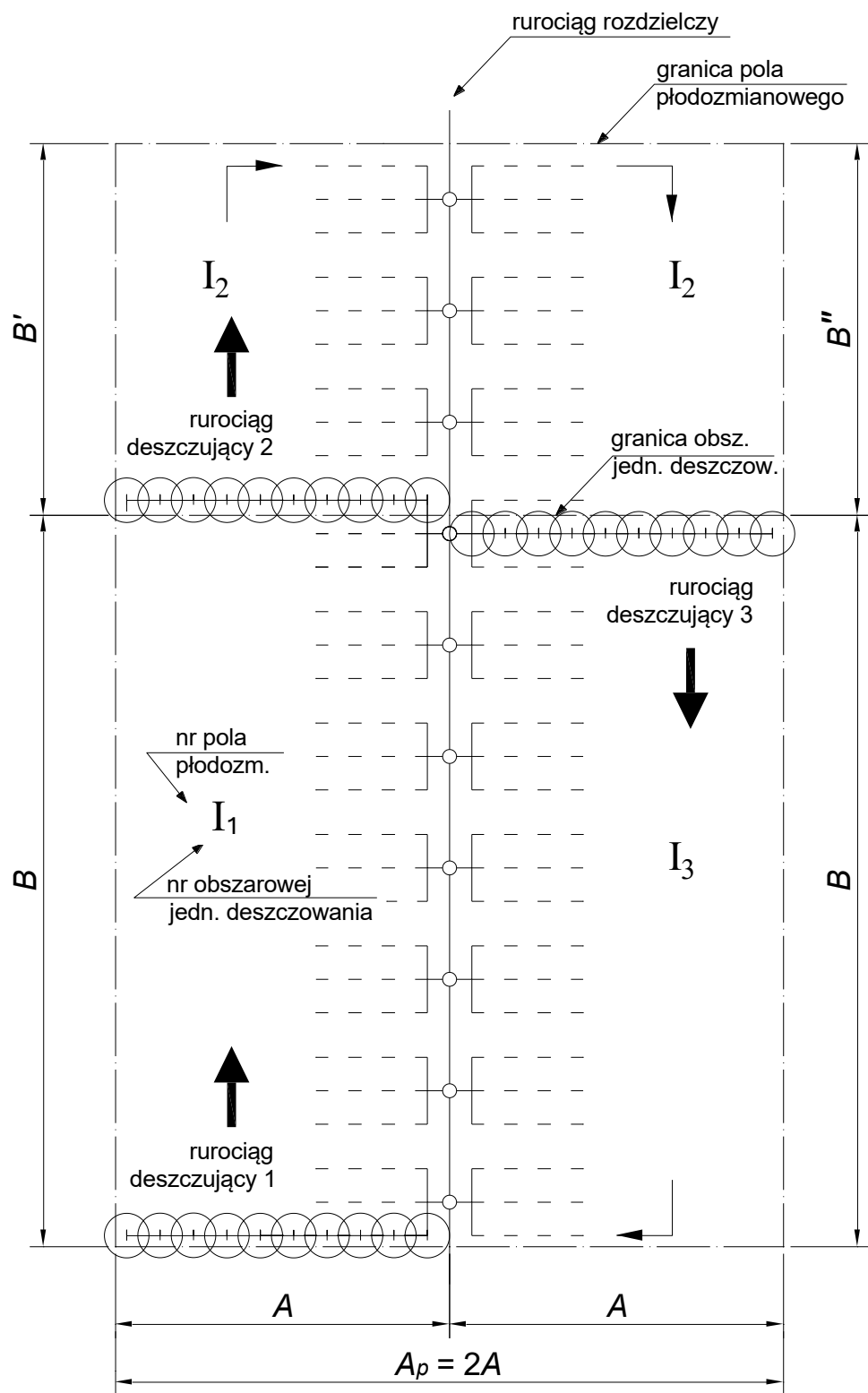
d_b – dawka polewowa brutto, mm,

i – średnia intensywność deszczu na powierzchni wyznaczonej przez układ $a \times b$ zraszaczy, mm/godz.

Przyjmuje się, że czas przemieszczania rurociągu przetaczanego na kolejne stanowisko wynosi $t_p \approx 0,5$ godz. Wartości pozostałych parametrów powinny być dobrane tak, aby dla każdego pola płodozmianowego (pod daną rośliną, użytek) mogły być spełnione następujące wymagania organizacyjne:

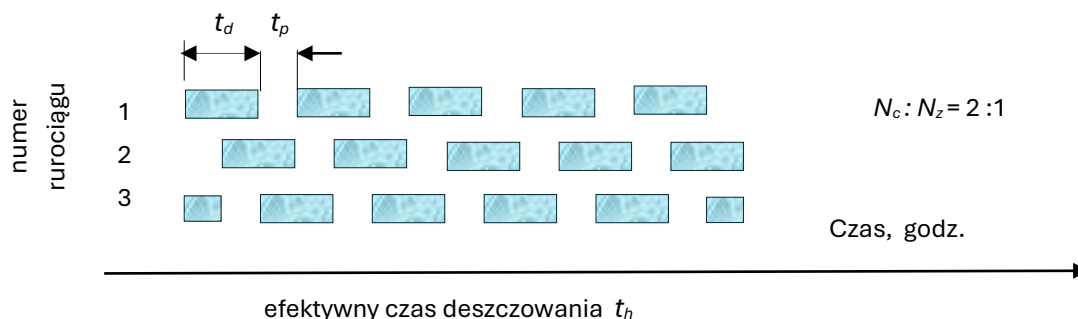
- 1) rurociągi deszczujące powinny umożliwiać nawodnienie całego pola płodozmianowego w czasie przyjętej długości cyklu deszczowania, tzn. w czasie $t_h \cdot T$ godzin (t_h – efektywny czas deszczowania w ciągu doby (godz./d), T – czas netto realizacji cyklu deszczowania (d).
- 2) obszarowe jednostki deszczowania powinny mieć w przybliżeniu jednakowe wymiary ($A \times B$).
- 3) powinny być stworzone warunki do ciągłego niezakłóconego poboru wody na pole płodozmianowe, tzn. poboru bez przerwy na przemieszczanie rurociągów deszczujących.

Spełnienie wymagania 3) będzie możliwe w przypadku zaprojektowania odpowiedniej liczby czynnych (N_c) i zmianowych (N_z) rurociągów pracujących na polu płodozmianowym.



Rys. 6. Trzy obszarowe jednostki deszczowania na polu płodozmianowym ($B' + B'' = B$)
(źródło: KACA i in. 2018)

Obliczenie liczby N_c rurociągów czynnych i liczby N_z rurociągów zmianowych powinno być zakończone podsumowaniem w postaci harmonogramu pracy rurociągów deszczujących na polu płodozmianowym (rys. 7).



Rys. 7. Dzienny harmonogram pracy dwóch ($N_c=2$) czynnych rurociągów deszczujących i jednego ($N_z=1$) zmianowego rurociągu na polu płodozmianowym pod daną rośliną. W danej chwili deszczują tylko dwa rurociągi. Oznaczenia: t_d – czas deszczowania, t_p – czas przeznaczony na przemieszczanie rurociągu, t_h – efektywny czas deszczowania w ciągu doby

LITERATURA:

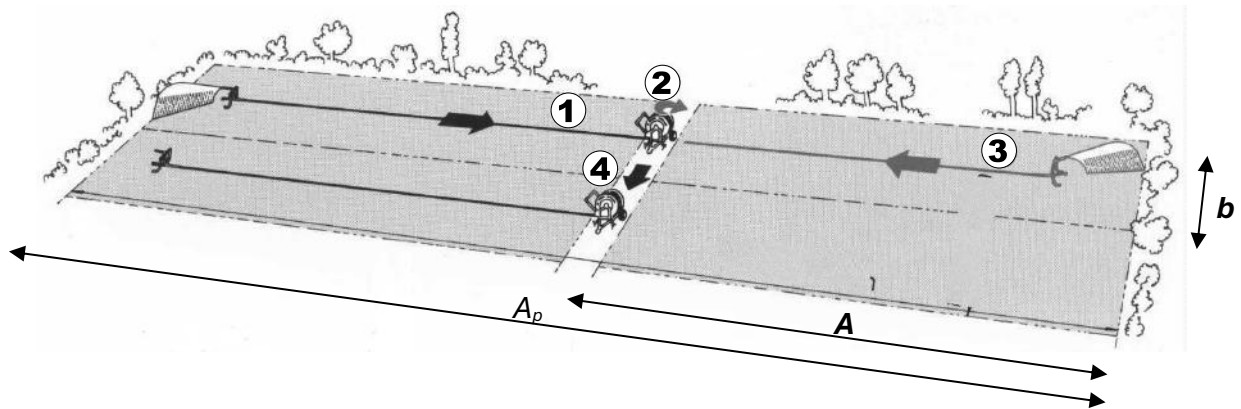
- KELLER J., BLIESNER R.D., 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. (Nawodnienia deszczowniane i kropłowe). Wyd. Blackburn Press.
- DRUPKA S., 1980. Deszczownie i deszczowanie (wyd. II). PWRiL. Warszawa
- KACA E., PAPIEROWSKA E., SZATYŁOWICZ J., SZEJBA D., 2018. Ćwiczenia z systemów nawodnień - deszczownie. Wydaw. SGGW. Warszawa
- SRITHARAN S., 1992. Equivalent Kostikov parameters for SCS infiltration families. J. Irr. and Drain. Engin., ASCE.

2.2. Adaptacja terenu i organizacja nawodnień za pomocą rurociągów deszczujących w ruchu (nawijanych)

Rozplanowanie rozmieszczenia stanowisk rurociągów nawijanych można przedstawić na planie sytuacyjnym. Planowanie rozpoczyna się od wyznaczenia planowanej do nawodnień powierzchni (pola płodozmianowego) oraz od zaprojektowania ścieżek technologicznych o szerokości 2-3 m, na których będzie ustawiane urządzenie deszczujące (rys. 8).

Na każdym polu płodozmianowym należy przewidywać organizację (przebieg) przyszłych nawodnień. W szczególności należy określić:

- maksymalną długość pasa deszczowanego z jednego stanowiska,
- pole powierzchni deszczowane jednym rurociągiem w cyklu deszczowania,
- wymaganą liczbę rurociągów do nawodnień pola płodozmianowego,
- czas deszczowania i prędkość przemieszczania rurociągu na stanowisku.



Rys. 8. Schemat poglądowy fragmentu pola z wydzielonymi nawadnianymi stanowiskami. Oznaczenia: 1 – elastyczny przewód, 2 – urządzenie deszczujące - bęben z nawijanym elastycznym przewodem na pierwszym stanowisku, 3 - zraszacz na podwoziu podłączony elastycznym przewodem do bębna, 4 – urządzenie deszczujące na drugim stanowisku (źródło: KACA i in. 2018)

Maksymalną długość pasa deszczowanego A na jednym stanowisku oblicza się wg następującej zależności:

$$A = L + 0,75R_p \quad (\text{m}) \quad (6)$$

gdzie:

L – długość elastycznego przewodu nawiniętego na bęben, m,

R_p – praktyczny promień zraszania zraszacza, m.

Pole powierzchni (F_c), jaką urządzenie deszczujące w ruchu (ale i pozycyjnie) jest w stanie nawodnić w czasie jednego cyklu deszczowania (wydajność urządzenia) oblicza się według wzoru:

$$F_c = 0,36 \frac{T \cdot t_h \cdot q}{d_b} \quad (\text{ha}) \quad (7)$$

gdzie:

T – czas netto realizacji cyklu deszczowania pola, d,

t_h – efektywny czas deszczowania w ciągu doby (godz./d). Dla nawijanego rurociągu deszczującego można przyjąć $t_h = 23$ godz./d,

q – wydatek zraszacza (l/s).

d_b – dawka polewowa brutto (mm).

Znając wydajność urządzenia deszczującego można określić liczbę urządzeń wymaganych, ażeby nawodnić pole pod daną rośliną w czasie jednego cyklu deszczowania. Liczbę n^i tych urządzeń wyznacza się ze wzoru:

$$n = \frac{f}{F_c} \quad (8)$$

gdzie:

f – powierzchnia nawadnianego pola płodozmianowego pod daną rośliną (ha).

Otrzymaną wartość n zaokrągla się w górę do najbliższej liczby naturalnej. W wyniku tego zmniejszy się wydajność F_c urządzeń deszczujących,

Do ważnych parametrów eksploatacyjnych rurociągu nawijanego zalicza się prędkość v_z przeciągania zraszacza po pasie deszczowanym oraz czas t_d , jaki urządzenie deszczujące potrzebuje do nawodnienia pola z każdego stanowiska. Wielkości te oblicza się wg następujących wzorów:

$$v_z = 3600 \frac{q}{bd_b} \quad (\text{m/godz.}) \quad (9)$$

$$t_d = \frac{A}{v_z} = 0,000278 \frac{b \cdot d_b \cdot A}{q} \quad (\text{godz.}) \quad (10)$$

gdzie:

q – wydatek zraszacza (l/s),

b – szerokość pasa deszczowanego z jednego stanowiska rurociągu (rys.8), m,

A – długość pasa nawadnianego z jednego stanowiska rurociągu (rys.8), m.

Po przekształceniu wzoru (9) otrzymuje się zależność:

$$d_b = 3600 \frac{q}{bv_z} \quad (\text{mm}) \quad (11)$$

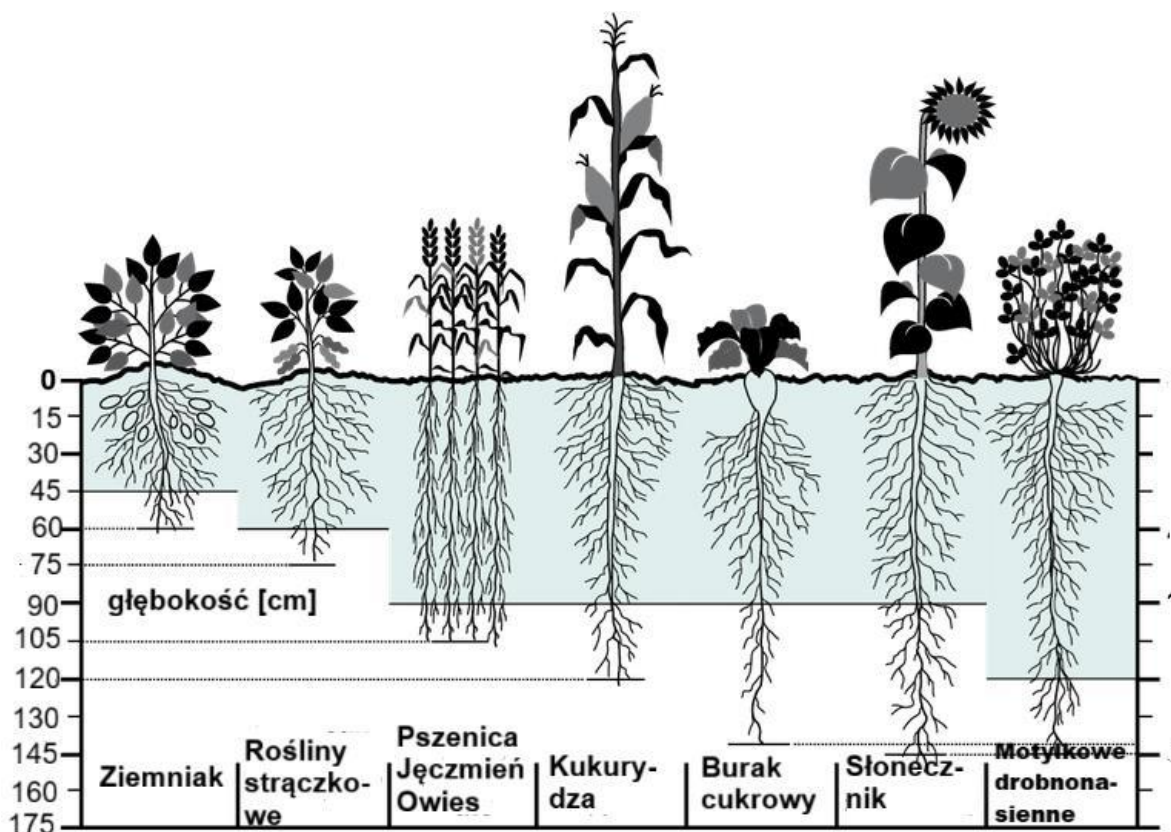
Z zależności (11) wynika, że dawka polewowa brutto d_b jest wprost proporcjonalna do wydatku q zraszacza i odwrotnie proporcjonalna do iloczynu prędkości v_z przesuwu zraszacza i szerokości b pasa deszczowanego. Tak wyliczona dawka powinna być w przybliżeniu równa dawce obliczonej wg zasad opisanych w punkcie 4.5.

3. Zasady nawadniania roślin uprawnych (T. Horaczek)

Nawodnienia deszczowniane stanowią gwarancję uzyskiwania stabilnego i wysokiego plonowania roślin uprawnych, gdy są realizowane wg odpowiednich zasad. Zasady te są uwarunkowane m. in. charakterystyką i wymaganiami deszczowanych roślin. Zalicza się do nich:

- gatunek, odmiana i ewentualnie genotyp rośliny,
- wielkość i jakość plonu, zależna m.in. od nawożenia i ewentualnej presji agrofagów,
- głębokość korzeni roślin i ich rozkład na głębokości, szczególnie korzeni czynnych (rys. 9),
- zapotrzebowanie na wodę i jego rozkład w zależności od fazy rozwoju i wzrostu,
- terminy występowania okresów krytycznych, czyli okresów o największym zapotrzebowaniu na wodę,
- poziom uwilgotnienia i jego rozkład oraz ilość wody dostępnej dla roślin w obszarze ryzosfery.

Wymagania deszczowanych roślin są modyfikowane m.in. przez warunki glebowe, klimatyczne, rodzaj zabiegów agrotechnicznych. Zagadnienia te przedstawiono syntetycznie dla wybranych roślin okopowych, zbóż, roślin motylkowych (bobowatych), traw, roślin oleistych.



Rys. 9. Systemy korzeniowe roślin uprawnych

(źródło: <https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2022-09/94bfb2a1-7acc-4625-a0b9-2d336481f3ae.png>)

3.1. Rośliny okopowe

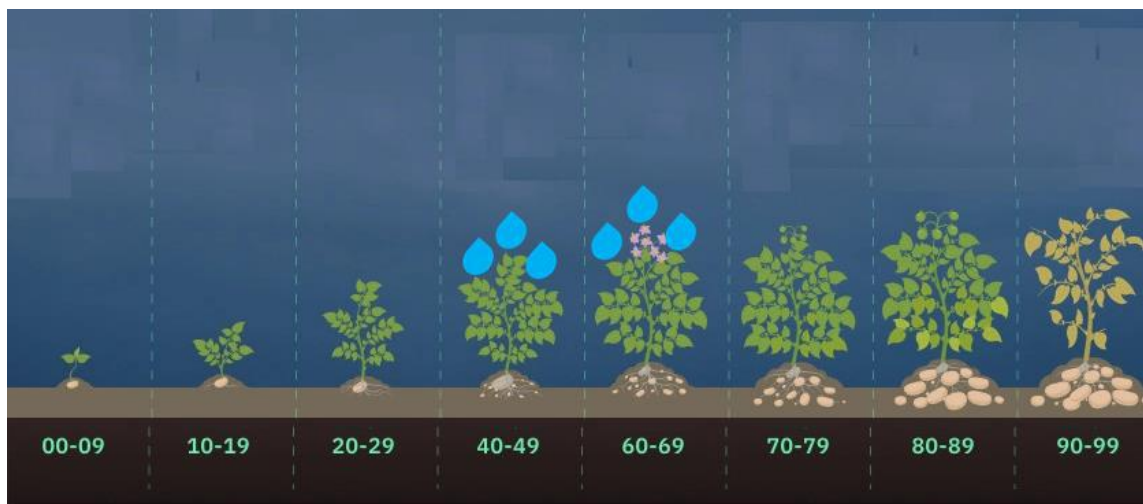
W warunkach klimatycznych w Polsce system nawadniania deszczownianego jest stosowany jako uzupełnienie niedoborów wody w podłożu wynikających z niedostatecznej ilości opadów. Rośliny okopowe, wytwarzające duże ilości biomasy, dysponują stosunkowo słabo rozwiniętym systemem korzeniowym, a ich okres wegetacji jest długi. Przyczynia się to do słabszej ich reakcji na zastosowane nawożenie, miejsce uprawy czy zwężłość gleby niż na wielkość opadów.

Znaczne wymagania wodne roślin okopowych przy dużym zróżnicowaniu poziomu opadów na terenie naszego kraju powodują silne ograniczenie wielkości uzyskiwanego plonu. Z tego powodu zastosowanie uzupełniającego nawadniania staje się wręcz koniecznością, bez której nie ma szansy na optymalny poziom plonowania.

3.1.1. Ziemniak średniowczesny i późny

Na rysunku 10 zaznaczono krytyczne z punktu widzenia nawadniania fazy rozwojowe ziemniaka. Należy do nich faza tuberyzacji czyli faza, w której roślina zaczyna zawiązywać bulwy oraz faza kwitnienia. Są to fazy mające swoje odpowiedniki w dziesiętnym systemie skali BBCH (skalę tę szczegółowo opisano dla roślin zbożowych w Załączniku do Rozdziału 3. - Skala

BBCH). Chcąc ograniczyć straty wody na wytworzenie kwiatów kosztem powstających bulw zaleca się przeprowadzenie desykacji powstających pędów kwiatowych. Dodatkowo chcąc zoptymalizować ilość wykorzystywanej w zabiegu deszczowania wody istotne jest uwzględnienie panujących warunków pogodowych w okresie poprzedzającym okres krytyczny i wykonywania deszczowania poprzedzającego. W przypadku ziemniaków średniowczesnych okres wegetacji może trwać 120 dni, a w przypadku ziemniaków późnych 140 dni (NOWAK 2006). Krytyczny okres pod względem zapotrzebowania na wodę u ziemniaka średniowczesnego trwa od 2. dekady czerwca do końca lipca. W przypadku ziemniaka późnego przypada on na lipiec i sierpień. Wraz ze spadkiem jakości gleby zastosowanie dodatkowego deszczowania w uzupełnieniu niedoborów wilgoci i kształtowaniu plonu zyskuje na znaczeniu. Na podstawie wyników przeprowadzonych doświadczeń (NOWAK 2006) stwierdzono, że plon ziemniaków średniowczesnych deszczowanych może być o 25 do 57% większy od tych niedeszczowanych i zależy to także od jakości gleby na jakiej były uprawiane. Również w przypadku ziemniaków późnych obserwowana jest tendencja do poprawy plonowania na skutek zastosowania deszczowania.



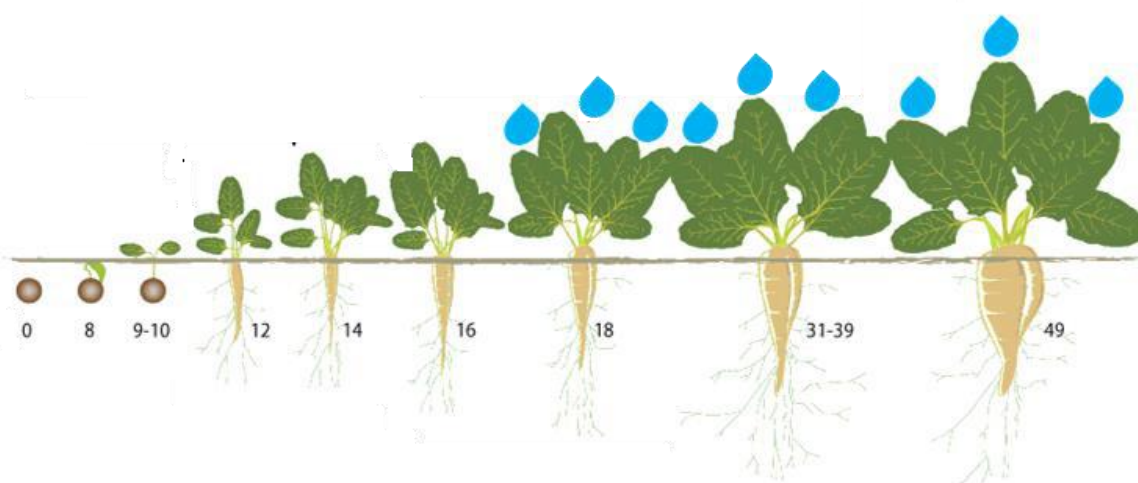
Rys. 10. Krytyczne fazy nawadniania ziemniaka w skali BBCH. BBCH 40–49 – faza tuberyzacji, BBCH 60–69 – faza kwitnienia (źródło: <https://eos.com/blog/how-to-grow-potatoes/>)

3.1.2. Burak cukrowy

Burak cukrowy zaliczany jest do ważniejszych roślin uprawnych na terenie naszego kraju. Stanowi on istotny surowiec do produkcji cukru, a odpady - wysłodki czy liście - stanowią bardzo dobrą paszę, zaś melasa jest cennym surowcem w procesie produkcji spirytusu, gliceryny i kwasu cytrynowego. Okres wegetacji trwa średnio około 170 dni. Wielkość i jakość plonu buraka determinowane są bardzo silnie przez warunki pogodowe panujące w trakcie jego sezonu wegetacyjnego. W szczególności dotyczy to temperatury, usłonecznienia oraz wielkości i rozkładu opadów. Rośliny buraka charakteryzują się znaczącymi wymaganiami glebowymi, agrotechnicznymi i nawozowymi. Do uzyskania optymalnego plonu konieczne jest stosowanie

dużych dawek potasu i azotu. Buraki cukrowe cechuje wytwarzanie dużej ilości biomasy oraz długi okres wegetacji, co skutkuje to znaczącym zapotrzebowaniem na wodę.

Rośliny buraka cukrowego wykazują niskie zapotrzebowanie na wodę od fazy liścieni do fazy 4 liści. Okres krytyczny i duże zapotrzebowanie na wodę u roślin buraka trwa od momentu osiągnięcia fazy 4 liści aż do rozpoczęcia się fazy grubienia korzeni, po zakończeniu której następuje zbiór (rys. 11). Okres krytyczny rozpoczyna się od połowy czerwca i trwa do połowy września. Na podstawie wyników przeprowadzonych licznych badań stwierdzono, że do uzyskania 40 t plonu korzeni trzeba zużyć od 4000 do 5000 m³ wody. Jak pokazują wyniki badań w zależności od rodzaju gleby na jakiej prowadzona jest uprawa buraka zastosowanie dodatkowego nawadniania pozwala na zwiększenie ilości uzyskiwanego plonu od 11 do 54%.



Rys. 11. Krytyczne fazy rozwojowe buraka cukrowego w skali BBCH. BBCH 18 – faza 4 liści, BBCH 31 – 39 – rozwój rozety liściowej, BBCH 49 – faza końcowa rozwoju korzenia
(źródło: <http://www.gcic-global.com/wp-content/uploads/2016/11/Beet.png>)

3.1.3. Burak pastewny

Burak pastewny należy do gatunków bardzo plennych, ma długi okres wegetacji, trwający od 150 do 160 dni, i duże wymagania klimatyczno-glebowe. Burak pastewny zawiera więcej wody w korzeniach niż cukrowy, a jego system korzeniowy częściowo wystający ponad powierzchnię gruntu jest słabiej rozwinięty od buraka cukrowego, lecz wymagania wodne ma znacznie od niego większe. Dynamiczny przyrost masy liściowej połączony z płytkim systemem korzeniowym powoduje, że potrzeby wodne systematycznie wzrastają w okresie wegetacji aż od połowy września, kiedy to wielkość zapotrzebowania roślin na wodę spada. Za optymalne warunki do wzrostu buraka pastewnego uważa się wilgotność odpowiadającą wilgotności na poziomie 70–80% połowej pojemności wodnej (PPW). Za krytyczny okres w uprawie buraka pastewnego przyjmuje się okres od lipca do połowy września. Wskazane jest by przy stosowaniu nawadniania jednorazowa dawka wody wynosiła 30–40 mm. Zastosowanie nawadniania korzystnie wpływa na wielkość uzyskiwanego plonu. Wraz ze spadkiem jakości gleby na jakiej prowadzona jest uprawa zastosowanie dodatkowego nawadniania powoduje wzrost plonowania buraka od 27 do 68%.

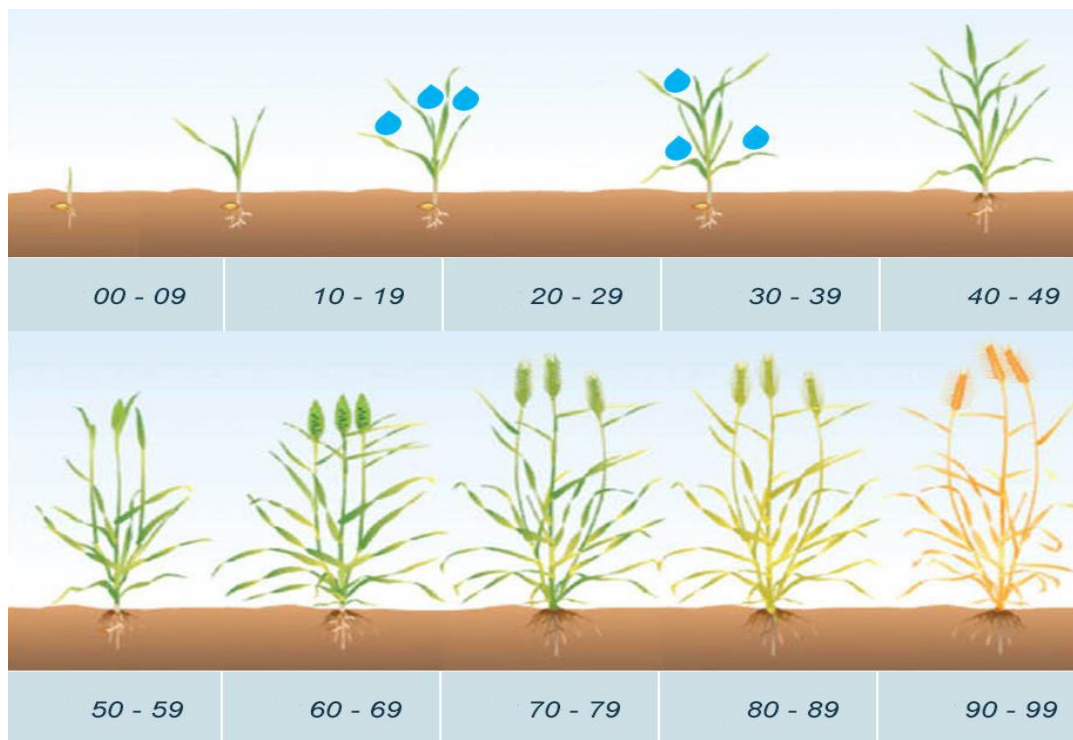
3.2. Uprawa zbóż

Rośliny zbożowe stanowią kluczowe źródło pokarmu dla wyżywienia ludzkości i zwierząt jej towarzyszących. Powszechnie uważa się, że stanowią źródło 55% związków energetycznych oraz 50% białka. Mają również znaczący udział w rynku pasz dostarczając od 20 do 25% potrzebnych komponentów. W Polsce zapotrzebowanie na nawadnianie wykazuje uprawa kukurydzy. W przypadku pozostałych gatunków nie prowadzi się dodatkowego nawadniania.

3.2.1. Zboża jare i ozime

W czasie wzrostu zbóż można wyróżnić następujące okresy zapotrzebowania na wodę (rys. 12):

1. – trwa on od momentu siewu do wschodu roślin, w trakcie którego większości gatunków wystarcza woda dostępna z opadów.
2. – trwa od momentu wschodu aż do osiągnięcia fazy strzelania w źdźbło, kiedy to zapotrzebowanie roślin na wodę z racji intensywnego wzrostu systematycznie wzrasta.
3. – trwa od początku fazy strzelania w źdźbło aż do fazy mleczej, w tym okresie wzrostu rośliny wykazują największe zapotrzebowanie na wodę, które przy przeciętnym poziomie opadów może być zaspokojone.
4. – trwa od fazy mleczej aż do momentu osiągnięcia dojrzałości pełnej i zbioru; w tym okresie zapotrzebowanie na wodę systematycznie spada.

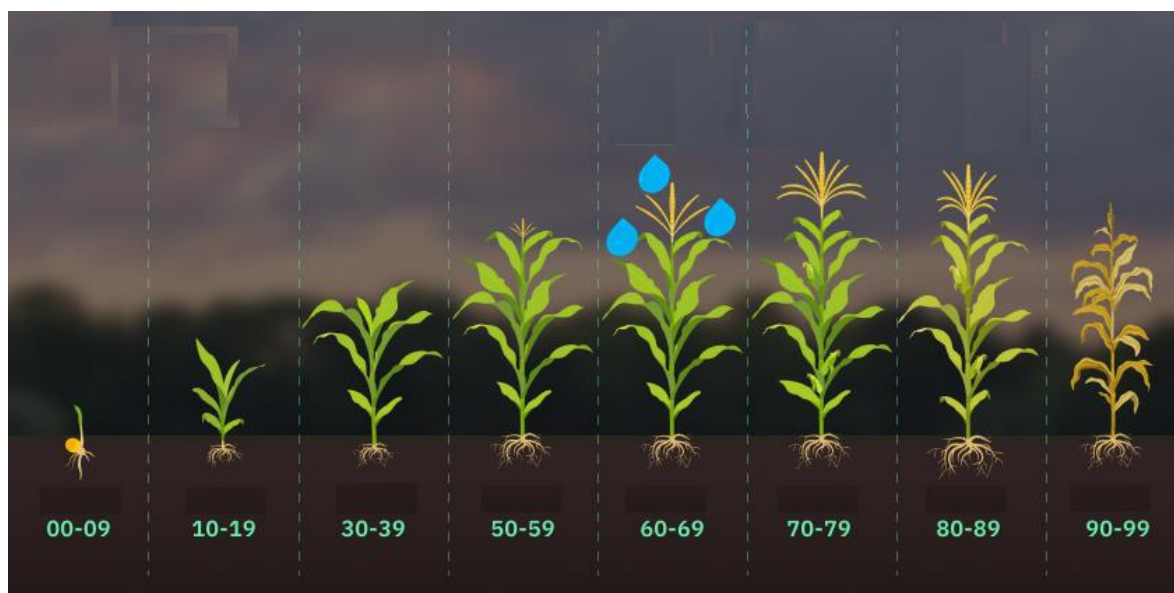


Rys. 12. Krytyczne fazy rozwojowe zbóż w skali BBCH; BBCH 10–19 – faza siewki, BBCH 30–39 – faza strzelania w źdźbło i elongacyjnego wzrostu łodygi
(źródło: <https://cs-assets.bayer.com/is/image/bayer>)

Oznacza to, że z praktycznego punktu widzenia najbardziej krytyczny w uprawie zbóż jest okres 3. Determinuje on ilość wytworzonych materiałów zapasowych, które w trakcie trwania okresu 4. przemieszczane są do ziarna. Czasowo okres największego zapotrzebowania na wodę jest inny dla zbóż ozimych i inny dla zbóż jarych. Zapotrzebowanie na wodę roślin zbożowych w okresie krytycznym dodatkowo zależy od rodzaju gleby. U roślin zbożowych ozimych uprawianych na glebach średnich okres krytyczny trwa przeważnie od 2. dekady maja aż do 1. dekady lipca (ŻARSKI, 2006). W przypadku uprawy zbóż ozimych na glebach lekkich okres ten trwa od 1. dekady maja do 1. dekady lipca. U jarej formy zbóż uprawianych na glebach średnich najczęściej trwa od 3. dekady maja do 1. dekady lipca, a w przypadku uprawy zbóż jarych na glebie lekkiej - od 2. dekady maja do 1. dekady lipca.

3.2.2. Kukurydza

W przypadku kukurydzy okres wzrastającego zapotrzebowania na wodę pokrywa się z tym, który występuje u pozostałych gatunków zbóż. W przypadku niskich opadów deszczu wskazane jest uzupełnienie ich do wysokości co najmniej średnich. Najbardziej krytyczny okres zapotrzebowania na wodę rozpoczyna się od fazy wyrzucania wiech i znamionowania kolb. Kończy się zaś w momencie osiągnięcia dojrzałości zbiorczej (rys. 13). Wówczas wielkość i jakość uzyskiwanego plonu będzie optymalna. Kalendarzowo okres ten przypada na lipiec i sierpień. Nawadnianie kukurydzy w zależności od panujących warunków pogodowych najlepiej rozpocząć w 3. dekadzie czerwca i kontynuować w zależności od warunków i przeznaczenia aż do początku września.



Rys. 13. Krytyczne fazy rozwojowe kukurydzy w skali BBCH; BBHC 60–69 faza wyrzucania wiech i znamionowania kolb

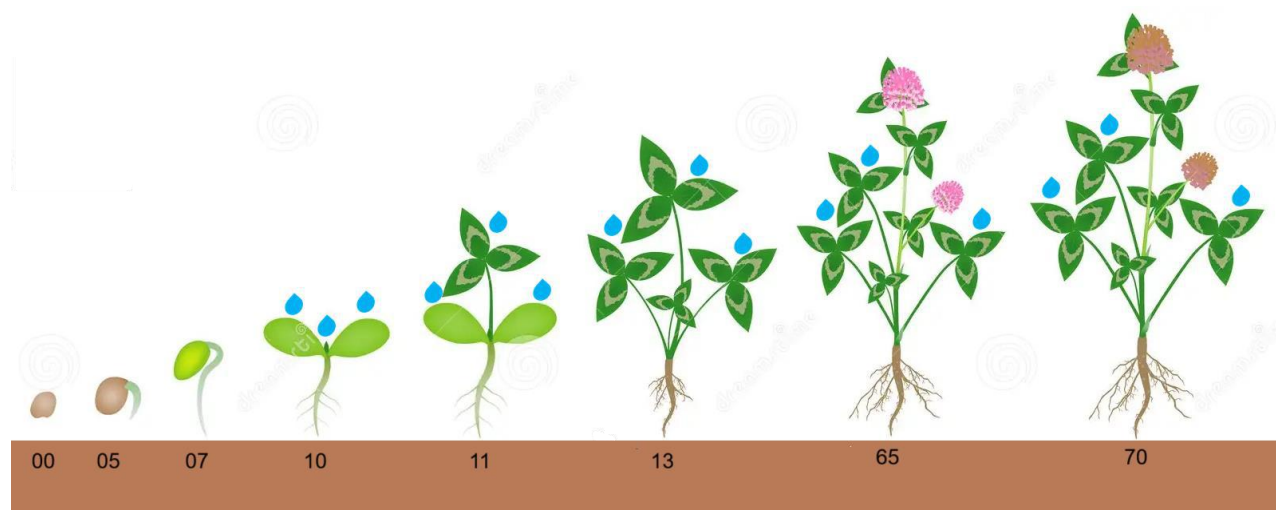
(źródło: <https://eos.com/wp-content/uploads/2023/09/growth-stages-of-corn.jpg.webp>)

3.3. Rośliny motylkowe (bobowate)

Rośliny motylkowe wykorzystywane są jako poplon lub na paszę jako podstawowe źródło białka. Dominującym źródłem motylkowych z przeznaczeniem na cele paszowe są łąki i pastwiska, pozostała część pochodzi z uprawy polowej. Niezależnie od gatunku wszystkie rośliny motylkowe uprawiane na paszę dają duży plon biomasy i mają znaczne wymagania wodne. Rośliny motylkowe drobno- i grubonasienne nie wymagają nawożenia azotem, gdyż dzięki symbiotycznemu układowi z odpowiednim szczepem bakterii są w stanie pozyskać go z atmosfery.

3.3.1. Koniczyna

Rośliny tego gatunku posiadają duży i rozbudowany system korzeniowy, który może sięgać do 2,5 m w głąb ziemi, zaś powierzchnia liści dochodzi do 8 m² na powierzchni 1 m². Gatunek ten ma duże wymagania wodne przez cały okres wegetacyjny (rys. 14), ale braki w zaopatrzeniu w wodę często występują w okresie od maja do 1 dekady września. Zapotrzebowanie na wodę przez koniczynę czerwoną (łąkową) w przypadku uprawy na glebie średniej może być zróżnicowane (KARCZMARCZYK 2006). Przy średniej wysokości opadów wynosi około 120 mm, w roku średnio suchym wzrasta do 180 mm, a w suchym osiąga 260 mm. Koniczynę powinno nawadniać się 2- 3-krotnie w odstępach 10-dniowych po każdym pokosie w dawce 30–40 mm. Ważne jest by nie deszczować koniczyny w ciągu pierwszych 10 dni po skoszeniu i przed koszeniem. Koniczyna wykazuje bardzo dobrą reakcję na zastosowane nawadniania i w latach o niskiej sumie opadów pozwala na uzyskanie dodatkowo do 4 t biomasy. Nawadniając koniczynę nawet rosnącą na glebie ciężkiej można uzyskać plony siana na poziomie 11 t/ha.



Rys. 14. Krytyczne fazy rozwojowe koniczyny łąkowej w skali BBCH; BBCH 10 – pojawienie się 2 liści, BBCH 11 – pojawienie się 1. liścia, BBCH 13 – pojawienie się 3. liścia, BBCH 65 – pełnia fazy kwitnienia, BBCH 70 – początek zawiązywania nasion

(źródło: https://st4.depositphotos.com/5918862/24446/v/1600/depositphotos_244462708-stock-illustration-cycle-growth-clover-plant-white.jpg)

3.3.2. Lucerna

Na terenie Polski uprawia się cztery gatunki lucerny (siewną, chmielową (nerkowatą), mieszańcową i sierpowatą). Do uprawy lucerny optymalna wilgotność gleby powinna wynosić 75–80% PPW. Lucerna korzeni się dość głęboko - nawet do 2,5 m, ale główna masa jej korzeni (ok. 60%) mieści się warstwie ornej. Wg DZIEŻYCA (za KARCZMARCZYKIEM 2006) w zależności od gatunku lucerny jej roczne potrzeby wodne wahają się od 400 do 600 mm, a w trakcie okresu wegetacyjnego mieszczą się w zakresie od 340 do 470 mm. Wielkość zapotrzebowania na wodę do nawodnień jest ściśle zależna od charakteru roku. W roku o średniej sumie opadów wystarcza jej 80 mm, w latach średnio suchych jej zapotrzebowanie na nawadnianie wzrasta do 120 mm, a w suchych nawet do 200 mm. Zalecane jest wykonywanie nawadniania po sprzęcie II pokosu i kolejnych. Jeżeli w okresie kolejnych odrostów występujące opady nie przekraczają 20 mm wówczas zalecane jest nawodnienie dawką 30–40 mm, pierwszą nie wcześniej niż 7 dni po zbiorze poprzedniego pokosu a ostatnią nie później niż 14 dni przed planowanym zbiorem następnego.

3.4. Trawy

Trawy są organizmami o budowie hydromorficznej, należą do roślin z pogranicza mezofitów i hydrofitów. Nie dysponują mechanizmami ograniczającymi utratę wody. Liście traw są cienkie i długie, ich nablonek jest słabo wykształcony. Ich łączna masa górna przewyższa masę łodyg. Niektórzy są zdania, że trawy nie dysponują mechanizmami redukcji transpiracji nawet w okresach o niesprzyjających warunkach jak np. brak wody w glebie. W niekorzystnych warunkach ich blaszki liściowe są bardzo podatne na przesuszenie i żółknięcie, a łodygi są bardzo wrażliwe i szybko więdną. Trawy dysponują rozległym systemem korzeniowym sięgającym na znaczne głębokości w poszukiwaniu wody, ale jego główna masa stanowiąca od 85 do 90% zlokalizowana jest w warstwie gleby 0–10 cm.

Trawy stanowią dominujący składnik runi łąkowej i pastwiskowej oraz podstawowy składnik paszy dla przeżuwaczy. Chcąc zapewnić odpowiednią jakość pastewną traw sugeruje się by wilgotność gleby w okresie wzrostu była utrzymywana na poziomie 80–90% PPW i nie niżej jak 60% PPW na glebach lekkich i 75% na glebach bardzo ciężkich (JEZNACH, MOSIEJ 2006). Obniżenie wilgotności wskazane jest na czas koszenia. Zapobiega to zniszczeniu darni przez ciężkie pojazdy i maszyny wykorzystywane w trakcie koszenia i zbioru. Trawy wymagają, aby optymalny poziom nawodnienia obejmował nie tylko wierzchnią warstwę gleby, ale co najmniej do głębokości 50 cm, a najlepiej do 100 cm. Utrzymywanie optymalnego uwilgotnienia zapewnia odpowiednie warunki do rozwoju płytko osadzonego systemu korzeniowego traw i towarzyszących mu mikroorganizmów pożytecznych. Wg zaleceń JEZNACHA I MOSIEJA (2006) potrzeba nawodnień trwałych pastwisk na glebach lekkich może występować od maja do końca września, a użytków przemiennych i kośnych – głównie w okresie drugiego i trzeciego odrostu. Zalecane dawki polewowe powinny wynosić 20–25 mm na glebach lekkich i 30–35 mm na glebach średnich. Zaleca się nawadniać trwałe pastwiska, a następnie użytki przemiennie.

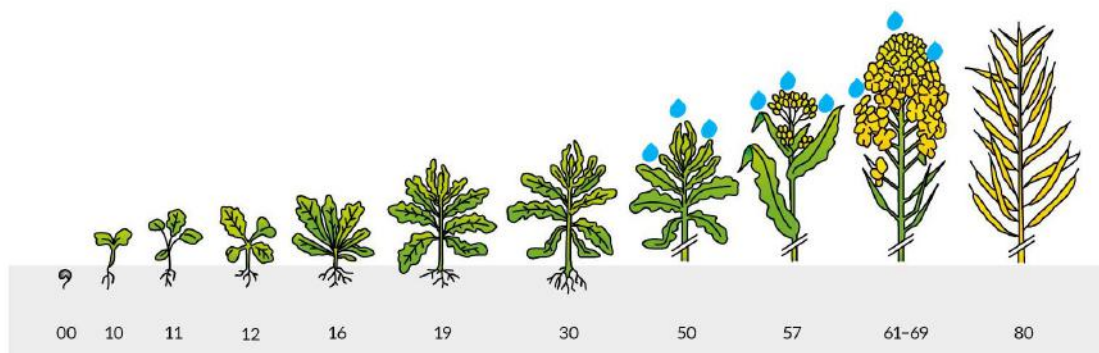
3.5. Rośliny oleiste

Rośliny oleiste należą do grupy roślin przemysłowych. Rośliny te mają zróżnicowane wymagania klimatyczne i glebowe. Zazwyczaj plonują najlepiej na glebach żyznych i głębokich. Rośliny te na ogół mają duże wymagania wodne. Wymagania te zależą od gatunku rośliny oraz od jej fazy wzrostu i rozwoju. Wymagania te należy poznać, aby skutecznie nimi sterować poprzez realizację nawodnień.

3.5.1. Rzepak

Rzepak zaliczany jest do gatunków o dużych wymaganiach wodnych. Do uprawy zalecane są rejony, w których roczna suma opadów jest nie niższa niż 500–600 mm, a najlepsze rezultaty są w rejonach osiągających roczną sumę opadów na poziomie 600–700 mm (BUDZYŃSKI, OJCZYK 1996). Poglądy na temat wielkości opadów jakie powinny być w okresie jesiennym, czyli począwszy od wschodów do zimowego zahamowania wzrostu, są mocno podzielone. Niektórzy uważają za optymalną wysokość w granicach 100–150 mm inni są zaś zdania, że opady powyżej 100 mm w tym okresie negatywnie wpływają na zdolność roślin do przetrwania okresu zimowego. W związku z tym w warunkach jakie panują w Polsce jesienią nie ma konieczności stosowania dodatkowego nawadniania w okresie jesiennym, chyba że dotychczasowa suma opadów z danego roku wskazuje, że jest suchy.

Rośliny rzepaku są w stanie doskonale wykorzystać pozostałą po okresie zimowym wilgoć, w tym tę zalegającą na znacznej głębokości. Dysponują odpowiednim systemem korzeniowym, który może sięgać do 1,5 m w głąb gleby. Stwierdzono również występowanie silnego powiązania między wielkością wiosennych opadów a ilością wytworzonych nasion. Istnieje również pogląd, że ich nadmierna wysokość może skutkować obniżeniem zawartości tłuszczu w wytwarzanych nasionach. Jak pokazuje praktyka rośliny rzepaku uprawiane na glebach ciężkich są w stanie sobie poradzić również w okresach krytycznych, kiedy suma opadów jest niska. Okresy krytyczne w uprawie rzepaku to: faza pąkowania, faza kwitnienia i faza zawiązywania łuszczyń (rys. 15).



Rys. 15. Krytyczne fazy rozwojowe rzepaku: BBCH 50 – pojawienie się pierwszych pąków kwiatowych, BBCH 57 - wyłonienie się 70% pąków kwiatowych, BBCH 61–69 faza kwitnienia
(źródło: osadkowski.pl/_next/image?url=https%3A%2F%2Fdokumenty.osadkowski.pl%2Fassets%2Fcms%2Ffazy_rozwoju_rzepaku_668dba9345.jpg&w=1920&q=90)

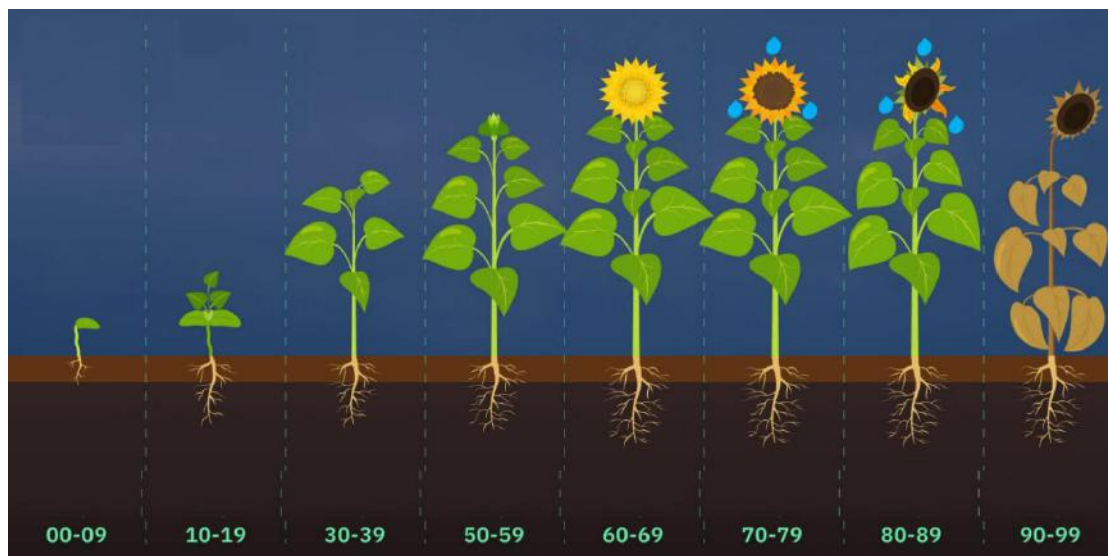
Niedostatek opadów w fazie kwitnienia skutkuje ograniczeniem krzewienia się roślin, a w dalszej kolejności opadaniem pąków. Powoduje również zmniejszenie w łuszczykach liczby nasion i zawartego w nich tłuszczu a jednocześnie wzrost zawartości substancji niepożądanych i białka. Większy spadek plonu wynikający z niedoboru wody występuje u roślin uprawianych na glebie lekkiej, podczas gdy u roślin uprawianych na glebie średniej spadek w wielkości plonu jest częściowo kompensowany przez rośliny wielkością zawartych w łuszczykach nasion.

W okresie poprzedzającym zwanie międzyrzędzi zapotrzebowanie roślin kształtuje się na poziomie poniżej 2 mm/d, a w okresie intensywnego wzrostu wzrasta do 3-7 mm/d. Optymalna wilgotność w okresie intensywnego wzrostu u rzepaku wynosi od 70 do 80% PPW. Na plonowanie roślin rzepaku oprócz wilgotności gleby wpływa również wilgotność powietrza. Przeciwdziała ona częściowo niektórym niekorzystnym zjawiskom, które towarzyszą suszy glebowej.

W Polsce aktualnie nie prowadzi się nawadniania rzepaku, ale potencjalnie może ono skutkować zwiększeniem plonu zarówno pod względem ilościowym jak i jakościowym. Dowiedzono, że efekty nawadniania rzepaku w znacznym stopniu zależą od warunków glebowych oraz nawożenia (zwłaszcza azotem). Na glebie lekkiej w wyniku nawadniania uzyskano plon o 11% większy niż gdy go zaniechano, na glebie średniej w wyniku nawadniania uzyskano plon o 18% większy.

3.5.2. Słonecznik zwyczajny

Słonecznik jest gatunkiem klimatu kontynentalnego odpornym na suszę, jego system korzeniowy sięga do głębokości 160 cm, co umożliwia wykorzystywanie wody z głębszych warstw gleby. Polowe zużycie wody przez słonecznik wynosi od 300 do 320 mm (TOMASZEWSKA, ŚLUSARCZYK 1989). Niedostateczna ilość opadów w krytycznym okresie powoduje zmniejszenie jego plonu. Niedobór opadów w okresie kwitnienia i wiązania niełupek (rys. 16) wymusza zastosowanie



Rys. 16. Krytyczne fazy rozwojowe słonecznika w skali BBCH: BBCH 70 – 79 faza wiązania niełupek, BBCH 80 – 89 faza wypelniania niełupek

(źródło: <https://eos.com/wp-content/uploads/2023/09/growth-stages-of-sunflower.jpg.webp>)

nawodnienia aby zapobiec zmniejszeniu plonu i zawartości tłuszczu w niełupkach. W Polsce uprawie słonecznika przeznaczonego na produkcję oleju nie sprzyja nadmierna ilość opadów w krytycznym okresie, jedynie w południowo-zachodniej i południowo-wschodniej części kraju występują sprzyjające warunki meteorologiczne (BERBEĆ, KOŁODZIEJ 2006).

LITERATURA

- BUDZYŃSKI W., OJCZYK T., (red)., 1996. Rzepak, produkcja surowca olejarskiego. Wyd. ART Olsztyn
- JEZNACH J., MOSIEJ J., 2006. Trwałe użytki zielone. W: Nawadnianie roślin (red. St. Karczmarczyk, L. Nowak). PWRiL. Oddz. w Poznaniu.
- KARCZMARCZYK St., 2006. Nawadnianie roślin pastewnych. W: Nawadnianie roślin (red. St. Karczmarczyk, L. Nowak). PWRiL. Oddz. w Poznaniu.
- BERBEĆ St., KOŁODZIEJ B., 2006. Rośliny przemysłowe, specjalne i zielarskie. W: Nawadnianie roślin (red. St. Karczmarczyk, L. Nowak). PWRiL. Oddz. w Poznaniu.
- NOWAK L., 2006. Nawadnianie roślin okopowych. W: Nawadnianie roślin (red. St. Karczmarczyk, L. Nowak). PWRiL. Oddz. w Poznaniu.
- TOMASZEWSKA J., ŚLUSARCZYK E., 1989. Połowe zużycie i współczynnik jednostkowego zużycia wody wybranych roślin przy pełnym i ograniczonym zaopatrzeniu w wodę. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 343
- ŻARSKI J., 2006. Potrzeby i efekty nawadniania zbóż. W: Nawadnianie roślin (red. St. Karczmarczyk, L. Nowak). PWRiL. Oddz. w Poznaniu.

Załącznik do Rozdziału 3. - Skala BBCH

U każdej z roślin uprawnych w procesie wzrostu można stwierdzić występowanie kluczowych faz rozwojowych charakterystycznych dla danego gatunku i/lub grupy gatunków. W tym celu opracowany został dziesiętny system skali BBCH. Nazwa BBCH wywodzi się od skrótu niemieckich słów *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie* (Federalne Centrum Badań Biologicznych, Federalny Urząd Odmian Roślin i Przemysł Chemiczny). Podstawą opracowania tej skali dla gatunków roślin uprawnych była zaproponowana przez Zadoksa w 1974 r. dziesiętna skala opisująca rozwój zbóż (ZADOKS, i in. 1974¹). Została ona następnie zmodyfikowana i dostosowana do faz rozwojowych innych gatunków roślin. Jak sugeruje rozwinięcie skrótu skali pierwotnie miała ona na celu usystematyzowanie terminów stosowania określonych zabiegów agrochemicznych typu oprysk czy nawożenie. Skale BBCH dla poszczególnych gatunków roślin bazują na systemie dziesiętnym, który przyporządkowuje określonej głównej fazie cyfrę od 0 do 9 i obejmuje 10 faz głównych. W celu dokładniejszego opisu fazy rozwojowej została dodana druga cyfra. Pozwala to na precyzyjne określenie na jakim etapie rozwoju znajduje się dany gatunek. Jest to ściśle powiązane z określonymi potrzebami roślin i ich wrażliwością na niedobór lub nadmiar określonych czynników lub zabiegów agrotechnicznych.

PRZYKŁADOWA SKALA BBCH ODNOSZĄCA SIĘ DO ROŚLIN ZBOŻOWYCH:

BBCH 5 – u zbóż oznacza fazę kłoszenia ogólnie, zaś **BBCH 52** – oznacza fazę kłoszenia, gdy - w zależności od gatunku zboża - jest odsłonięte 20% wysokości kłosa lub wiechy.

Fazy **główne** i drugorzędne wyróżniane u zbóż:

0 – kielkowanie

- 00 – suchy ziarniak
- 01 – początek pęcznienia ziarniaka
- 03 – koniec pęcznienia ziarniaka
- 05 – wydostanie korzenia zarodkowego z ziarniaka
- 07 – wyłonienie się pochewki liściowej z ziarniaka
- 09 – przebicie gleby przez pochewkę liściową

1 – rozwój liści

- 10 – faza „szpilkowania” – 1 liść wydobywa się z pochewki liściowej
- 11 – faza 1 liścia
- 12 – faza 2 liści
- 13 – faza 3 liści
- 19 – faza 9 liści i kolejnych

2 – faza krzewienia

- 20 – brak rozkrzewienia
- 21 – początek fazy krzewienia, pojawia się pęd boczny
- 22 – pojawiają się 2 rozkrzewienia
- 23 – pojawiają się 3 rozkrzewienia
- 29 – koniec fazy krzewienia

¹¹ J.C. Zadoks, T.T. Chang, C.F. Konzak. A decimal code for the growth stages of cereals.. „Weed Research”. 14, 1974.

3 – strzelanie w źdźbło (początek wzrostu elongacyjnego łodygi lub pędu)

- 31 – 1 kolanko umiejscowione co najmniej 1 cm nad węzłem krzewienia
- 32 – 2 kolanko umiejscowione co najmniej 2 cm nad węzłem krzewienia
- 33 – 3 kolanko umiejscowione co najmniej 2 cm nad węzłem krzewienia
- 37 – widoczny jest liść flagowy nie jest jeszcze rozwinięty, początkowa faza pęcznienia kłosa
- 39 – faza liścia flagowego – liść flagowy jest rozwinięty i widoczny jest języczek liściowy ostatniego liścia

4 – grubienie pochwy liściowej liścia flagowego

- 41 – początek nabrzmiwania pochwy liściowej liścia flagowego, wczesny rozwój kłosa/wiechy
- 43 – widoczna nabrzmiła pochwa liściowa liścia flagowego
- 45 – koniec nabrzmiwania pochwy liściowej, późny rozwój kłosa/wiechy
- 47 – otworzenie pochwy liściowej liścia flagowego
- 49 – widoczne pierwsze ości

5 – kłoszenie

- 51 – początek kłoszenia: szczyt kłosa/wiechy wyłania się z pochwy, widoczny pierwszy kłosek
- 52 – odsłonięcie 20% kłosa/wiechy,
- 53 – odsłonięcie 30% kłosa/wiechy,
- 54 – odsłonięcie 40% kłosa/wiechy,
- 55 – odsłonięcie 50% kłosa/wiechy,
- 56 – odsłonięcie 60% kłosa/wiechy,
- 57 – odsłonięcie 70% kłosa/wiechy,
- 58 – odsłonięcie 80% kłosa/wiechy
- 59 – koniec kłoszenia: całkowicie widoczny kłos/wiecha, wszystkie kłoski wydobywają się z pochwy,

6 – kwitnienie,

- 61 – początek kwitnienia: widoczne pierwsze pylniki,
- 65 – pełnia kwitnienia: widoczne 50% pylników,
- 69 – koniec kwitnienia: widoczne zaschnięte pylniki, wszystkie kłoski zakończyły kwitnienie,

7 – rozwój ziarniaków,

- 71 – dojrzałość wodna: pierwsze ziarniaki wodniste, osiągnięta połowa typowej wielkości,
- 73 – początek dojrzałości mleczej,
- 75 – pełna dojrzałość mleczna,
- 77 – dojrzałość późno-mleczna,

8 – dojrzewanie,

- 83 – początek dojrzałości woskowej ziarniaków,
- 85 – dojrzałość woskowa miękka: ziarniaki łatwo rozetrzeć palcami,
- 87 – dojrzałość woskowa twarda: ziarniaki łatwo złamać paznokciem,
- 89 – dojrzałość pełna: ziarniaki trudne do podzielenia paznokciem,

9 – zamieranie,

- 92 – dojrzałość martwa: ziarniaki są bardzo twarde, nie można wbić w nie paznokcia,
- 93 – ziarniaki luźno ułożone w kłosie, zaczynają się osypywać,
- 97 – roślina więdnie i zamiera,
- 99 – zebranie ziarna, okres spoczynku.

U roślin uprawnych występują krytyczne fazy wzrostu wymagające zastosowania nawadniania. Występują także fazy graniczne, które to charakteryzuje zwiększone lub zmniejszone zapotrzebowanie na wodę, pokrywają się one z określonymi fazami rozwojowymi i dlatego można im przypisać określone oznaczenie numeryczne w skali BBCH.

4. Strategie (scenariusze) gospodarowania wodą na polach (E. Kaca)

Rolnik powinien być przygotowany do nawodnień upraw w charakterystycznym okresie jakim jest okres przewidywanych nawodnień, szczególnie w latach średnich i średnio suchych. W tym celu niezbędny jest plan gospodarowania wodą z uwzględnieniem lokalizacji deszczowni, charakterystyki gleb i planowanych do deszczowania roślin oraz rozkładu tych roślin na polach płodozmianowych w kolejnych latach kalendarzowych. W takim planie przedstawia się potrzeby wodne roślin, przewidywane okresy deszczowań, zapotrzebowanie na wodę do nawodnień, w tym zapotrzebowanie miarodajne (o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia), dawki okresowe wody w nawodnieniach, dawki polewowe, czasy trwania cykli deszczowań. Wskazane jest, aby powstał ogólny sezonowy plan deszczowań, z informacją o niezbędnych dopływach wody na poszczególne pola płodozmianowe i na cały obszar. Dopływy te powinny być porównane z wydajnością źródła wody do nawodnień.

Zagadnienia tu poruszane wymagają specjalistycznych obliczeń. Zostały one opisane przez KACĘ i in. (2018). Potrzeba takich analiz wynika m. in. ze zmieniających się warunków klimatycznych wpływających na niedobory opadów i zapotrzebowanie na wodę do nawodnień. W tym rozdziale opisuje się metody szacunkowe, ale wystarczające dla doradcy rolnego i rolnika.

4.1. Potrzeby wodne roślin

Potrzeby wodne roślin to ilość wody zużytej w okresie wegetacji przez rośliny wydające wysoki plon, nie ograniczany układem czynników przyrodniczych. Potrzeby te zależą od rośliny, fazy jej rozwoju i długości okresu wegetacji. Potrzeby wodne w okresie wegetacji przykładowych roślin, zestawione z różnych źródeł przez OSTROWSKIEGO i in. (2008), podano w tabeli 7. Porównując wartości zawarte w tabeli z opadami za okres wegetacji (najmniejsze opady dla Wielkopolski wynoszą 340-380 mm) można zauważyć, że potrzeby te często znacznie przewyższają opady, dlatego też chcąc uzyskać wysoki plon roślin należy stosować nawodnienia.

Tabela 7. Zapotrzebowanie na wodę w okresie wegetacji wybranych roślin polowych i użytków zielonych na obszarze Niżu Polskiego (na podstawie kilku źródeł, za OSTROWSKIM i in. 2008)

Roślina	Okres wegetacji	Zapotrzebowanie na wodę, mm	Roślina	Okres wegetacji	Zapotrzebowanie na wodę, mm
Żyto	IV - VII	250-280	Lucerna	IV - IX	450-500
Pszenica ozima	IV - VII	270-300	Buraki cukrowe	IV - IX	500-550
Jęczmień jary	IV - VIII	360-370	Buraki pastewne	IV - IX	450-540
Owies	IV - VII	290-340	Marchew	V - IX	480-530
Ziemniaki wczesne	IV - VII	280-330	Warzywa wczesne	V - VII	250-400
Ziemniaki późne	IV - IX	430-480	Warzywa późne	V - IX	500-600
Pastwiska polowe	IV - IX	450-530	Rośliny i krzewy jagodowe	zróżnicowany	500-600
Kukurydza na ziarno	IV - IX	450-480	Sady	zróżnicowany	600-800
Rzepak ozimy	IV - VII	350-400	Łąki 3-kośne	IV - IX	450-500

4.2. Przewidywane okresy deszczowań wegetacyjnych

Rośliny w ciągu swojego życia przechodzą różne fazy rozwoju, w których różni się ich zapotrzebowanie na wodę. Zapotrzebowanie to jest najmniejsze w pierwszym okresie rozwoju, potem stopniowo zwiększa się i osiąga duże wartości (okres największego zapotrzebowania na wodę), a następnie stopniowo maleje. Przewidywane okresy deszczowań zawierają się w okresach największego zapotrzebowania roślin na wodę. Szacunkowo okresy te można określić z tabeli 8, opracowanej w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych (IMUZ) przez prof. Stanisława Drupkę (DRUPKA 1980). Dane w tej tabeli dotyczą rejonów środkowozachodnich i południowych naszego kraju.

Tabela 8. Przewidywane okresy deszczowań wegetacyjnych (wg DRUPKI 1980)

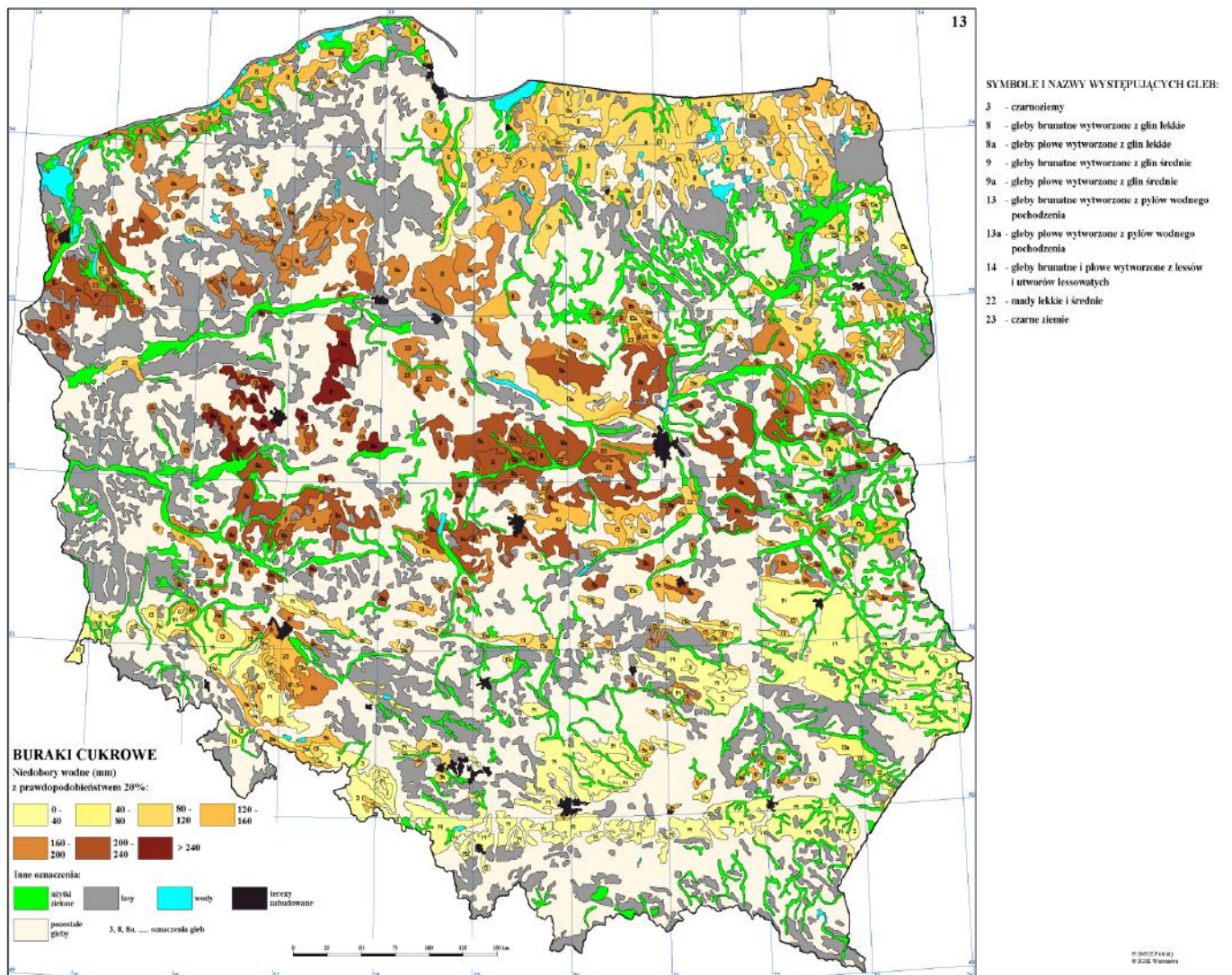
Grupy roślin i użytków	Okresy deszczowań
Warzywa	15 IV – 30 IX
Truskawki i poziomki	5 V – 25 VIII
Pozostałe rośliny i krzewy jagodowe	15 V – 15 VIII
Kwiaty i rośliny zielarskie	5 V – 31 VIII
Sady i szkółki drzew owocowych	1 VI – 31 VIII
Lucerna, koniczyna czerwona, zielonki trawiaste do suszarń, pastwiska kwaterowe, łąki trzykośne	10 V – 15 IX
Buraki cukrowe i pastewne	20 VI – 10 IX
Ziemniaki wczesne	20 V – 5 VII
Ziemniaki późne	10 VI – 10 VIII
Rośliny pastewne o dużej masie części nadziemnych lub podziemnych w plonie głównym	10 VI – 31 VIII
Oleiste i strączkowe oraz pozostałe rośliny polowe zbierane w środku lata (bez zbóż i rzepaku)	10 V – 30 VI
Zboże jare	15 V – 10 VII
Zboże ozime	20 IV – 30 VI i 10 IX – 30 IX
Rzepak	10-25 IV; 15-31 V i 20 VIII – 30 IX
Przedplony	20 IV – 25 V
Wsiewki w zboża i poplony	25 VII – 20 IX

W rejonach północnych i północno-wschodnich, terminy rozpoczynania nawodnień należy przesunąć według następujących zasad:

- 1) deszczowanie, które według tabeli 8 ma być rozpoczynane w kwietniu i w pierwszej dekadzie maja (od 5 V) należy opóźnić o ok. 10 dni,
- 2) nawodnienia, które według tabeli 8 wyznaczono na drugą i trzecią dekadę maja powinny być opóźnione o ok. 5 dni,
- 3) nawodnienia, które rozpoczynają się po 25 maja należy przyjmować jednakowo dla całego kraju.

4.3. Sezonowe normy nawodnień deszczownianych netto i brutto

Sezonową (sumaryczną) normę nawodnień deszczownianych netto (D) rośliny definiuje się jako sumaryczną ilość wody (w mm), którą w ciągu roku w przewidywanym okresie nawodnień należy wprowadzić do gleby w celu pokrycia rocznego zapotrzebowania na wodę do nawodnień, występującego z zapotrzebowaniami większymi z określonym (miarodajnym) prawdopodobieństwem, np. z prawdopodobieństwem 20%. Zapotrzebowania te, tożsame z niedoborami wodnymi roślin, nazywane są również sezonowymi normami nawodnień deszczownianych. Na rysunku 16. przedstawiono mapę wartości rocznych niedoborów wodnych buraka cukrowego, które wraz z niedoborami większymi występują z prawdopodobieństwem 20% (raz na 5 lat). Takie mapy dla 12 polowych roślin uprawnych opracował w IMUZ zespół pod naukową redakcją J. Ostrowskiego i L. Łabędzkiego (OSTROWSKI i in. 2008).



Rys. 17. Mapa rocznych niedoborów wodnych buraka cukrowego o prawdopodobieństwie przewyższenia 20% (źródło: OSTROWSKI i in. 2008)

Wartości sezonowych norm nawodnień deszczownianych zostały wyznaczone przez prof. Stanisława Drupkę w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach (tab. 9). Normy te są zróżnicowane ze względu na strefy potrzeby nawodnień. Strefa I dotyczy obszarów o średnich rocznych opadach - do 600 mm, strefa II zaś obszarów o opadach ponad 600 mm. Dla rejonów leżących na pograniczu obu stref, tj. dla rejonów z opadami rocznymi od 585 mm do 600 mm, należy przyjmować średnie wartości potrzeb nawodnień z podanych norm. Normy te zostały opracowane w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku i dlatego mogą być obciążone pewną niedokładnością, związaną ze zmianą klimatu (zmiany wysokości opadów i ewapotranspiracji).

Tabela 9. Sezonowe (sumaryczne) normy nawodnień deszczownianych netto (D) w mm warstwy wody dla poszczególnych upraw i użytków (źródło: DRUPKA 1980)

Rodzaj upraw i użytków	Sezonowe normy nawadniania netto (mm)			
	średnie		w latach średnio suchych	
	I strefa	II strefa	I strefa	II strefa
Wczesne kalafiory i wczesne kapusty	110	90	125	100
Pozostałe warzywa wczesne	65	50	90	70
Średnio późne i późne kalafiory i kapusty oraz selery	130	110	150	130
Pozostałe warzywa średnio późne i późne	100	90	130	110
Truskawki i poziomki	120	100	180	150
Pozostałe rośliny i krzewy jagodowe	120	100	180	150
Kwiaty i rośliny zielarskie	100	90	130	110
Sady i szkółki drzew owocowych	170	145	200	170
Lucerna, zielonki trawiaste do suszarń, intensywne (kwaterowe) pastwiska, bez korzystania z podsiąku wody gruntowej	185	150	240	200
Koniczyna czerwona (3 pokosy), łąki 3-pokosowe bez korzystania z podsiąku wody gruntowej	160	135	200	170
Buraki cukrowe i pastewne	120	105	160	135
Ziemniaki wczesne	65	50	95	80
Ziemniaki późne	110	90	140	110
Rośliny pastewne jednoroczne o dużej masie części nadziemnych lub podziemnych w plonie głównym	115	96	150	130
Oleiste i strąkowe oraz pozostałe rośliny polowe zbierane w środku lata, z wyjątkiem zbóż i rzepaku	75	60	110	90
Zboża jare	60	50	90	60
Zboża ozime	80	60	105	75
Rzepak	60	50	75	60
Przedplony	50	40	60	50
Wsiewki w zboża i poplony	75	60	105	90

Oprócz sezonowej (sumarycznej) normy nawodnień deszczownianych netto oblicza się również normę brutto, która dla danej rośliny będzie równa:

$$D_b = \frac{D}{\eta_o} \quad (\text{mm}) \quad (12)$$

gdzie: η_o – okresowy techniczny współczynnik wykorzystania wody.

Współczynnik η_o uwzględnia straty powstałe przy parowaniu wody z powierzchni kropel sztucznego deszczu, a jego wartości zawierają się w granicach $<0,80; 0,85>$ i zależą głównie od osiągniętej równomierności rozprowadzania wody w zasięgu zraszacza. W związku z tym tam, gdzie zapewni się większą równomierność można przyjmować większe wartości współczynnika η_o , przy zraszaniu zaś wielkich powierzchni upraw polowych i użytków zielonych należy przyjmować wartości mniejsze.

4.4. Niedobory wody w okresach największego na nią zapotrzebowania

Przy doborze wydajności deszczowni bierze się pod uwagę największy średni dobowy niedobór opadów e_T , w $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$, w okresie nie miesiąca, lecz czasu krótszego - realizacji cyklu deszczowania T . Niedobór ten jest równy intensywności wyczerpywania się wody łatwo dostępnej dla roślin z gleby. Wartość tego niedoboru, nazywanego miarodajnym niedoborem opadów za okres cyklu deszczowania, można wyznaczyć z tabeli 10, opracowanej i zalecanej do stosowania przez DRUPKĘ (1980).

Tabela 10. Niedobory wody e_T w $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ w okresach największego zapotrzebowania roślin (źródło: DRUPKA, 1980)

Rodzaj uprawy lub użytku	Strefy potrzeby nawodnień	
	I strefa < 600 mm opadu	II strefa > 600 mm opadu
Warzywnictwo intensywne	3,7	3,0
Warzywnictwo średnio intensywne	2,9	2,4
Truskawki i poziomki	2,9	2,5
Pozostałe rośliny i krzewy jagodowe	2,9	2,5
Lucerna i koniczyna czerwona (łąkowa)	2,7	2,3
Zielonki trawiaste na zapleczu suszarń przemysłowych	jak lucerna	
Pastwiska kwaterowe	jak lucerna	
Buraki cukrowe i pastewne	jak lucerna	
Ziemniaki wczesne	3,2	2,6
Ziemniaki późne	2,5	2,0
Pozostałe rośliny pastewne o dużej masie części nadziemnych i podziemnych w plonie głównym (np. kukurydza)	2,6	2,1
Rośliny oleiste i strączkowe oraz pozostałe rośliny polowe z wyjątkiem zbóż i rzepaku	2,4	2,0
Zboża	2,1	1,75
Rzepak	jak zboża	
Poplony i przedplony	jak zboża	
Plantacje nasienne	wg rodzaju tych plantacji jak warzywa lub oleiste i strączkowe albo jak zboża	
Rośliny zielarskie	2,9	2,5
Kwiaty i rośliny ozdobne	2,9	2,5
Sady i szkółki drzew owocowych	2,7	2,3

4.5. Dawki polewowe netto i brutto

Dawka polewowa netto (d) jest to ilość wody netto (bez uwzględnienia strat), którą dla osiągnięcia celu należy wprowadzić do gleby w czasie trwania nawodnienia (polewu). Wielkość ta wyraża się w mm lub $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

W przypadku wegetacyjnych nawodnień deszczownianych celem nawodnienia jest zwiększenie uwilgotnienia korzeniowej warstwy gleby z wilgotności aktualnej (W_a) do wilgotności odpowiadającej polowej pojemności wodnej (W_{PPW}).

Maksymalną dawkę polewową netto d_{max} dla gleb jednorodnych i terenów z głęboko położonym zwierciadłem wody gruntowej można obliczyć wg wzoru:

$$d_{max} = 0,1 \cdot h \cdot (W_{PPW} - W_{PHW}) \quad (13)$$

gdzie:

d_{max} – maksymalna dawka polewowa (mm),

h – maksymalna dla rośliny głębokość zwilżania gleby (głębokość kontrolowanego uwilgotnienia) (cm),

W_{PPW} – wilgotność gleby w warunkach polowej pojemności wodnej ($pF \approx 2$), % obj.,

W_{PHW} – wilgotność gleby w warunkach punktu hamowania wzrostu roślin ($pF \approx 3$), % obj.

Wartości h przedstawiono w tabeli 11, zaś wartości W_{PPW} i W_{PHW} w tabeli 12.

Maksymalna dawka polewowa netto (d_{max}) jest co do wysokości równa zapasowi wody **łatwo dostępnej** dla roślin (ZWŁD).

Wg danych amerykańskich (KELLER, BLIESNER 1990) zarządzanie wodą na polu pod roślinami polowymi (rośliny pastewne, zboża, głęboko korzeniące się uprawy rzędowe) polega na utrzymywaniu w glebie zapasu wody w ilości nie mniejszej niż 50% zapasu wody **dostępnej** (ZWD). W przypadku roślin polowych średnio głęboko korzeniących się ta wartość wynosi od 40 do 50% ZWD, a dla upraw rzędowych płytko korzeniących się od 25 do 40% ZWD. Przykładowo obliczona na tej podstawie d_{max} dla buraków cukrowych uprawianych na glinie piaszczystej jest bardzo wysoka i wynosi od 50 do 100 mm. Dawkę tę oblicza się jako 50% iloczynu ZWD w 100 cm warstwie gleby (167 mm) i efektywnej głębokości korzenia się buraka ($0,6 \div 1,2$ m).

Oprócz maksymalnej dawki polewowej wyróżnia się również minimalną dawkę polewową netto (d_{min}), której wartość w przybliżeniu równa się połowie dawki maksymalnej. Z zasady w deszczowaniu danej rośliny nie stosuje się maksymalnej dawki, ale dawkę d stanowiącą średnią wartość dawki minimalnej i dawki maksymalnej. Średnią tą będzie dawka $d \approx 0,75 \cdot d_{max}$. W przypadku deszczowania kilku roślin (kilka pól płodozmianowych) można próbować przyjąć jedną dawkę polewową mieszającą się w przedziale wyznaczonym przez dawkę maksymalną z dawek minimalnych i dawkę minimalną z dawek maksymalnych obliczonych dla wszystkich nawadnianych roślin.

Tabela 11. Maksymalne głębokości h zwilżania gleby dla poszczególnych grup roślin i zbiorowisk roślin
(źródło: DRUPKA, 1980)

Grupa roślin	Głębokość, cm
Rośliny warzywne	45
Truskawki i poziomki	40
Pozostałe rośliny jagodowe	50
Drzewa owocowe	50
Rośliny zielarskie, kwiaty oraz rośliny ozdobne wg rodzaju i długości okresu wegetacji	40–50
Lucerna, buraki cukrowe i pastewne	60
Wszystkie pozostałe rośliny polowe o długim okresie wegetacji, w tym zboża i rzepak	50
Rośliny polowe o krótkim okresie wegetacji, m.in. poplony i przedplony oraz ziemniaki wczesne	40
Pastwiska, trawiaste zielonki na zapleczu suszarń, łąki oraz koniczyna czerwona (łąkowa):	
– na glebach lekkich i średnich	50
– na glebach ciężkich	40

Tabela 12. Charakterystyczne wilgotności gleby obliczone wg wzoru van Genuchtena (obliczenia E. Kaca)

Grupa granulometryczna	Charakterystyczna wilgotność ¹⁾ :			
	W_s	W_{PPW}	W_{PHW}	W_{PTW}
	% obj.			
Piasek luźny	37,2	7,0	5,0	5,0
Piasek gliniasty	38,3	19,4	8,1	5,5
Gлина piaszczysta/glina lekka	37,9	24,5	11,9	7,2
Gлина piaszczysto-ilasta	38,1	30,7	20,2	12,8
Ił piaszczysty	38,4	31,4	24,7	19,2
Ił zwykły	47,1	41,3	31,1	22,1
Ił pylasty	50,0	41,2	27,9	18,5
Gлина pylasto-ilasta	48,1	41,8	23,2	12,7
Gлина ilasta	45,0	36,4	23,5	14,9
Gлина zwykła	42,8	33,0	17,8	11,1
Pył ilasty/pył gliniasty	42,5	37,0	20,4	14,9
Pył zwykły	43,2	41,9	16,3	7,5

¹⁾ wilgotność: W_s – w warunkach pełnego nasycenia gleby wodą, W_{PPW} – w warunkach polowej pojemności wodnej, W_{PHW} – w warunkach punktu hamowania wzrostu roślin (granica wody łatwo dostępnej dla roślin), W_{PTW} – w warunkach punktu trwałego wędnięcia.

Dawka polewowa brutto (d_b) jest większa od dawki polewowej netto i równa się:

$$d_b = \frac{d}{\eta_p} \quad (\text{mm}) \quad (14)$$

gdzie:

η_p – terminowy, techniczny współczynnik wykorzystania wody w czasie polewu; można przyjąć, że $\eta_p = \eta_o$.

4.6. Cykle deszczowania

W fazie projektowania przyjmuje się, że w przewidywanym okresie nawodnień deszczowanie roślin realizuje się cyklicznie – po pierwszym cyklu deszczowania pola następuje drugi cykl deszczowania tego pola itd. Maksymalny czas brutto T_b realizacji cyklu deszczowania rozpatrywanych roślin w okresie suchej pogody oblicza się wg wzoru:

$$T_b = \frac{d}{e_T} \quad (15)$$

gdzie:

T_b – czas brutto realizacji cyklu deszczowania rośliny (d),

d – dawka polewowa netto (mm),

e_T – miarodajne natężenie wyczerpywania się wody łatwo dostępnej z warstwy korzeniowej w czasie realizacji cyklu deszczowania (miarodajny średni dobowy niedobór opadów za okres cyklu – tab. 10) (mm/d).

Maksymalny czas netto T realizacji cyklu deszczowania danej rośliny w okresie suchej pogody zależy między innymi od: długości czasu brutto realizacji cyklu deszczowania, liczby wolnych od pracy sobót, niedziel i świąt przypadających na okres jednego polewu, przewidywanej liczby dni z silnymi wiatrami itp. W przybliżeniu czas ten można obliczać ze wzoru:

$$T = \tau_w T_b \quad (16)$$

gdzie:

T – czas netto realizacji cyklu deszczowania rośliny (d),

τ_w – współczynnik wykorzystania czasu w cyklu nawodnień. Najczęściej $\tau_w = 0,8$.

Efektywny czas t_h deszczowania rośliny w ciągu doby zależy od zmienności pracy (praca na jedną lub dwie zmiany), czasu przeznaczonego na konserwacje i naprawy sprzętu deszczownianego itp. Według DRUPKI (1980) czas ten dla deszczowni półstałych powinien wynosić dla roślin polowych, plantacji i użytków 15 h/d. W przypadku deszczowni pracujących w ruchu (np. opartej na rurociągach nawijanych) czas ten może wynosić nawet 23 h/d.

Efektywny czas deszczowania może być warunkowany również wydajnością źródła wody. W przypadku mało wydajnego źródła czas ten będzie związany z czasem gromadzenia wody w zbiorniku retencyjnym (np. gromadzenie wody trwa 24 godziny, a czas jej rozdeszczowania tylko $t_h = 5$ godzin).

4.7. Sezonowy ogólny plan deszczowania

Sezonowy ogólny plan deszczowania służy między innymi do obliczeń niezbędnego dopływu wody na nawadniany obszar w okresie przewidywanych nawodnień. Plan ten zawiera między innymi dane o przewidywanych okresach nawodnień poszczególnych roślin, o dopływach oraz stopniu wykorzystania urządzeń deszczownianych na poszczególnych polach płodozmianowych.

Jedna z istotnych informacji przedstawionych na planie dotyczy niezbędnego natężenia dopływu wody na jednostkę powierzchni zajęta przez daną roślinę. Można go wyznaczyć ze wzoru:

$$q = 2,78 \frac{d_b}{T \cdot t_h} \quad (17)$$

gdzie:

q – natężenie jednostkowego dopływu wody na pole pod rośliną, (l/s/ha),

d_b – dawka polewowa brutto (mm),

T – czas netto realizacji cyklu deszczowania rośliny (d),

t_h – efektywny czas deszczowania w ciągu doby (godz./d).

Mając obliczoną tę wartość można w prosty sposób wyznaczać natężenie dopływu wody Q na pole zajęte przez daną roślinę

$$Q = f \cdot q \quad (18)$$

gdzie:

Q – natężenie dopływu wody na pole pod daną rośliną (l/s),

f – powierzchnia zajęta pod roślinę (ha).

4.8. Sumaryczny nominalny dopływ wody na nawadniany obszar oraz wymagana wydajność stacji pomp

Najczęściej do deszczowania przeznacza się kilka rodzajów plantacji lub użytków, których przewidywane okresy deszczowań przynajmniej częściowo pokrywają się powodując powstanie szczytu nawodnień. W takim przypadku obliczenie miarodajnego dopływu na nawadniany obszar przedstawia pewną trudność.

W uproszczeniu niezbędne natężenie dopływu Q_c w okresie szczytu nawodnień na cały nawadniany obszar powinno być obliczane na podstawie natężeń dopływu jednostkowego q na pola (rośliny) przeznaczone do jednoczesnego deszczowania w okresie szczytu nawodnień oraz ich powierzchni f . Natężenie to wyraża się wzorem:

$$Q_c = \sum_{LM} f \cdot q \quad (19)$$

gdzie:

Q_c – natężenie dopływu wody na obiekt w okresie szczytu nawodnień (l/s),

q – natężenie jednostkowego dopływu wody na pole, l/s/ha,

LM – zbiór wszystkich pól (roślin), które z dużym prawdopodobieństwem w szczycie nawodnień będą nawadniane jednocześnie.

W szczególnych przypadkach, uzasadnionych np. doбором charakterystyk hydrauliczno-energetycznych agregatów pompowych, podobne do wyżej opisanych obliczenia miarodajnej liczby pól (roślin) jednocześnie nawadnianych, jak również wielkość dopływów, można prowadzić dla okresów poza szczytem nawodnień, charakteryzujących się znaczną koncentracją nawodnień.

Natężenie przepływu wody na stacji pomp Q_p oblicza się następująco:

$$Q_p = \frac{Q_c}{1-\beta} \quad (20)$$

gdzie:

Q_p – natężenie przepływu wody na stacji pomp deszczowni, l/s,

β – współczynnik sprawności systemu deszczownianego, uwzględniający straty wody w rurociągach, armaturze itp. Do obliczeń można przyjmować $\beta = 0,02$.

Wydajność źródła Q_z wody do nawodnień powinna być większa o ok. 10 ÷ 15% od przepływu Q_p wymaganego na stacji pomp.

4.9. Przykład projektowania gospodarki wodnej na polach płodozmianowych

Projektowanie gospodarki wodnej na polach płodozmianowych, ze szczególnym uwzględnieniem buraków cukrowych.

Dane wyjściowe:

Nawodnienia deszczowniane będą realizowane w gospodarstwie rolnym w pobliżu Warszawy, na pięciu polach płodozmianowych o powierzchni 50 ha każde. Rozpoczęcie nawodnień przewiduje się w 2026 r. Pola płodozmianowe położone są na glinie piaszczystej.

Przewiduje się następujący płodozmian upraw:

- 1) burak cukrowy,
- 2) pszenica jara + wsiewka koniczyny czerwonej (łąkowej),
- 3) koniczyna czerwona (łąkowa),
- 4) pszenica ozima + międzyplon z gorczycy białej (odmiana antymatwikowa),
- 5) owies.

Szczegółowy rozkład roślin na tych polach w kolejnych latach przedstawiono w tabeli 13.

Tabela 13. Rozkład roślin na polach płodozmianowych w kolejnych latach kalendarzowych

Rok		Nr pola				
Kalenda- rzowy	Rotacji	I	II	III	IV	V
2026	1	burak cukrowy	pszenica jara + wsiewka konicz.	koniczyna+ pszenica ozima	pszenica ozima+ międzyplon	owies
2027	2	pszenica jara + wsiewka konicz.	koniczyna + pszenica ozima	pszenica ozima + międzyplon	owies	burak cukrowy
2028	3	koniczyna + pszenica ozima	pszenica ozima + międzyplon	owies	burak cukrowy	pszenica jara + wsiewka konicz.
2029	4	pszenica ozima + międzyplon	owies	burak cukrowy	pszenica jara + wsiewka konicz.	koniczyna+ pszenica ozima
2030	5	owies	burak cukrowy	pszenica jara + wsiewka konicz.	koniczyna+ pszenica ozima	pszenica ozima+ międzyplon
2031	1	burak cukrowy	pszenica jara + wsiewka konicz.	koniczyna + pszenica ozima	pszenica ozima+ międzyplon	owies
2032	2	pszenica jara + wsiewka konicz.	koniczyna + pszenica ozima	pszenica ozima + międzyplon	owies	burak cukrowy

Przewidywane okresy nawodnień:

Rośliny będą deszczowane w okresach wynikających z tabeli 8. Buraki cukrowe - w okresie od 20 VI do 10 IX.

Sezonowe normy nawodnień deszczownianych netto i brutto:

Sezonowe normy netto nawodnień uprawianych roślin określono z tabeli 9 dla II strefy potrzeb nawodnień (średni opad dla Warszawy 738 mm). W roku średnim sezonowa norma nawodnień buraka cukrowego w roku średnim wynosi 105 mm, zaś w roku średnio suchym 135 mm.

Sezonowe normy brutto nawodnień obliczono wg wzoru (12) przyjmując wartość okresowego technicznego współczynnika wykorzystania wody $\eta_o = 0,80$. Dla buraka cukrowego normy te wynoszą: w roku średnim wynosi 131 mm, zaś w roku średnio suchym 169 mm.

Niedobory wody w okresach największego na nią zapotrzebowania

Niedobór wody w okresach największego na nią zapotrzebowania odczytano z tabeli 10. Dla buraka cukrowego w II strefie potrzeb nawodnień wynosi on $e_T = 2,3$ mm/d.

Dawki polewowe netto i brutto. Dawki polewowe netto obliczano wg wzoru 13. Z tabeli 12 ustalono, że wilgotność gliny piaszczystej przy połowej pojemności wodnej (PPW) wynosi $W_{PPW} = 24,5\%$ obj., zaś przy punkcie hamowania wzrostu (PHW) $W_{PHW} = 11,9\%$ obj. W przypadku buraków cukrowych głębokość kontrolowanego uwilgotnienia (h) wynosi 60 cm (tab. 11), a maksymalna dawka polewowa netto (d_{max}), obliczona ze wzoru 13. wynosi 76 mm. Dawce tej odpowiada dawka minimalna netto d_{min} , która jest równa połowie dawki maksymalnej, a więc $d_{min} = 38$ mm.

Założono, że na wszystkich polach płodozmianowych stosowana będzie dawka polewowa o tej samej wysokości. Jej wartość oszacowano na $d = 38$ mm.

Przyjmując wartości technicznego współczynnika wykorzystania wody w czasie polewu $\eta_p = 0,8$, obliczono ze wzoru 14. wartość miarodajnej dawki polewowej brutto (d_b), która wynosi 48 mm.

Cykle deszczowania. Do obliczania maksymalnego czasu trwania cyklu deszczowania brutto T_b stosowano wzór 15 oraz niedobór opadów $e_T = 2,3$ mm/d odczytany dla II strefy z tabeli 10. W przypadku buraka cukrowego maksymalny czas trwania cyklu netto nawodnień oszacowano na $T = 14$ dni i czas brutto na $T_b = 17$ dni.

Sezonowy ogólny plan deszczowania. Na podstawie dotychczasowych ustaleń i wyników obliczeń, zawartych głównie w tabeli 14, opracowano sezonowy ogólny plan deszczowania (tab. 15). Z planu tego wynika, że największe natężenie deszczowań (największy pobór wody) może występować w okresie od 20 do 30 czerwca. W tym czasie może jednocześnie być nawadnianych pięć roślin. W tym przypadku niezbędne natężenie dopływu Q na cały nawadniany obszar może wynieść 143 l/s. Poza szczytem, np. na początku sezonu, będzie deszczowana tylko pszenica, zaś w połowie lipca prawdopodobnie jednocześnie – burak cukrowy i koniczyna czerwona. W tym czasie niezbędny dopływ wody na obiekt wyniesie odpowiednio ok. 25 i 67 l/s.

Niezbędna wydajność stacji pomp i źródła wody: Podstawę ustalenia niezbędnej wydajności Q_p stacji pomp stanowią obliczone niezbędne dopływy wody na obiekt. Wydajność tę obliczono na podstawie wzoru 20. przyjmując wartość współczynnika sprawności systemu

deszczownianego $\beta = 0,02$. Z obliczeń wynika, że wydajność ta powinna być zawarta w przedziale 26 – 146 l/s. Dobór agregatów pompowych może stanowić problem, gdyż powinny one pracować przy najwyższej sprawności, a ta jest możliwa tylko przy jednej wartości przepływu. Zapewne będzie dobranych kilka różnych agregatów.

Tabela 14. Podstawowe parametry gospodarowania wodą na polach płodozmianowych na przykładzie 2026 roku (II strefa, opad > 600mm)

Nr pola płodozmianowego	Roślina lub grupa roślin (użytków) na polu płodozmianowym	Dawka okresowa w roku średnio suchym		Miarodajny niedobór opadów	Dawka polewowa		Maksymalny czas cyklu deszczowania		Czas deszczowania w ciągu doby	Dopływ jednostkowy
		netto	brutto		netto	brutto	brutto	netto		
		mm			mm/d	mm		d		
I	Burak cukrowy	135	169	2,3	38	48	17	13	15	0,67
II	Pszenica jara + wsiewka koniczyny	150	188	1,75	38	48	22	17	15	0,51
	Koniczyna		0	2,3	38	48	17	13	15	0,67
III	Koniczyna	170	213	2,3	38	48	17	13	15	0,67
	Pszenica ozima		0	1,75	38	48	22	17	15	0,51
IV	Pszenica ozima	75	94	1,75	38	48	22	17	15	0,51
	Międzyplon z gorczycy białej	50	63	1,75	38	48	22	17	15	0,51
V	Owies	60	75	1,75	38	48	22	17	15	0,51
Współczynniki		$\eta_o = 0,8$			$\eta_p = 0,8$		$\tau_w = 0,8$			

LITERATURA

- DRUPKA S., 1980. Deszczownie i deszczowanie (wydanie II). PWRiL. Warszawa
- KACA E., PAPIEROWSKA E., SZATYŁOWICZ J., SZEJBA D., 2018. Ćwiczenia z systemów nawodnień - deszczownie. Wydaw. SGGW. Warszawa
- KELLER J., BLIESNER R.D., 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. (Nawodnienia deszczowniane i kropłowe). Wyd. Blackburn Press.
- OSTROWSKI J., ŁABĘDZKI L., KOWALIK W., KANECKA-GESZKE E., KASPERSKA-WOŁOWICZ W., SMARZYŃSKA K., TUSIŃSKI E., 2008. Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. Wydaw. IMUZ

Tabela 15. Fragment schematu sezonowego, ogólnego planu deszczowań na przykładzie 2026 r.

Nr pola płodozmianowego	Roślina lub grupa roślin (użytków) na polu płodozmianowym	Dawka polewowa brutto	Maksymalny czas cyklu deszczowania netto	Czas deszczowania w ciągu doby	Okres nawodnień	Liczba dni	Powierzchnia nawodnień	Dopływ wody		Przewidywane terminy nawodnień																				
										IV				V					VI					VII						
		20.IV	25.IV	30.IV	05.V					10.V	15.V	20.V	25.V	31.V	05.VI	10.VI	15.VI	20.VI	25.VI	30.VI	05.VII	10.VII	15.VII	20.VII	25.VII	31.VII				
		Liczba roślin jednocześnie nawadnianych																												
		1	1	1	1					2	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	2	2	4	4			
mm	d	godz./d	od - do	ha	l/s/ha	l/s																								
I	Burak cukrowy	48	13	15	20 VI-10 IX	82	50	0,67	33,3																					
II	Pszenica jara + wsiewka kon.cz.	48	17	15	15 V-10 VII	56	50	0,51	25,3																					
	Koniczyna czerwona	48	13	15	25 VII-20 IX	57	50	0,67	33,3																					
III	Koniczyna czerwona	48	13	15	10.V-10.IX	123	50	0,67	33,3																					
	Pszenica ozima	48	17	15	20 IX-30 IX	10	50	0,51	25,3																					
IV	Pszenica ozima	48	17	15	20 IV-30 VI	71	50	0,51	25,3																					
	Mięczyplon z gorczyicy białej	48	17	15	25 VII-20 IX	57	50	0,51	25,3																					
V	Owies	48	17	15	15 V-10 VII	56	50	0,51	25,3																					
										Niezbędny dopływ wody w l/s																				
										25,3	25,3	25,3	25,3	58,6	109,3	109,3	109,3	109,3	109,3	109,3	109,3	142,6	142,6	142,6	117,3	117,3	66,6	66,6	125,2	125,2

5. Sterowanie nawodnieniami deszczownianymi (Edmund Kaca)

W polskich warunkach klimatycznych nawodnienia deszczowniane należą do grupy nawodnień przerywanych. Przerwy w nawodnieniach są spowodowane przebiegiem pogody. Nawodnienia przerywa się w przypadku wystąpienia dużych opadów deszczu i ponownie rozpoczyna po wyczerpaniu części wody łatwo dostępnej dla roślin w glebie. Problem z jakim ma do czynienia gospodarstwo rolne wyposażone w system deszczowniany dotyczy ustalania terminu rozpoczęcia nawodnień, ich przerywania i ponownego rozpoczynania i kontynuowania.

Istnieją różne metody sterowania nawodnieniami deszczownianymi. Najbardziej zaawansowana została opisana w części V tego poradnika. W tym rozdziale omawia się metodę korygowanych harmonogramów i metodę bilansu wodnego z wykorzystaniem prognoz meteorologicznych.

5.1. Metoda korygowanego harmonogramu (regularnych cykli deszczowań)

Metoda korygowanego harmonogramu nawiązuje do sezonowego ogólnego planu deszczowań (tab. 15) zazwyczaj sporządzanego dla roku średnio suchego (o określonym prawdopodobieństwie potrzeb wodnych roślin). Wg DRUPKI (1976) metoda korygowanego harmonogramu opiera się na kilku prostych założeniach:

- nawodnienie rozpoczyna się zawsze na kilka dni przed początkiem okresu największego zapotrzebowania na wodę danego gatunku rośliny lub danego użytku (tab. 8 i rozdział 3),
- nawodnienia wykonuje się w pełnych cyklach przez cały okres największego zapotrzebowania roślin na wodę,
- długości przerw w deszczowaniu zależą od wysokości opadów jakie wystąpiły.

Nawodnienia rozpoczyna się z kilkudniowym wyprzedzeniem przed początkiem okresu optymalnego, z wyjątkiem przypadków, gdy w dniu planowanego rozpoczęcia nawodnień spadły opady deszczu o wysokości przekraczającej 25–30 mm. W takim przypadku nawodnienia rozpoczyna się z 5- 6-dniowym opóźnieniem. Po rozpoczęciu i zakończeniu pierwszego cyklu deszczowania przystępuje się bez przerwy do deszczowań w drugim cyklu. Przerwy mogą wystąpić wtedy, gdy wystąpił opad jednodzienny o wysokości przekraczającej 15 mm. Orientacyjna długość przerwy powinna wynosić ok. jeden dzień na każde 5 mm spadłego deszczu w przypadku opadów nie przekraczających 30 mm na glebach lekkich i 35-40 mm na glebach średnio zwięzłych i zwięzłych. W sytuacji przekroczeniu tych wysokości opadu czas przerwy pozostaje bez zmiany (6-7 (8) dni). W suche lata nawodnienia można prowadzić poza okresem optymalnym, szczególnie we wcześniejszych fazach rozwoju roślin. Do sterowania nawodnieniami wg korygowanego harmonogramu w gospodarstwie powinien znajdować się deszczomierz, najlepiej automatyczny z możliwością zdalnego przesyłu informacji.

5.2. Metoda bilansu wodnego z wykorzystaniem prognoz meteorologicznych

Bilansowa metoda sterowania nawodnieniami deszczownianymi została w Polsce wprowadzona przez prof. DRUPKĘ (1976). Zasady tej metody są następujące:

- 1) nawodnienia wykonuje się w okresach największego zapotrzebowania roślin na wodę,

- 2) decyzję o prowadzeniu lub przerywaniu nawodnień podejmuje się na podstawie dobowych przychodów i rozchodów wody z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu,
- 3) przychodami wody są tzw. opady znaczące (efektywne), retencja użyteczna górnej warstwy gleby (warstwy kontrolowanego uwilgotnienia) oraz dawki polewowe deszczowania netto,
- 4) rozchodem wody jest zużycie wody z warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu, będące różnicą między dobową ewapotranspiracją a dobowym podsiąkiem wody z warstwy poniżej warstwy kontrolowanego uwilgotnienia.

Podstawę metody stanowi równanie bilansu wodnego warstwy kontrolowanego uwilgotnienia gleby na nawadnianych powierzchniach. Równanie to wyraża się wzorem:

$$ZW\dot{L}D'_i = ZW\dot{L}D_{i-1} + P_{ei} + d_i - e_{hi} \quad (21)$$

$$ZW\dot{L}D_i = \begin{cases} ZW\dot{L}D'_i, & \text{jeżeli } ZW\dot{L}D'_i \leq d_{max} \\ d_{max}, & \text{jeżeli } ZW\dot{L}D'_i > d_{max} \end{cases}$$

gdzie:

i – indeks przy składnikach bilansu oznaczający i -ty (aktualny) dzień bilansowania ($i=1, 2, 3, \dots$),

$i-1$ – indeks przy składnikach bilansu oznaczający $i-1$ -szy (poprzedni) dzień bilansowania,

$ZW\dot{L}D_i$ – obliczany zapas wody łatwo dostępnej w warstwie kontrolowanego uwilgotnienia gleby na koniec aktualnego (i -tego) dnia okresu bilansowego, mm,

$ZW\dot{L}D_{i-1}$ – zapas wody łatwo dostępnej w warstwie kontrolowanego uwilgotnienia gleby na koniec poprzedniego ($i-1$ -ego) dnia okresu bilansowego, mm,

d_i – wysokość dawki polewowej netto zastosowanej w i -tym dniu na branym pod uwagę stanowisku pracy rurociągu deszczującego, mm,

d_{max} – wysokość maksymalnej dawki polewowej, mm

P_{ei} – wysokość naturalnego opadu efektywnego (znaczącego) w i -tym dniu okresu bilansowego, mm,

e_{hi} – dobowe zużycie wody z warstwy kontrolowanego uwilgotnienia w i -tym dniu okresu bilansowego, mm.

Bilansowanie wg równania (21) zasobów wody łatwo dostępnej dla roślin w glebie wymaga znajomości wartości początkowego zapasu wody łatwo dostępnej ($ZW\dot{L}D_{i-1}$) oraz dobowych, aktualnych i prognozowanych, wartości składników bilansu wodnego – opadu efektywnego (P_{ei}), dawki polewowej netto (d_i) i zużycia wody (e_{hi}) z warstwy kontrolowanego uwilgotnienia.

Po długotrwałych (nie burzowych) opadach deszczu albo po roztopach zimowych $ZW\dot{L}D_{i-1}$ jest równy co do ilości maksymalnej dawce polewowej netto d_{max} . Jej wartość w przybliżeniu można obliczyć wg wzoru (13), na podstawie wilgotności W_{PPW} przy polowej pojemności wodnej (PPW) i wilgotności W_{PHW} hamowania wzrostu roślin (PHW) (tab. 12) oraz miąższości h warstwy kontrolowanego uwilgotnienia gleby (tab. 11). Bardziej szczegółowe obliczenia można wykonać posługując się równaniem van GENUCHTENA (1980) oraz parametrami do tego równania obliczanymi ze wzorów WÖSTENA i in. (1999). Do obliczeń wg tych wzorów należy dysponować

informacją o zawartości w glebie frakcji iłowej ($<2 \mu\text{m}$) (%), frakcji pyłowej (od $2 \mu\text{m}$ do $50 \mu\text{m}$) (%), substancji organicznej (%) oraz o gęstości objętościowej gleby (g/cm^3). Szczegóły odnośnie do tych obliczeń opisano w pracy KACY i in. (2018).

Dobowa wartość opadu znaczącego (P_{ei}) w danym (i -tym) dniu może być szacowana na podstawie pomiaru deszczomierzem wysokości P opadu rzeczywistego oraz jego wysokości w dniach poprzednich. DRUPKA (1976) zaleca nie uwzględniać opadu z i -tego dnia, jeżeli nie został on poprzedzony opadami w poprzednich dniach i jego wysokość nie przekracza w kwietniu 2,0 mm, w maju 3,0, w czerwcu 3,6, w lipcu 3,6, w sierpniu 3,0 i we wrześniu 2,0 mm.

W przypadku opadów występujących codziennie przez kilka kolejnych dni to:

- jeżeli opady były niższe od w/w (w kwietniu 2,0 mm, w maju 3,0 mm itd.) to nie bierze się ich pod uwagę w bilansie,
- jeżeli pierwszego dnia spadł opad niższy od w/w a drugiego dnia wyższy to nie uwzględnia się opadu z pierwszego dnia,
- jeżeli po dniu z opadem wyższym od w/w wystąpił w kolejnym dniu lub w kolejnych dniach opad niższy od w/w to opady te uwzględnia się w bilansie.

Problem opadów skutecznych komplikuje się, gdy są to duże (nawalne) opady, a nawadniane tereny charakteryzują się znacznymi spadkami. W takim przypadku część opadu, w hydrologii zwanego opadem efektywnym, odpływa po powierzchni terenu. Wartość tej części można obliczyć posługując się metodą opisaną w części V poradnika (rozdział 4.4).

Dobowe zużycie e_{hi} wody z warstwy kontrolowanego uwilgotnienia gleby (z warstwy o miąższości h) stanowi różnica między dobową ewapotranspiracją roślin e_i i dobowym podsiąkiem kapilarnym q_i wody z warstwy poniżej warstwy kontrolowanego uwilgotnienia. Wielkość e_{hi} może być obliczana metodami modelowania matematycznego lub też wyznaczana z tabeli 16 opracowanej w IMUZ przez prof. Drukę. Do wyznaczenia tego zużycia niezbędna jest średnia dobową temperatura powietrza. Można ją uzyskać z najbliższej stacji meteorologicznej. Metody wyznaczania terminu nawodnień w oparciu o modelowanie matematyczne opisano w części V poradnika (rozdział 3.).

Obliczenia bilansowe wg równania (21) wykonuje się dwuetapowo. Najpierw oblicza się fikcyjny zapas $ZW\dot{L}D'_i$, a następnie sprawdza, czy zapas ten jest mniejszy od maksymalnej dawki polewowej netto (d_{max}). Jeśli tak, to zapas wody łatwo dostępnej w k -tym dniu jest równy zapasowi fikcyjnemu ($ZW\dot{L}D_i = ZW\dot{L}D'_i$), a jeżeli nie - to jest równy maksymalnej dawce polewowej netto ($ZW\dot{L}D_i = d_{max}$). Ten ostatni przypadek oznacza, że warstwa kontrolowanego uwilgotnienia znajduje się w stanie polowej pojemności wodnej i każda dodatkowa ilość wody jako zasób nadmierny (Nad_i) będzie odpływać poniżej warstwy kontrolowanego uwilgotnienia. Ilość odpływającej wody można obliczyć wg wzoru:

$$Nad_i = \begin{cases} 0, & \text{jeżeli } ZW\dot{L}D'_i \leq d_{max} \\ ZW\dot{L}D'_i - d_{max}, & \text{jeżeli } ZW\dot{L}D'_i > d_{max} \end{cases} \quad (22)$$

Jeżeli nadmierny zasób pojawi się w dniu planowanego nawodnienia dawkę nawodnieniową należy zmniejszyć nawet do zera. Ten ostatni przypadek oznacza zaniechanie deszczowania powierzchni najczęściej deszczowanych w pierwszym dniu trwania cyklu deszczowań.

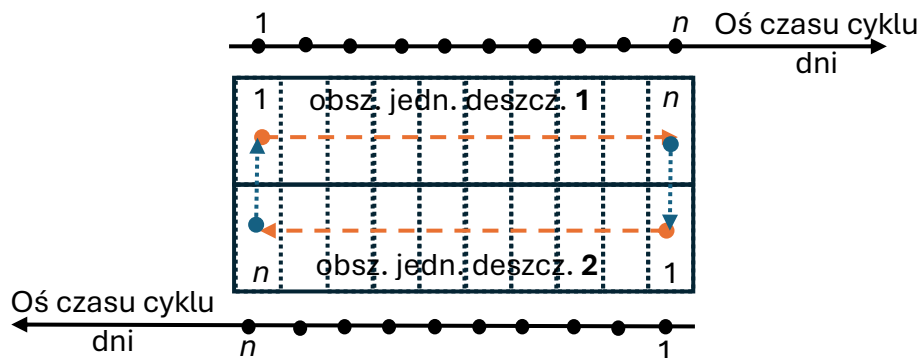
Tabela 16. Dobowe zużycie wody (e_n) w mm/d z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu w poszczególnych miesiącach okresu wegetacji roślin polowych, użytków zielonych, drzew owocowych i krzewów jagodowych (źródło: DRUPKA (1976))

Temperatura	Rodzaj podłoża gleb		Rodzaj podłoża gleb		Rodzaj podłoża gleb	
	zwężle	piaszczyste	zwężle	piaszczyste	zwężle	piaszczyste
°C	Kwiecień		Maj		Czerwiec	
25	□	□	□	□	4,3	5,15
24	□	□	□	□	4,05	4,85
23	□	□	3,55	4,3	3,85	4,6
22	□	□	3,4	4,05	3,6	4,3
21	□	□	3,2	3,85	3,4	4,05
20	2,75	3,3	3,0	3,6	3,15	3,8
19	2,65	3,15	2,8	3,4	2,95	3,5
18	2,5	3,0	2,65	3,15	2,8	3,25
17	2,4	2,9	2,45	2,95	2,7	3,25
16	2,3	2,75	2,25	2,7	2,6	3,1
15	2,2	2,6	2,25	2,7	2,5	2,95
14	2,05	2,5	2,25	2,7	2,35	2,85
13	1,95	2,35	2,25	2,7	2,25	2,7
12	1,85	2,2	2,2	2,6	□	□
11	1,75	2,05	2,1	2,5	□	□
10	1,6	1,95	1,95	2,35	□	□
9	1,5	1,8	1,8	2,15	□	□
8	1,5	1,8	1,65	2	□	□
	Lipiec		Sierpień		Wrzesień	
25	4,55	5,7	4,6	5,1	□	□
24	4,3	5,4	4,3	4,8	□	□
23	4,1	5,1	4,05	4,5	□	□
22	3,85	4,8	3,8	4,2	□	□
21	3,6	4,5	3,5	3,9	□	□
20	3,35	4,2	3,25	3,6	□	□
19	3,1	3,9	2,95	3,3	3,0	3,0
18	2,9	3,6	2,7	3	2,75	2,75
17	2,9	3,6	2,7	3	2,5	2,5
16	2,75	3,45	2,5	2,8	2,25	2,25
15	2,65	3,3	2,35	2,6	2,0	2,0
14	2,5	3,15	2,15	2,4	2,0	2,0
13	2,4	3,0	2,0	2,2	1,9	1,9
12	□	□	1,8	2,0	1,8	1,8
11	□	□	1,6	1,8	1,6	1,6
10	□	□	1,45	1,6	1,4	1,4
9	□	□	□	□	1,2	1,2
8	□	□	□	□	1,0	1,0

Obszar deszczowany przez jeden rurociąg deszczujący, nazywany obszarową jednostką deszczowania, składa się z kilku/kilkunastu mniejszych powierzchni. Można wyróżnić grupę powierzchni deszczowanych w pierwszym dniu danego cyklu deszczowań, grupę powierzchni deszczowanych w drugim dniu danego cyklu itd., i grupę powierzchni deszczowanych w ostatnim dniu cyklu (rys. 18). Najważniejszą grupą powierzchni, z punktu widzenia operacyjnego sterowania deszczowaniem, jest grupa nawadniana w pierwszym dniu realizacji cyklu deszczowań i grupa nawadniana w ostatnim dniu cyklu deszczowań. Grupy te będą oznaczane symbolami 1 i n .

Deszczowanie w ostatnim dniu cyklu odbywać się będzie z kilku-, kilkunastodniowym opóźnieniem w stosunku do daty deszczowania powierzchni w pierwszym dniu cyklu. Do obliczeń przyjmuje się, że opóźnienie to ma stałą długość i w pierwszym przybliżeniu zakłada się, że długość ta jest równa maksymalnemu czasowi T_b realizacji cyklu deszczowania brutto wynikającemu z projektu deszczowni (wzór (15)).

Aby wyznaczyć datę rozpoczęcia deszczowania należy określić datę kiedy zapas wody łatwo dostępnej ($ZWLD_n$) na powierzchniach deszczowanych w ostatnim (n -tym) dniu cyklu osiągnie wartość zbliżoną do połowy swej wartości maksymalnej. Po odjęciu od tej daty czasu T_b otrzyma się datę rozpoczęcia deszczowania, czyli datę deszczowania w pierwszym dniu cyklu.



Rys.18. Podział dwóch obszarowych jednostek deszczowania (obsz.jedn.deszcz.) na mniejsze powierzchnie deszczowane w pierwszym (1.), drugim, ..., n -tym dniu cyklu deszczowania (T_b) przez dwa rurociągi deszczujące (oprac. E. Kaca)

Datę wyczerpania się połowy zasobów wody łatwo dostępnej na powierzchniach obszarowej jednostki deszczowania deszczowanych w ostatnim dniu cyklu wyznacza się na podstawie codziennie wykonywanego prognozowanego bilansu wodnego dla tych powierzchni na T_b dni do przodu. W obliczeniach wykorzystuje się kroczące prognozy wysokości opadów i temperatur powietrza. W przypadku, gdy pozyskanie prognostycznych wartości codziennych opadów nie jest możliwe można założyć, że w czasie cyklu deszczowania opad znaczący nie wystąpi (będzie zerowy).

Po wyznaczeniu daty rozpoczynania nawodnień na powierzchniach deszczowanych w pierwszym dniu cyklu deszczowania należy wyznaczyć wysokość dawek polewowych brutto na wszystkich powierzchniach deszczowanych w kolejnych dniach cyklu deszczowań. Od wielkości tych dawek będą zależały straty wody pochodzącej ze sztucznego i naturalnego opadu. Dawki powinny być tak dobierane, aby zminimalizować odpływ wody poza strefę kontrolowanego uwilgotnienia gleby w czasie realizacji cyklu deszczowania. Obliczenia można wykonywać w arkuszu kalkulacyjnym EXCELA.

Na podstawie tak uzyskanych wyników steruje się pracą wszystkich rurociągów nawadniających pole. Uruchamia się je, przerywa i kończy ich pracę.

Przykład

Fragment obliczeń wg bilansowej metody sterowania i prognozowania nawodnień deszczownianych

Przykład dotyczy wyznaczania w trybie operacyjnym dat rozpoczynania cykli deszczowań oraz dla każdego dnia cyklu wyznaczania wielkości stosowanych dawek polewowych brutto i czasu polewu na stanowisku rurociągu deszczującego. Założono, że w okresie największego zapotrzebowania roślin na wodę nawodnienia prowadzi się również w dni wolne od pracy. Podstawę metody stanowią prowadzony systematycznie monitoring meteorologiczny (pomiar wysokości opadu deszczu i średniej dobowej temperatury powietrza) oraz prognozy meteorologiczne tych wielkości. Przykładem objęto jedno pole płodozmianowe. Deszczowanie ma być realizowane rurociągiem deszczującym pozycyjnie z intensywnością $i = 10$ mm/godz. Projektowa dawka polewowa netto wynosi $d = 30$ mm, zaś terminowy, techniczny współczynnik wykorzystania wody w czasie polewu $\eta_p = 0,85$. Czas brutto realizacji cyklu nawodnień $T_b = 9$ dni.

W tabeli 17., stanowiącej fragment arkusza EXCEL, przedstawiono dane wejściowe (komórki koloru ciemnozielonego) i dane wejściowe prognozowane (komórki jasnozielone) oraz wyniki obliczeń na podstawie wartości pomierzonych (komórki ciemnoniebieskie) i prognozowanych (komórki koloru jasnoniebieskiego). Dane zawarte w arkuszu kalkulacyjnym oznaczają:

- w komórkach **I7, N7, AW7** pomierzony dnia 13 VI początkowy zapas wody łatwo dostępnej w korzeniowej warstwie gleby ($ZWŁD_1$) na powierzchniach deszczowanych odpowiednio w pierwszym, drugim i ostatnim (n-tym) dniu pierwszego cyklu deszczowań, mm,
- w kolumnie **A** daty kolejnych bilansowań,
- w kolumnie **B** codzienne sumy pomierzonego i prognozowanego opadu deszczu (P), mm,
- w kolumnie **C** codzienne sumy opadu skutecznego, znaczącego (P_e), przyjęte na podstawie pomierzonego i prognozowanego opadu deszczu, mm,
- w kolumnie **D** pomierzone i prognozowane średnie dobowe temperatury powietrza ($Temp$), °C,
- w kolumnie **E** dobową wartość zużycia wody z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu (e_h), mm/d,
- w kolumnach **F, K i AT** założona (projektowana) do realizacji dawka polewowa netto (d) na powierzchniach deszczowanych w pierwszym, drugim i ostatnim ($n = 8$) dniu danego cyklu deszczowań, mm,
- w kolumnach **G, L i AU** faktycznie zrealizowana i planowana do faktycznej realizacji dawka polewowa brutto na powierzchniach deszczowanych w pierwszym, drugim i ostatnim dniu danego cyklu deszczowań, obliczona na podstawie dawki netto (d) pomniejszonej o zasób wody odciekający poza strefę kontrolowanego uwilgotnienia, mm,
- w kolumnach **H, M i AV** zrealizowany i planowany do realizacji czas deszczowania na jednym stanowisku rurociągu w pierwszym, drugim i ostatnim dniu danego cyklu deszczowań, min,
- w kolumnach **I, N i AW** wynikający z obliczeń na wartościach pomierzonych i obliczony na wartościach prognozowanych (prognozowany) zapas wody łatwo dostępnej w warstwie kontrolowanego uwilgotnienia gleby ($ZWŁD$) na powierzchniach deszczowanych w pierwszym, drugim i ostatnim dniu danego cyklu deszczowań, mm.

Tabela 17. Fragment arkusza obliczeniowego w EXCELU z przykładem obliczania w dniu 24 VI zapasu wody łatwo dostępnej (ZWŁD) w glebie zwięzłej w kolejnych dniach czerwca i lipca na podstawie pomierzonych i prognozowanych wysokości opadu skorygowanego do opadu znaczącego (P_e), średniej dobowej temperatury powietrza ($Temp.$), dobowego zużycia wody (e_h), dawki polewowej netto (d) i zapasu wody łatwo dostępnej ($ZWŁD_1$) na początku okresu bilansowania (13 VI). Obliczenia wykonano przy założeniu, że $ZWŁD_{max} = d_{max} = 60$ mm, średnie natężenie sztucznego deszczu $i = 10$ mm/godz., terminowy, techniczny współczynnik wykorzystania wody w czasie polewu $\eta_p = 0,85$ (Opr. E. Kaca)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	AT	AU	AV	AW
3	Pomiary i prognozy					Grupa powierzchni nawadnianych w danym dniu cyklu											
4	Data	P	Pe	Temp.	e _h	1				2				8			
5						d	d _b	t	ZWŁD	d	d _b	t	ZWŁD	d	d _b	t	ZWŁD
6						mm		min	mm	mm		min	mm	mm		min	mm
7	13 VI								35,0				35,0				35,0
8	14 VI			20,2	3,2				31,8				31,8				31,8
9	15 VI			20,3	3,2				28,5	0			28,5				28,5
10	16 VI	7	7	22,4	3,7	30	33	199	60,0	0			31,8				31,8
11	17 VI			19,6	3,1				56,9	0			28,7				28,7
12	18 VI			18,6	2,9				54,0	30	35	212	55,8				25,8
13	19 VI			17,0	2,7				51,3	0			53,1				23,1
14	20 VI			14,3	2,4				48,9	0			50,7				20,7
15	21 VI	15	15	17,5	2,8				60,0	0			60,0	0			32,9
16	22 VI	5	5	18,1	2,8				60,0	0			60,0	0			35,1
17	23 VI	2	2	20,7	3,3				58,7	0			58,7	0			33,8
18	24 VI			22,2	3,7				55,0	0			55,0	30	35	211	60,0
19	25 VI			22,7	3,8	30	10	62	60,0	0			51,2	0			56,2
20	26 VI			25,6	4,4				55,6	30	16	93	60,0	0			51,8
21	27 VI			26,4	4,5				51,0	0			55,5	0			47,2
22	28 VI			25,6	4,4				46,6	0			51,0	0			42,8
23	29 VI			22,5	3,7				42,8	0			47,3	0			39,0
24	30 VI			23,7	4,0				38,8	0			43,2	0			35,0
25	1 VII	2		20,2	3,4				35,4	0			39,9	0			31,6
26	2 VII	1		23,2	4,1				31,3	0			35,7	30	35	212	57,5
27	3 VII	3		24,8	4,5	30	35	212	56,8	0			31,2	0			53,0
28	4 VII																

Objaśnienia: komórki ciemnozielone - pomierzone dane wejściowe; komórki jasnozielone - dane prognozowane;
komórki ciemnoniebieskie - wyniki obliczeń na podstawie wartości pomierzonych;
komórki jasnoniebieskie - wyniki obliczeń na podstawie wartości prognozowanych

Przybliżoną dobową wartość zużycia wody (e_h) z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu można przyjmować z tabeli 16. W arkuszu kalkulacyjnym jego wartość oblicza się wg wielomianu czwartego stopnia opracowanego na podstawie danych z tej tabeli.

Dla gleb o podłożu zwięzłym wielomian ten przyjmuje postać:

- dla czerwca:

$$e_h = -0,000194x^4 + 0,014796x^3 - 0,407812x^2 + 4,967420x - 20,38$$

$$R^2 = 0,9992,$$

- dla lipca:

$$e_h = -0,000285x^4 + 0,021496x^3 - 0,588742x^2 + 7,094601x - 29,433283$$

$$R^2 = 0,9976$$

Zapas wody łatwo dostępnej ($ZWŁD$) w danym dniu oblicza się wg wzoru (21).

Obliczenia rozpoczęto od wyznaczenia daty początku nawodnień. Data ta w przybliżeniu powinna być wcześniejsza o T_b dni od daty prognozowanego wyczerpania się około połowy zapasu wody łatwo dostępnej na powierzchniach deszczowanych w ostatnim dniu danego cyklu deszczowań. W przykładzie są to powierzchnie o numerze $n = 8$, na których wyczerpanie połowy zapasu wody łatwo dostępnej na powierzchniach deszczowanych w ostatnim dniu pierwszego cyklu deszczowania prognozowano na 24 VI. Oznacza to, że deszczowanie powinno rozpocząć się 16 VI. I w rzeczywistości nawodnienie rozpoczęło się w tym dniu. Na każdej powierzchni deszczowanej w pierwszym dniu cyklu deszczowano z intensywnością 10 mm/godz. przez 199 min, wprowadzając do gleby dawkę brutto d_b o wartości 33 mm. Dnia 17 VI nie prowadzono deszczowań z powodu święta czy wiatru o prędkości powyżej 4 m/s, tj. 14,4 km/godz.

Z tabeli wynika, że rozpoczęcie drugiego cyklu deszczowań planowane było na dzień 25 VI, gdyż w przeddzień, tj. dnia 24 VI zakończyło się deszczowanie powierzchni w pierwszym cyklu deszczowań. Obowiązuje zasada, że rozpoczęcie deszczowań w kolejnym cyklu powinno nastąpić w pierwszym dniu po zakończeniu poprzedniego cyklu deszczowań.

Dawkę brutto (d_b) obliczano na podstawie skorygowanej dawki polewowej netto oraz terminowego, technicznego współczynnika wykorzystania wody w czasie polewu η_p (wzór (14)). Wielkość dawki polewowej netto tak korygowano, aby w czasie polewu nie wystąpił nadmiar wody (obliczany wg wzoru (22)). W przypadkach, gdy deszczowanie jest poprzedzone dużymi opadami deszczu dawka polewowa brutto może być znacznie niższa od dawki projektowej. W przykładzie taką sytuację przewidywano w czasie drugiego cyklu deszczowań rozpoczynającego się dnia 25 VI. W tym przypadku obliczona planowana dawka polewowa brutto na powierzchniach deszczowanych w pierwszym dniu drugiego cyklu deszczowań powinna wynosić tylko 10 mm, a czas rozdeszczowania wody tylko 62 min. W szczególnym przypadku może się zdarzyć, że dawka wody brutto na pewną grupę powierzchni wyniesie zero, co oznacza, że powinna nastąpić przerwa w nawadnianiu tych powierzchni. Kolejna grupa powierzchni nawadniana będzie w kolejnym dniu po przerwie.

Poza metodą korygowanych harmonogramów i metodą bilansu wodnego z wykorzystaniem prognoz meteorologicznych niektórzy stosują skrajnie pracochłonną i kosztowną metodę wielokrotnego deszczowania pola. Deszczowanie pola trwa np. jeden dzień, a wprowadzona do gleby dawka polewowa netto jest równa dobowemu zużyciu wody z warstwy kontrolowanego

uwilgotnienia (w kwietniu 2,0 mm, w maju 3,0, w czerwcu 3,6, w lipcu 3,6, w sierpniu 3,0 i we wrześniu 2,0 mm) podzielonemu przez terminowy, techniczny współczynnik wykorzystania wody (0,8). Średnie uwilgotnienie gleby w warstwie kontrolowanego uwilgotnienia pozostaje na stałym początkowym poziomie.

W wyniku wielokrotnego deszczowania dawkami wyższymi wilgotność gleby osiąga maksymalną możliwą wartość równą wilgotności przy polowej pojemności wodnej (PPW). W tym przypadku taki stan uwilgotnienia należałoby osiągnąć w czasie równym czasowi T_b realizacji cyklu deszczowania. Wtedy rurociągi, aby rozdeszczować dawkę polewową przemieszczają się po polu tyle razy, ile dni trwa cykl deszczowania. Oznacza to, że jednorazowe deszczowanie pola trwa jeden dzień. Dawka polewowa brutto w przybliżeniu równa się podwójnemu dobowemu zużyciu wody z warstwy kontrolowanego uwilgotnienia podzielonemu przez terminowy, techniczny współczynnik wykorzystania wody. Będą to w przybliżeniu dawki brutto: w kwietniu 5 mm, w maju 8, w czerwcu 9, w lipcu 9, w sierpniu 8 i we wrześniu 6 mm. Po zakończeniu nawodnień w okresie cyklu (osiągnięciu wilgotności przy PPW) nawadnianie powinno być przerywane na okres co najmniej T_b dni.

LITERATURA

- DRUPKA S., 1976. Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni. PWRiL. Warszawa
- GENUCHTEN M.Th. van, 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44
- KACA E., PAPIEROWSKA E., SZATYŁOWICZ J., SZEJBA D., 2018. Ćwiczenia z systemów nawodnień - deszczownie. Wydaw. SGGW. Warszawa
- KELLER J., BLIESNER R. D., 1980. Sprinkle and Trickle Irrigation. The Blackburn Press. New Jersey. USA
- WÖSTEN J. H. M., A. LILLY, A. NEMES, C. Le BAS., 1999: Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. Geoderma 90

CZĘŚĆ V

Melioracje precyzyjne w kształtowaniu glebowo-gruntowej retencji wodnej

*prof. dr hab. inż. Edmund Kaca, dr inż. Wiesława Kasperska-Wołowicz,
dr inż. Tymoteusz Bolewski*

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy – Państwowy Instytut Badawczy

Spis treści

1. Melioracje precyzyjne w kształtowaniu glebowo-gruntowej retencji na TUZ (<i>E. Kaca</i>).....	261
2. Melioracje precyzyjne w kształtowaniu glebowo-gruntowej retencji w systemach drenarskich z piętrzeniem (<i>E. Kaca</i>).....	268
3. Systemy wspomagające decyzje rolników w zakresie nawodnień deszczownianych (<i>W. Kasperska-Wołowicz, T. Bolewski</i>).....	273
4. Obliczanie retencji i retencyjności wodnej (potencjału retencyjnego) użytków rolnych i krajobrazu rolniczego (<i>E. Kaca</i>)	279
Załącznik – Przydatne tabele	306

Wprowadzenie. Melioracje precyzyjne to nowoczesny system eksploatacji urządzeń melioracyjnych, szczególnie ich użytkowania, a w konsekwencji nowoczesne i precyzyjne gospodarowanie wodą na zmeliorowanych użytkach rolnych. Dzięki wykorzystaniu innowacyjnych narzędzi i technologii, takich jak systemy GPS, czujniki wilgotności, drony czy analizy danych, można podejmować bardziej racjonalne działania. Melioracje precyzyjne umożliwiają efektywne użytkowanie wody własnej i wody doprowadzonej z zewnątrz gospodarstwa, wpływając na ograniczenie marnotrawstwa oraz minimalizację negatywnego wpływu na środowisko.

Podstawową ideą melioracji precyzyjnych jest dostosowanie działań melioracyjnych, tj. piętrzeń wody, regulowanego odpływu wody, nawodnień podsiąkowych czy deszczownianych, do specyficznych warunków panujących na możliwie małych powierzchniach zmeliorowanych trwałych i przemianowych użytków zielonych oraz zmeliorowanych, wyposażonych w systemy deszczowniane małych powierzchni gruntów rolnych.

Warunki wodne panujące na tych powierzchniach są monitorowane naziemnie lub zdalnie (drony, satelity), a decyzje dotyczące intensywności, terminów rozpoczęcia, przerywania i zakończenia nawodnień i odwodnień są podejmowane na podstawie prognoz agrometeorologicznych i hydrologicznych. Podejmowanie tych decyzji jest wspomagane przez wyniki komputerowych obliczeń i symulacji.

Istotne są też zagadnienia precyzyjnego kształtowania retencji wodnej (uwilgotnienia gleb) na wyposażonych w urządzenia piętrzące zmeliorowanych trwałych użytkach zielonych czy zdrenowanych gruntach rolnych i gruntach wyposażonych w systemy deszczowniane. W tym celu omówiono skomputeryzowane metody obliczania przyrostu retencji korytowej oraz retencji glebowo-gruntowej i pola powierzchni doliny w wyniku przyrostu piętrzenia wody w małym cieku/zbiorniku. Przedstawiono także komputerowe metody szacowania przyrostu retencji tzw. melioracyjnej w wyniku zamiany systemów odwadniających w systemy odwadniająco-nawadniające oraz przyrostu retencji tzw. krajobrazowej w wyniku zmiany struktury użytkowania powierzchni gospodarstwa rolnego.

1. Melioracje precyzyjne w kształtowaniu glebowo-gruntowej retencji na TUZ (E. Kaca)

W precyzyjnym gospodarowaniu wodą bierze się pod uwagę cały obiekt nawadniany podsiąkowo, z wszystkimi kwaterami jako najmniejszymi jednostkami powierzchni, na których prowadzi się jednolitą gospodarkę wodną. Kwatery na obiekcie melioracyjnym traktowane są jak system z wzajemnymi uwarunkowaniami, a decyzja dotycząca nastaw urządzeń melioracyjnych na tych kwaterach jest poprzedzona średnioterminowym (10-dniowym), korygowanym co 7 dni planem. Podstawą planu są średnioterminowe (7–10 dni) prognozy meteorologiczne i hydrologiczne, monitoring uwodnienia obiektu, zasobności wody w źródle (przepływy dyspozycyjne) oraz stany wody w odbiorniku w okresie poprzedzającym okres planowania. Planowanie jest wspomagane komputerowo. W wyniku komputerowej symulacji decydent może przeanalizować różne scenariusze gospodarowania wodą na obiekcie, dziale i na poszczególnych kwaterach i wybrać scenariusz według niego najlepszy.

Do symulacji wykorzystuje się model IrrDrain MOP/S z oprogramowaniem komputerowym *Nawodnienia.exe*. Model i oprogramowanie zostały szczegółowo opisane w monografii pod redakcją naukową E. Kacy¹.

Symulacje powinny być poprzedzone wprowadzeniem do pamięci komputera niezbędnych informacji charakteryzujących cieki, doprowadzalniki, kwatery i połączenia między nimi na obiekcie. Są to informacje mało zmienne, czyli będą rzadko korygowane. Informacje te wprowadza się do pamięci komputera poprzez wypełnienie komputerowego kwestionariusza obiektu odwodnień i nawodnień podsiąkowych. Do wypełniania kwestionariusza służy specjalny program *Nawodini.exe*. Sposób posługiwania się tym programem został szczegółowo opisany w Instrukcji obsługi programu komputerowego „NAWODINI”.

1.1. Charakterystyka odwadnianych i nawadnianych podsiąkowo obiektów

Realizacja gospodarowania wodą na całym obiekcie w oparciu o wyniki symulacji komputerowej wymaga dobrego rozpoznania organizacji obiektu. Należy rozpoznać kwatery i ich układ na obiekcie, cieki, doprowadzalniki, ujęcia wody z cieków do doprowadzalników i na kwatery oraz upusty wody z kwater, poznać szczegółowe charakterystyki kwater, w tym wielkości pól powierzchni nawadnianych, normy odwodnień, właściwości filtracyjne gleb i gruntów, przepustowości rowów na kwaterze, charakterystyczne rzędne piętrzeń itp. Niektóre z tych charakterystyk można odczytać z analogowych lub cyfrowych map sytuacyjnych lub sytuacyjno-wysokościowych obiektu, niektóre są zawarte w projektach technicznych urządzeń na obiekcie, a niektóre można uzyskać z pomiarów geodezyjnych i eksperymentów eksploatacyjnych na obiekcie.

1.1.1. System melioracyjny i układ kwater na obiekcie

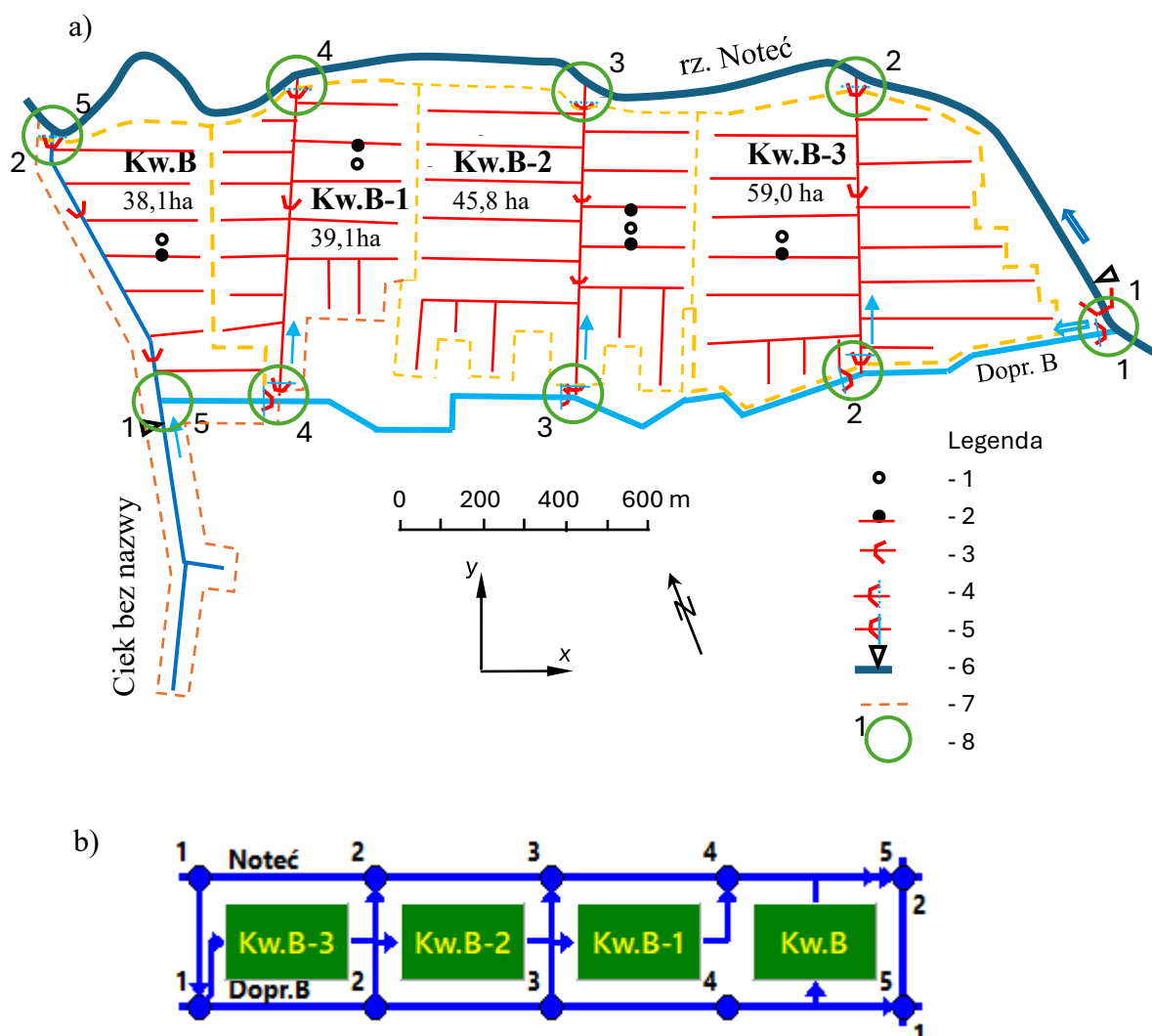
Gospodarowanie wodą na obiekcie umożliwia system melioracyjny (przykłady na rys. 1 oraz 3 i 4 w części III), na który składają się **cieki** stanowiące źródło wody do nawodnień

¹ Operacyjne sterowanie procesem nawodnień podsiąkowych i odwodnień – komputerowy system wspomagania decyzji wraz z przykładami zastosowania. Kaca (red.) 2020; Bogucki Wydaw. Naukowe, Poznań.

z budowlami piętrzącymi i ciekami pełniące funkcję odbiorników wody z kwater, **doprowadzalniki** wody na kwatery oraz **rowy/dreny** na kwaterach z budowlami piętrzącymi na rowach. Między ciekami, doprowadzalnikami i rowami/drenami na kwaterach istnieją **połączenia**. Połączenia mogą być bezpośrednie, do których zalicza się połączenie cieków z innym ciekim, czy końcówki doprowadzalnika z ciekim, jak również połączenia pośrednie, w postaci budowli ujściowych (wpustów) i upustowych (upustów) wody.

Typowy przykład takich budowli to ujęcie (wpust) wody z cieków do doprowadzalnika, z doprowadzalnika na kwaterę, czy też upust wody z kwatery do cieków. Specyficznym połączeniem jest kanał przerzutu wody z jednego cieków do drugiego. Połączenia traktowane są jako punkty bilansowe (rys. 1).

Do specyficznego punktu bilansowego zalicza się punkt lokalizacji **profilu (przekroju) wodowskazowego** na ciekach, w którym bilansuje się zasoby wody do nawodnień.



Rys. 1. Dział nawadniany podsiątkowo z czterema kwaterami (Kw.) na obiekcie Stara Noteć I. a) szkic mapy, b) komputerowy schemat odpowiadający szkicowi mapy; 1 – studzienka obserwacyjna, 2 – studzienka obserwacyjna w linii brzegowej rowu, 3 – regulator piętrzenia (zastawka, przepust z piętrzeniem), 4 – regulator piętrzenia i przepływomierz (upust wody), 5 – regulator przepływu i przepływomierz (ujęcie, wpust wody), 6 – profil wodowskazowy na ciekach, 7 – granica kwatery, 8 – punkt bilansowy z numerem (oprac. E. Kaca)

1.1.2. Charakterystyka cieków, doprowadzalników i połączeń

Komputerowy kwestionariusz ankiety obiektu nawodnień podsiąkowych należy wypełnić informacjami dotyczącymi cieków, doprowadzalników i połączeń między nimi.

Ciek (rzeka) na obiekcie melioracyjnym, pełniący funkcję źródła wody do nawodnień i/lub odbiornika wody, charakteryzowany jest przez:

- nazwę cieku i przypisany mu numer,
- powierzchnię zlewni po profil wodowskazowy, w km²,
- liczbę punktów bilansowych na cieku,
- położenie cieku w granicach i poza granicami obiektu melioracyjnego oraz kierunek przepływu w nim wody,
- lokalizację punktów bilansowych na cieku,
- średnie miesięczne przepływy biologicznie nienaruszalne QN w profilu wodowskazowym na cieku (w pierwszym punkcie bilansowym), m³/s.

Doprowadzalnik na obiekcie traktuje się tak jak ciek bez zlewni i ze stratami wody na długości. Charakteryzuje się go przez:

- nazwę doprowadzalnika i przypisany mu numer,
- położenie doprowadzalnika na obiekcie melioracyjnym i kierunek przepływu w nim wody,
- liczbę punktów bilansowych na doprowadzalniku,
- współczynnik strat wody na doprowadzalniku (od pierwszego do ostatniego punktu bilansowego),
- długości doprowadzalnika między punktami bilansowymi, w m,

Pozostałe charakterystyki doprowadzalnika (przepustowość projektowa, redukcja przepustowości) są charakterystykami połączenia doprowadzalnika z ciekiem (wpustu wody do doprowadzalnika).

Połączenia cieku z ciekiem, cieku z doprowadzalnikiem, cieku z kwaterami zazwyczaj odbywają się za pomocą budowli melioracyjnych. Wśród połączeń wyróżnia się wpusty wody. Wszystkie połączenia są charakteryzowane poprzez:

- wskazanie łączonych obiektów i miejsca połączenia oraz kierunku przepływu wody na połączeniu,
- współczynnik rozdziału wody.

Jeżeli połączenie jest wpustem wody (takie połączenie w komputerowej wersji jest nazywane doprowadzalnikiem) to dodatkowo charakteryzuje go:

- przepustowość projektowa, w m³/s,
- współczynnik redukcyjny, który przyjmuje wartości od 0 do 1. Poprzez ten współczynnik redukuje się przepustowość projektową. Jeżeli wsp. = 0 to rzeczywista przepustowość wpustu będzie równa zero, a gdy wsp. = 1 to równa przepustowości projektowej,
- współczynnik strat wody na wpuście, który przyjmuje wartości od 0 do 1. Gdy wsp. = 1, to straty wody są całkowite, woda nie będzie ujmowana.

1.2. Wyposażenie obiektu w urządzenia kontrolno-pomiarowe

Kwaterny, na których gospodarowanie wodą jest wspomagane komputerowo, muszą być wyposażone na reprezentatywnych wycinkach nie tylko w studzienki obserwacyjne w środku

między rowami/drenami, lecz również w studzienki w linii brzegowej rowów (rys. 1 i 2 oraz 3 i 4 w części III.). W niektórych przypadkach mogą być też potrzebne piezometry.

Pomiar położenia zwierciadła wody w studzience obserwacyjnej powinien charakteryzować położenie zwierciadła wody gruntowej na reprezentatywnym wycinku kwatery. Dlatego też zaleca się instalować je w środku między rowami/drenami i z dala od urządzeń miejscowo kształtujących położenie zwierciadła wody gruntowej (w pobliżu rowów zbiorczych, cieków wodnych) (rys. 1, 2, 3 i 4 w części III). Lokalizacja studzienki powinna być uzgodniona z przedstawicielami spółki wodnej i/lub rolnikami użytkującymi kwaterę. W czasie uzgodnień należy poinformować, że pomiary zwierciadła wody gruntowej będą służyć gospodarowaniu wodą na kwaterze.

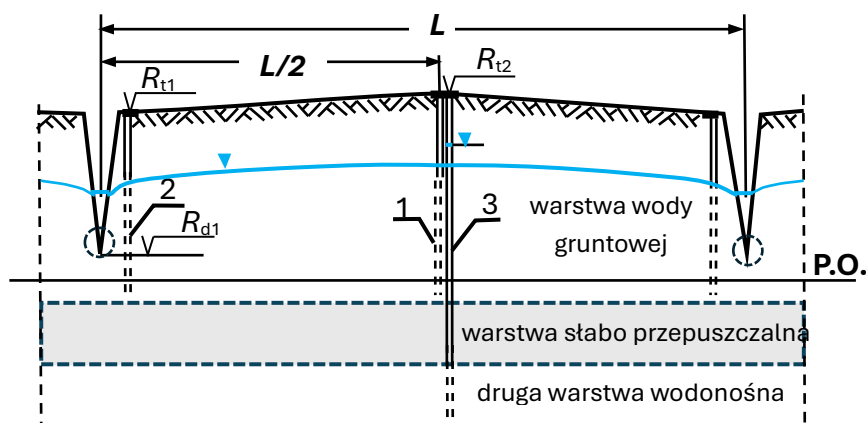
Piezometry instaluje się do głębokości 8–10 m, na kwaterach polderowych (depresyjnych) albo na kwaterach w obszarach pod wpływem lejów depresji (ujęcie wód podziemnych, kopalnia odkrywkowa, głęboko w dolinę wcięta rzeka lub kanał itp.) tylko w przypadku, gdy miąższość pierwszej warstwy wodonośnej wynosi nie więcej niż kilka metrów, a pod nią znajduje się warstwa słabo przepuszczalna o małej miąższości (1÷2 m), zalegająca na warstwie drugiego poziomu wodonośnego lub też w przypadku gdy warstwa wody gruntowej o małej przepuszczalności (np. warstwa torfu) zalega na utworze wodonośnym dobrze przepuszczalnym. Instaluje się je w pobliżu studzienki obserwacyjnej w środku między rowami/drenami. W częstych przypadkach wskazania piezometru na jednej kwaterze mogą reprezentować poziomy wody drugiego poziomu wodonośnego na innych kwaterach. Taką możliwość sprawdza się empirycznie.

Do obliczeń komputerowych można stosować wyniki pomiaru uwilgotnienia korzeniowej warstwy gleby (zazwyczaj 0÷30 cm). Pomiar ten może być wykonany za pomocą stacjonarnych lub przenośnych urządzeń pomiarowych. Urządzenia te mogą być kosztowne. Punkty pomiaru wilgotności gleby powinny być zlokalizowane w kilku miejscach na reprezentatywnym wycinku kwatery. Jeden z punktów powinien być w pobliżu studzienki obserwacyjnej. W typowaniu lokalizacji tych punktów mogą być użyteczne zdjęcia wykonane przez bezzałogowe statki powietrzne, w tym drony oraz zdjęcia satelitarne.

Na wszystkich budowlach piętrzących wodę na kwaterze powinny być zainstalowane łąty wodowskazowe i wskaźniki nastaw wysokości piętrzenia (wskaźniki położenia zasuw) (rys. 5. w części III.). Pomocne mogą być repery naznaczone widoczną linią na przyczółkach budowli piętrzących wodę. Górna linia będzie oznaczać maksymalny poziom piętrzenia wody na budowli $p_{\max}$ (rzędna $Rp_{\max}$), zaś dolna niski poziom piętrzenia $p_{\min}$ (rzędna $Rp_{\min}$). Są to piętrzenia nominalne, gdyż w wyniku obliczeń komputerowych rzędne te mogą przyjmować inne wartości niż naznaczone. W takiej sytuacji piętrzenia na budowlach realizuje się wykorzystując zainstalowane na ich przyczółkach łąty wodowskazowe.

Na ujęciach wody powinna istnieć możliwość regulacji i pomiaru natężenia przepływu wody, zaś na upustach możliwość regulacji piętrzenia i ewentualnego pomiaru natężenia przepływu wody. Pomiar przepływu będzie możliwy, gdy ujęcie/upust wody są właściwie wywzorcowane (wytarowane) lub wyposażone w specjalne urządzenie pomiarowe (przelew pomiarowy, koryto przepływomiercze, otwór przepływomierczy, nasadka)².

² Szczegółowo opisane w monografiach: „Budowle i urządzenia do pomiaru przepływu wody w kanałach melioracyjnych” (Kaca, Kubrak (red.) 2020) i „Wzorcowanie budowli wodnomelioracyjnych (Kaca 1996) Bibl. Wiad. IMUZ nr 87



Rys. 2. Lokalizacja i rzędne kryz R_{t1} , R_{t2} studzienek obserwacyjnych na kwaterach w przekroju między rowami: 1 – studzienka obserwacyjna (ew. uzupełniona o punkt pomiaru wilgotności gleby), 2 – studzienka obserwacyjna w linii brzegowej rowów, 3 – piezometr, L – rozstawa rowów/drenów, R_{d1} – rzędna dna rowu/drenu.

Pomiar natężenia przepływu powinien być prowadzony również w przekrojach wodowskazowych na ciekach stanowiących źródło wody do nawodnień. Taki pomiar prowadzi się metodami hydrometrii rzecznej (metody z wykorzystaniem pływaka, krzywej natężenia przepływu wody), a na mniejszych ciekach również metodami hydraulicznymi z wykorzystaniem specjalnych urządzeń do pomiaru przepływu lub wytarowanych budowli wodnomelioracyjnych.

Wszystkie w/w charakterystyki wprowadza się do komputerowego kwestionariusza (rys. 3).

Konfiguracja plików (NIE) do nawodnień

Nazwa obiektu: **Racot**

Nazwa stacji meteo: **NowyTroszyn**

Szerokość geog. stacji [°]: **52,056**

Współczynnik wykorzystania opadu: **1,000**

Liczba kwater: **1**

Liczba cieków: **1**

Liczba połączeń: **2**

Liczba wierszy: **2**

Liczba kolumn: **3**

Wysok. Struga Racocka

K. Rac. 2

1. Wysok. Struga Racocka

3.

K. Rac. 2

Ust. bieżąca kwatera

Kwatera 1

Duplikuj do nowej kwatera

Nazwa kwater (obszarowej jednostki melioracyjnej (o.j.m.))

Typ kwater (Z - zwykła, B - badawcza)

Rodzaj gleb (Gmin - gleby mineralne, Gtorf - gleby torfowe)

Typ kompleksu wilgotnościowo-glebowego

Projektowa przepustowość rowów kwatera

Współczynnik redukcyjny przepustowości rowów kwatera

Maksymalny stan wody w rowie

Docelowy (w fazie 4, odwodnienia) stan wody w rowie w przekroju pomiaru zw.w.

Minimalny stan wody w rowie

Maksymalna norma odwodnienia

Optymalna norma odwodnienia

Minimalna norma odwodnienia

Główny rodzaj uprawy na obszarze kwatera (numer)

Wariant gospodarowania wodą: 1 - wodochłonny, 2 - wodooszczędny

Krytyczna liczba dni przebywania w fazie 4 powodująca konieczność przejścia do fazy 5

Powierzchnia całkowita kwatera (o.j.m.)

Powierzchnia nawadniana kwatera (o.j.m.)

Powierzchnia całkowita rowów na kwaterze (o.j.m.)

Czas obniżania zw. wody w rowach od stanu h1max do stanu h1min

Współczynnik szczelności kwatera (o.j.m.)

Zagłębienie poziomu odniesienia poniżej powierzchni terenu, zasięg podsiągu

Grubość warstwy z główną masą korzeniową roślin

Ust. bieżący cieki

Ciek 1

Duplikuj do nowego cieku

Nazwa cieku

Powierzchnia zlewni cieku w przekroju pierwszego ujęcia wodu na obiekt

Liczba punktów bilansowych na cieku

Rysunek: wiersze od-do w których znajduje się cieki

Rysunek: kolumny od-do w których znajduje się cieki

Rysunek: kierunek cieku (Right lub Up)

Doprowadzalnik (TAK lub NIE)

Strata wody na cieku (od pierwszego do ostatniego punktu)

Wysok. Struga Racocka

167,00

3

0-0

0-3

Right

NIE

Ust. bieżące połączenia

Połączenie 1

Nowe

Rysunek: początek

Rysunek: koniec

Współczynnik rozdziału wody na pobór

Doprowadzalnik (TAK lub NIE)

Przepustowość projektowa doprowadzalnika

Wsp. redukcyjny przepust. doprowadzalnika

Współczynnik strat (0 - 1)

R1P1

K1

1,000

TAK

0,197

1,000

0,700

Miesiąc

QN [m3/s]

styczeń

0,010

luty

0,010

marzec

0,010

kwiecień

0,010

maj

0,010

czerwiec

0,010

lipiec

0,010

sierpień

0,010

wrzesień

0,010

październik

0,010

listopad

0,010

grudzień

0,010

Pomoc

Zapisz i zamknij

Zamknij

Rys. 3. Fragment kwestionariusza obiektu nawodnień podsiągowych w programie *Nawodini.exe*

1.3. Monitoring i prognozy

Podstawą do realizacji sesji symulacji komputerowej gospodarowania wodą na kwaterach i obiekcie stanowią dane z monitoringu (tzw. warunki początkowe) uwodnienia obiektu oraz wyniki siedmio- dziesięciodniowych prognoz meteorologicznych i hydrologicznych. Dane te gromadzi się przed sesją symulacyjną.

Do danych pozyskiwanych w ramach monitoringu obiektu zalicza się:

- status każdej kwatery (odwadniana (-1), nawadniana (1), nie odwadniana i nie nawadniana (0),
- zaleganie zwierciadła wody gruntowej w studzienkach obserwacyjnych w przekroju pomiarowym na każdej kwaterze: w środku między dwoma rowami/drenami oraz w linii brzegowej rowów,
- wilgotność korzeniowej warstwy gleby w środku między rowami/drenami w lokalizacji studzienek obserwacyjnych w przekroju pomiarowym na każdej kwaterze: w środku między dwoma rowami/drenami oraz w linii brzegowej rowów,
- zaleganie ustalonego zwierciadła wody podziemnej drugiego poziomu wodonośnego (jeżeli występuje) w piezometrze.

W przypadku braku tych danych do obliczeń wykorzystuje się dane z sesji sprzed tygodnia, czyli będą to dane nie z monitoringu, lecz z obliczeń. Należy dążyć, aby takich sytuacji z brakiem danych było możliwie mało. Dane pomiarowe są bezwzględnie konieczne w sesji rozpoczynającej serię cotygodniowych obliczeń symulacyjnych (np. na początku okresu wegetacji rośliny).

Dane prognostyczne można podzielić na dane meteorologiczne, hydrologiczne i hydrogeologiczne. W skład tych danych wchodzi dziesięciodniowe:

- codzienne dane meteorologiczne, dotyczące prognozowanych sum opadów oraz wielkości niezbędnych do obliczeń ewapotranspiracji wskaźnikowej na obiekcie,
- codzienne wartości przepływów w przekrojach wodowskazowych na obiekcie,
- codzienne wartości zalegania zwierciadła wody podziemnej pod powierzchnią terenu w piezometrach na kwaterach,
- codzienne dane o gęstości strumienia netto wody obcej, napływającej z zewnątrz na obszar kwatery lub odpływającej z tego obszaru.

1.4. Wyniki obliczeń i symulacji komputerowej

Po zgromadzeniu wymaganych danych monitoringowych i prognostycznych dla wszystkich kwater i całego obiektu można przystąpić do symulacji skutków różnych wariantów sterowań na budowlach ujęciowych, upustowych i piętrzących. Dla każdej kwatery wyniki symulacji będą zależne od danych z monitoringu i prognoz oraz od danych w komputerowym kwestionariuszu ankiety. Przystępując do sesji symulacyjnej operator wprowadza dane z monitoringu i prognoz w odpowiednim formacie do pamięci komputera. Może również dokonać korekty danych już zawartych w komputerowym kwestionariuszu ankiety. Następnie prowadzi kilkakrotnie komputerowe symulacje, zmieniając przed każdą symulacją wartości takich wielkości charakteryzujących każdą kwaterę jak:

- graniczne stany piętrzenia wody w rowach $h_{1\max}$, $h_{1\text{kryt}}$ i $h_{1\min}$ w przekroju pomiarowym kwatery,
- normy odwodnienia $z_{2\max}$, $z_{2\text{opt}}$ i $z_{2\min}$ w przekroju pomiarowym kwatery,
- współczynnik redukcyjny przepustowości rowów kwatery, charakteryzujący stan techniczny rowów na kwaterze.

Wynikiem każdej symulacji są wykresy oraz tabelaryczne zestawienia dla każdej kwatery, obrazujące dziesięciodniowy przebieg:

- stanów h_1 i h_2 wody gruntowej w przekroju pomiarowym kwatery: odpowiednio wody w studziencie obserwacyjnej w środku między dwoma rowami/drenami i w linii brzegowej rowów. Wartości te można porównywać z wartościami granicznymi ($h_{1\max}$, $h_{1\text{kryt}}$ i $h_{1\min}$, $z_{2\max}$, $z_{2\text{opt}}$ i $z_{2\min}$),
- średniej wilgotności *wilg.1* i *wilg.2* korzeniowej warstwy gleby w lokalizacji studzienek obserwacyjnych (wartości te mogą być porównane z wilgotnością krytyczną gleby w warstwie korzeniowej, θ_k)
- natężenia dopływu i odpływu wody Q_{in} i Q_{out} do i z kwatery,
- ewapotranspiracji i opadów ET i P ,
- wariantów i faz gospodarowania wodą (faza 1., 2., 3., 4. i 5.) na każdej kwaterze,
- faz gospodarowania wodą.

Fazy zostały opisane w części III. poradnika.

Po przeanalizowaniu informacji uzyskanych w każdej symulacji operator urządzeń melioracyjnych wykonuje końcową symulację, uzyskując niezbędne informacje o sterowaniu urządzeń na obiekcie. Szczególnie ważne są informacje o fazach gospodarowania wodą na każdej kwaterze, piętrzeniach wody $p_{\max}$, $p_{\min}$ na budowlach piętrzących i upustowych oraz o natężeniach Q_{in} i Q_{out} odpowiednio poboru (przy nawadnianiu) wody na kwaterę i zrzutu wody z kwatery (przy odwadnianiu). Podawane są również dane o natężeniu przepływów wody nie tylko na ujęciach wody i upustach wody z kwater (Q_{in} i Q_{out}), lecz również w pozostałych punktach bilansowych poszczególnych cieków i doprowadzalników.

Wyznaczone piętrzenia $p_{\max}$, $p_{\min}$ obowiązują na wszystkich budowlach piętrzących i budowli upustowej na kwaterze. Piętrzeniom tym powinny odpowiadać odpowiednie odczyty na łatach wodowskazowych na budowlach piętrzących. Mogą się one znacznie różnić od piętrzeń naniesionych liniami na przyczółkach budowli (rys. 5 w części II poradnika).

Przepływy Q_{in} i Q_{out} oraz piętrzenia wody $p_{\max}$, $p_{\min}$ powinny być regulowane i mierzone. Naruszenie tych wartości, szczególnie Q_{in} i Q_{out} , czyli pobór większy, może powodować niedobór wody przeznaczonej dla innych kwater.

Przepływy wody Q_{in} i Q_{out} stanowią plan rozrządu wody na obiekcie przez najbliższe dziesięć dni z korektą po siedmiu dniach. Realizacja tego planu umożliwi realizację poszczególnych faz gospodarowania wodą na kwaterach zgodnie z wynikami symulacji. Brak realizacji rozrządu wody na obiekcie zgodnie z planem utrudni realizację planu na kwaterach i odwrotnie nierealizowanie planu na kwaterach może utrudnić rozrząd wody na obiekcie. Rozrząd wody na obiekcie zgodnie z planem wymaga wyposażenia wpustów i upustów wody na obiekcie w urządzenia do regulacji i pomiaru natężenia przepływu wody z odpowiednią niepewnością (dokładnością).

2. Melioracje precyzyjne w kształtowaniu glebowo-gruntowej retencji w systemach drenarskich z piętrzeniem (E. Kaca)

Gospodarowanie wodą na dziale drenarskim może być prowadzone:

- 1) w skali odwadnianej sekcji, z realizacją bieżącego monitoringu i bieżących regulacji piętrzeń wody w studniach drenarskich (zagadnienie to szczegółowo opisano w części III),
- 2) w skali odwadnianego działu drenarskiego, z uwzględnieniem cotygodniowego monitoringu, średniookresowego planowania i regulacji piętrzeń wynikających z planu nastaw.

Gospodarowanie wodą w skali sekcji jest ukierunkowane na sekcję i nie uwzględnia sytuacji na dziale drenarskim. Sekcje na dziale są traktowane jak nie powiązane (słabo powiązane) z sobą jednostki. Sekcja najniżej położona jest uprzywilejowana, gdyż dysponuje największą ilością wody. Ten rodzaj gospodarowania wodą praktycznie nie uwzględnia możliwości jakie stwarzają średnioterminowe (7- 10-dniowe) prognozy meteorologiczne.

W drugim przypadku – skala działu – sekcje drenarskie traktowane są jak system ze wzajemnymi uwarunkowaniami, a decyzja dotycząca regulacji piętrzeń wody na tych sekcjach jest poprzedzona średnioterminowym (10-dniowym), korygowanym co 7 dni, planem. Podstawę planu stanowią średnioterminowe (7–10 dni) prognozy meteorologiczne oraz monitoring uwodnienia obiektu w okresie poprzedzającym okres planowania. Planowanie jest wspomagane komputerowo.

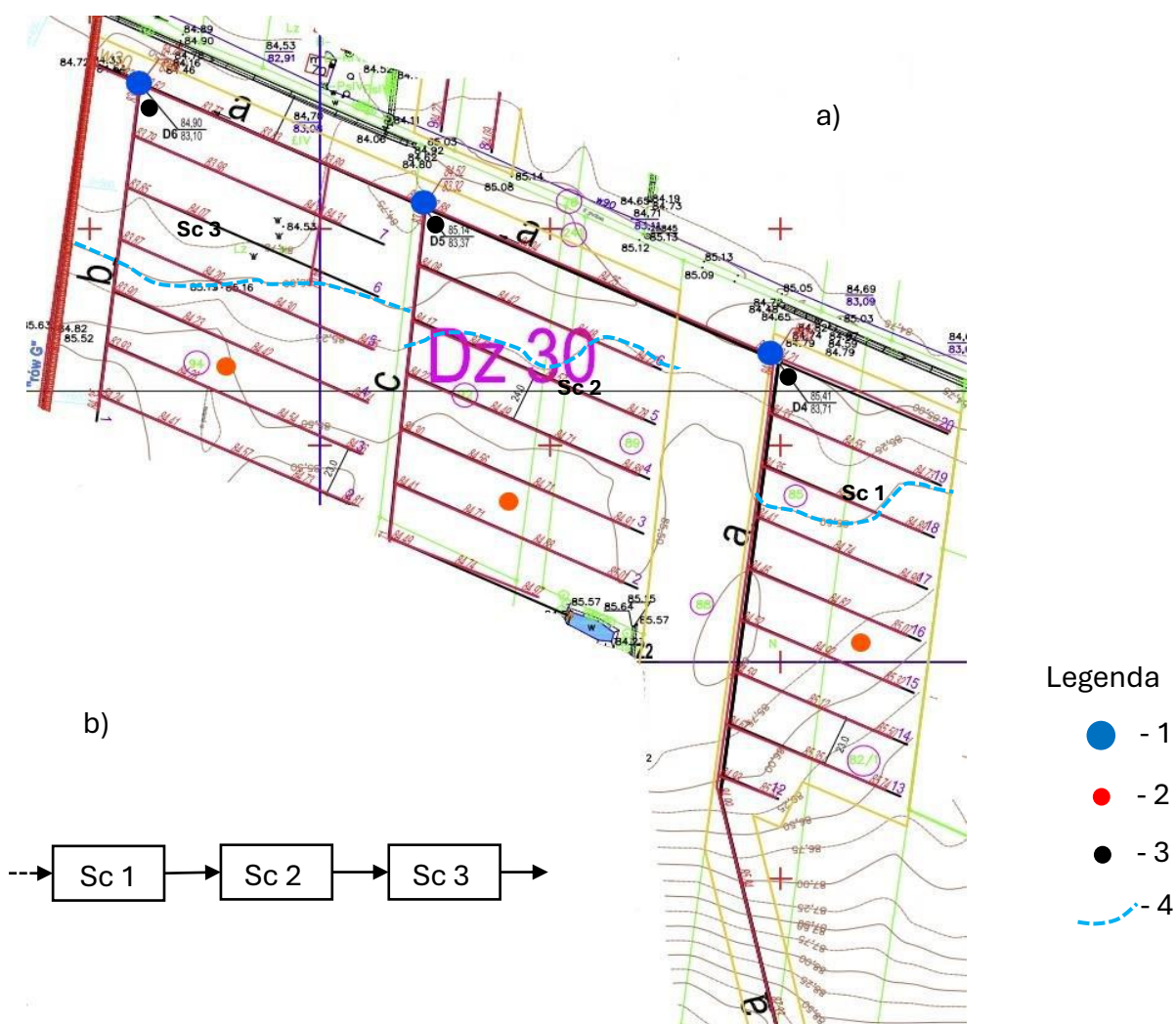
W wyniku komputerowej symulacji decydent (operator urządzeń) może przeanalizować różne scenariusze wysokości piętrzenia wody w studniach drenarskich i w zbiornikach gruntowych poszczególnych sekcji i wybrać scenariusz najkorzystniejszy. Może również zapoznać się z objętością wody zgromadzonej w zbiorniku gruntowym każdej sekcji. Do symulacji wykorzystuje się model IrrDrain MOP/D z oprogramowaniem komputerowym „Odwodnienia.exe”, szczegółowo opisany w monografii pod redakcją naukową E. Kacy³.

Komputerowo wspomagane planowanie gospodarowania wodą własną na dziale drenarskim związane jest z potrzebą dobrego rozpoznania charakterystyk zmeliorowanych powierzchni, zazwyczaj użytkowanych przez wielu rolników. W związku tym gospodarowanie wodą w skali całego obiektu, wspomagane komputerowo, powinno być realizowane przez spółki wodne, zajmujące się eksploatacją całych systemów melioracyjnych.

2.1. Dane do symulacji i ich źródła

Podstawę symulacji kształtowania się retencji wodnej w zbiornikach gruntowych sekcji na dziale drenarskim stanowi mapa sytuacyjno-wysokościowa działu (przykład na rys. 4) oraz rozpoznana struktura (układ) sekcji i ich podstawowe charakterystyki. Wymagana jest również nazwa stacji meteorologicznej, szczególnie szerokość geograficzna jej lokalizacji niezbędna przy obliczaniu ewapotranspiracji wskaźnikowej. Stacja meteo może być stacją lokalną zainstalowaną dla celów gospodarowania wodą na obiekcie lub też stacją w sieci np. IMGW.

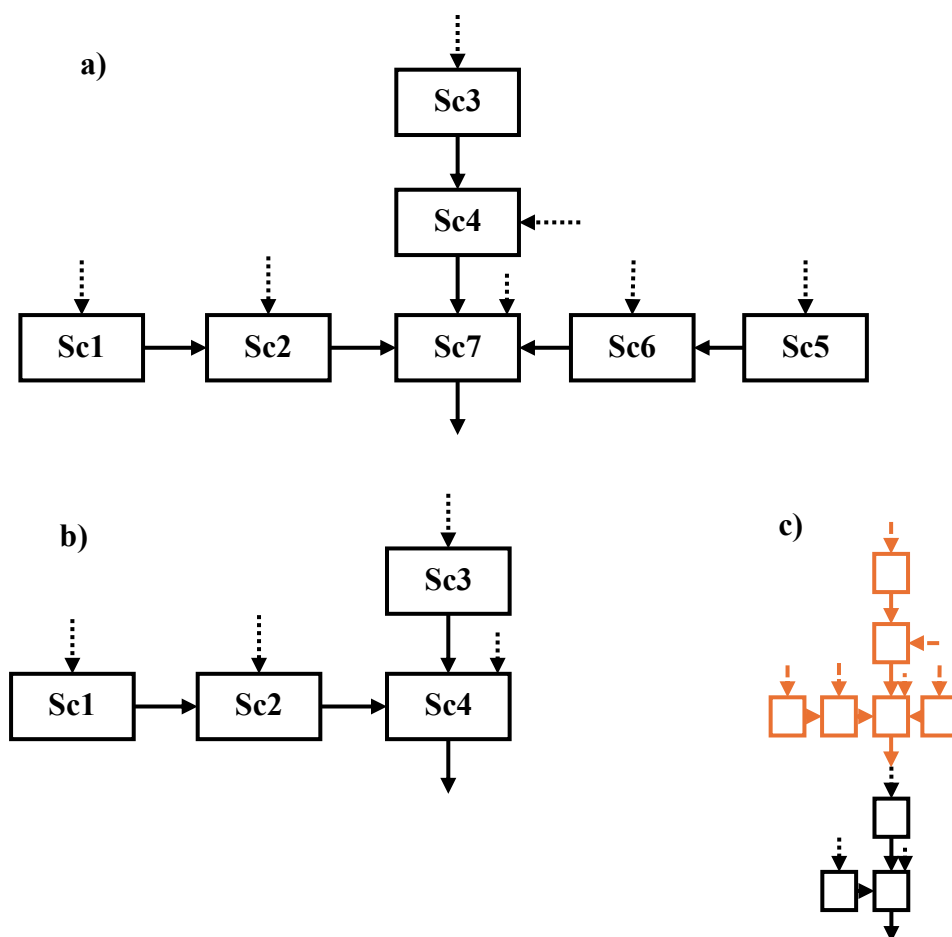
³ Operacyjne sterowanie procesem nawodnień podsiąkowych i odwodnień – komputerowy system wspomagania decyzji wraz z przykładami zastosowania. KACA E. (red.) 2020. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań



Rys. 4. Dział drenarski Dz 30 z trzema sekcjami drenarskimi Sc1, Sc2 i Sc3 na obiekcie Bodzanowo Szlacheckie: a) fragment mapy, b) komputerowa prezentacja. Oznaczenia: 1 - studnia drenarska z piętrzeniem wody, 2 - studzienka obserwacyjna (ew. uzupełniona o piezometr i stacjonarne urządzenie do pomiaru wilgotności gleby), 3 – studzienka obserwacyjna w pobliżu studni drenarskiej, 4 – fragment granicy zbiornika gruntowego powstałego w wyniku piętrzenia wody w studni drenarskiej (oprac. E. Kaca)

2.1.1. Struktura sekcji na dziale drenarskim

Sekcje drenarskie na działach występują w różnych układach. Układ sekcji obsługiwany przez program *Odwodnienia.exe* jest układem szeregowym rozgałęzionym (rys. 5a). Z tego układu można utworzyć inne układy sekcji obsługiwane przez program, tzw. układy cząstkowe, poprzez usunięcie dowolnych sekcji (rys. 5b). W symulacji komputerowej może uczestniczyć dwa i więcej układów pełnych lub z nich utworzonych układów cząstkowych (rys. 5c).



Rys. 5. Układy sekcji na dziale drenarskim: a) układ pełny, b) przykładowy układ cząstkowy bez niektórych sekcji z układu pełnego, c) układ złożony z układów cząstkowych na dziale drenarskim. Oznaczenia: Sc1 symbol i przykładowy numer sekcji. Strzałkami zaznaczono przepływ wody między sekcjami, strzałkami na liniach przerywanych – dopływ wody z zewnątrz działu drenarskiego (oprac. E. Kaca)

2.1.2. Charakterystyki sekcji drenarskich i ich źródła

W komputerowym modelu symulacyjnym wykorzystuje się charakterystyki sekcji dotyczące:

- wielkości i ukształtowania powierzchni (topografia),
- gleb,
- uprawianych roślin,
- systemu melioracyjnego,
- studni drenarskiej z regulatorem piętrzenia wody,
- zbiornika gruntowego,
- specyficznych parametrów modelu,
- systemu monitoringu melioracyjnego,
- prognoz i predykcji.

Ukształtowanie powierzchni sekcji oraz pole jej powierzchni określa się na podstawie mapy sytuacyjno-wysokościowej, najlepiej z dokumentacji powykonawczej drenowania (rys. 4). Z map glebowych określa się gatunek gleby podając jego skład granulometryczny. W wyjątkowych

przypadkach, gdy zdrenowane są gleby hydrogeniczne organiczne i mineralno-organiczne podaje się rodzaj gleby oraz jej przynależność do określonego prognostycznego kompleksu wilgotnościowo glebowego (PKWG). Na podstawie składu granulometrycznego i rodzaju gleby określa się minimalną normę odwodnienia, efektywną wysokość podsiąku kapilarnego, porowatość drenażową, wilgotność korzeniowej warstwy gleby przy stanie pełnego nasycenia, wilgotność krytyczną ($pF=2,7; 3$), wilgotność trwałego więdnienia (WTW).

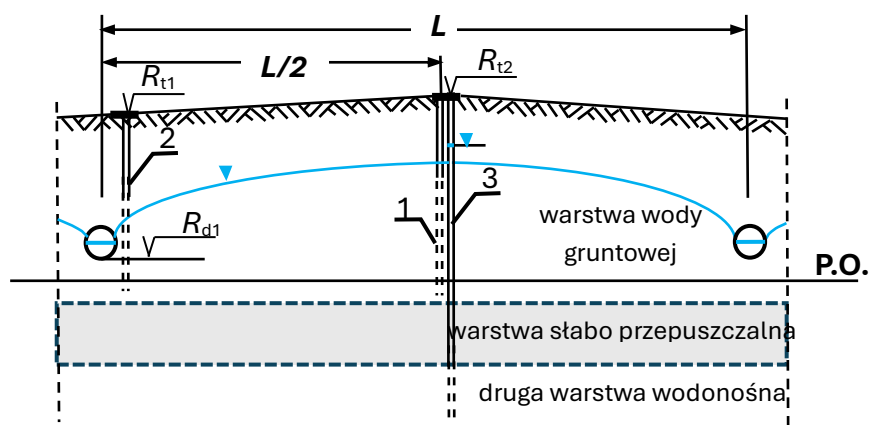
Podaje się również główny rodzaj uprawy (nr uprawy wg tabeli) oraz głębokość głównej masy korzeniowej uprawianych roślin (z tabel).

Do wymaganych charakterystyk systemu melioracyjnego zalicza się głębokość drenowania oraz pole powierzchni zajętej przez rowy odpływowe. Należą tu również charakterystyki studni drenarskiej (upustu) z regulatorem. Zalicza się do nich m. in. rzędna terenu przy studni, rzędna maksymalnego poziomu piętrzenia wody w studni, rzędna dna studni, maksymalna przepustowość upustu.

Istotne są również wartości parametrów opisujących pole powierzchni zalewu w zbiorniku gruntowym. Określa się je na podstawie ukształtowania powierzchni terenu sekcji.

Aby prowadzić symulację należy dysponować wartościami specyficznych parametrów opisujących dynamikę zmian zwierciadła wody gruntowej między drenami. Do tych parametrów zalicza się m. in. współczynnik tzw. szczelności sekcji, stałą czasową odwodnienia i opóźnienie czasowe odwodnienia. Wielkości te szacuje się w procesie kalibracji modelu.

W skład urządzeń monitoringu melioracyjnego sekcji wchodzi studzienka obserwacyjna zwierciadła wody gruntowej poza zasięgiem zbiornika gruntowego, w połowie rozstawy sączków (rys. 4 i 6). Studziencie tej może towarzyszyć piezometr i studzienka w linii drenów. W tym przypadku wymaga się znajomości rzędnej terenu w środku rozstawy drenów/rowów oraz średniej rzędnej dna drenów w linii studzienek obserwacyjnych. Monitoruje się również poziom piętrzenia wody w zbiorniku gruntowym. W tym celu stosuje się wodowskaz (np. pływakowy) w studni drenarskiej albo studzienkę obserwacyjną obok studni.



Rys. 6. Lokalizacja studzienek obserwacyjnych na sekcji w ciągu pomiarów między sączkami:

- 1 – studzienka obserwacyjna (ew. uzupełniona o punkt pomiaru wilgotności gleby),
- 2 – studzienka obserwacyjna w linii drenów, 3 – piezometr, L – rozstawa sączków,
- R_{d1} – rzędna dna drenu, R_{t1} , R_{t2} – rzędne terenu - kryz studzienek obserwacyjnych

W komputerowej symulacji stosuje się również siedmiodniowe prognozy meteorologiczne dotyczące wysokości opadów oraz wielkości służących do określania wysokości ewapotranspiracji

potencjalnej i rzeczywistej. Są to promieniowanie słoneczne netto, temperatura powietrza, prędkość wiatru, ciśnienie pary wodnej, ciśnienia pary wodnej nasyconej.

Wszystkie w/w charakterystyki wprowadza się do komputerowego kwestionariusza (rys. 7).

Rys. 7. Fragment komputerowego kwestionariusza ankiety działu drenarskiego i jego sekcji w programie ODWODINI

2.1.3. Wyniki obliczeń i symulacji komputerowej

Po zgromadzeniu wymaganych charakterystyk oraz danych monitoringowych i prognostycznych dla działu drenarskiego i wszystkich sekcji na działle można przystąpić do symulacji skutków różnych piérzeń wody w zbiornikach gruntowych. Dla każdej sekcji wyniki symulacji będą zależne od danych z monitoringu i prognoz oraz od danych w komputerowym kwestionariuszu ankiety. Przystępując do sesji symulacyjnej operator wprowadza dane z monitoringu i prognoz w odpowiednim formacie do pamięci komputera. Może również dokonać korekty danych zawartych w komputerowym kwestionariuszu ankiety. Po tym prowadzi kilkakrotnie komputerowe symulacje, zmieniając przed każdą symulacją głębokość zalegania zwierciadła wody pod powierzchnią terenu w studniach drenarskich na sekcjach, zważając, aby głębokości te nie były mniejsze od minimalnych norm odwodnienia z_{min} .

Wynikiem każdej symulacji są wykresy i tabele dla każdej sekcji obrazujące 10-dniowy przebieg:

- stanu h_2 wody gruntowej w studzienice obserwacyjnej w środku między dwoma sączkami (w środku ładu),
- stanu h_{Zb1} wody w zbiorniku gruntowym (w studzienice obserwacyjnej w pobliżu studni drenarskiej),
- średniej wilgotności $wilg.2$ korzeniowej warstwy gleby w lokalizacji studzienki obserwacyjnej w środku ładu (wartości te mogą być porównane z wilgotnością krytyczną gleby w warstwie korzeniowej, θ_k),

- dobowego poboru wody Q_{in} przez sekcję,
- dobowego odpływu wody Q_{out} z sekcji,
- dobowej ewapotranspiracji rzeczywistej ET roślin,
- dobowej sumy opadów P ,
- objętości wody V_{zb} w zbiorniku gruntowym na sekcji w każdej dobie,
- faz gospodarowania wodą (faza 1. i 2.) na każdej sekcji w każdej dobie.

Po przeanalizowaniu informacji uzyskanych w każdej symulacji operator urządzeń melioracyjnych wykonuje końcową symulację. Najlepsze, z punktu widzenia operatora, ustawienia wartości z_{2min} i odpowiadających im stanów h_{max} wody w studniach drenarskich na poszczególnych sekcjach stanowią plan działań ukierunkowanych na rozrząd wody własnej między zbiornikami gruntowymi na sekcjach. Operator powinien dążyć do wypracowania takich głębokości z_{2min} zalegania zwierciadła wody w zbiornikach, aby natężenie odpływu wody Q_{in} z najniższej położonej sekcji było jak najmniejsze, a jednocześnie, aby głębokości te nie były mniejsze od minimalnych norm odwodnienia z_{min} . Plan działań może być realizowany w okresie tygodnia poprzez odpowiednie ustawianie zamknięć na stabilizatorach piętrzenia wody w studniach drenarskich. Woda w zbiornikach gruntowych jest wodą użyteczną, gdyż może np. być przeznaczona do nawadniania roślin.

Zbiornik wody gruntowej jest dość specyficzny, gdyż zgodnie z założeniem jego dno jest wyznaczone przez zwierciadło wody gruntowej jakie byłoby, gdyby woda nie była piętrzona. Oznacza to, że objętość wody V_{zb} zgromadzonej w zbiorniku jest liczona w stosunku do tego zwierciadła wody gruntowej, czyli jest to nadwyżka objętości wody przypadająca na jednostkę powierzchni zbiornika nad objętością wody na jednostce powierzchni sekcji poza zasięgiem piętrzenia wody w zbiorniku. Po usunięciu tej objętości wody (np. przez pompowanie) głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej na powierzchni zbiornika byłaby identyczna z głębokością zalegania zwierciadła wody gruntowej na powierzchni sekcji poza zasięgiem jego piętrzenia.

3. Systemy wspomagające decyzje rolników w zakresie nawodnień deszczownianych (*W. Kasperska-Wołowicz, T. Bolewski*)

Aktualnie w Polsce obserwuje się rosnące zainteresowanie rolników budową studni i korzystaniem z zasobów wód podziemnych do nawadniania. W tym celu wykorzystuje się zarówno zasoby płytko położonych wód gruntowych, jak również wód pochodzących z głębszych warstw. Część z nich to zasoby nieodnawialne. Zasoby wód podziemnych, zwłaszcza zgromadzone w głębszych warstwach, wymagają racjonalnego użytkowania. Inną poważną konsekwencją intensywnej produkcji polowej jest zanieczyszczenie wód gruntowych i powierzchniowych związkami azotu, wymywanymi w głąb profilu glebowego w trakcie intensywnych opadów deszczu lub podczas nadmiernego nawadniania. W tych wymagających i zmieniających się niekorzystnie warunkach prowadzenia produkcji polowej poszukuje się narzędzi doradczych umożliwiających racjonalne zarządzanie zasobami wodnymi do celów nawodnieniowych. Jednym z najbardziej zaawansowanych narzędzi są systemy wspierające rolników w podejmowaniu decyzji dotyczących nawadniania oraz prowadzenia innych prac agrotechnicznych. Ich rola polega na dostarczaniu informacji i zaleceń, wspomagających użytkownika w podejmowaniu najlepszych

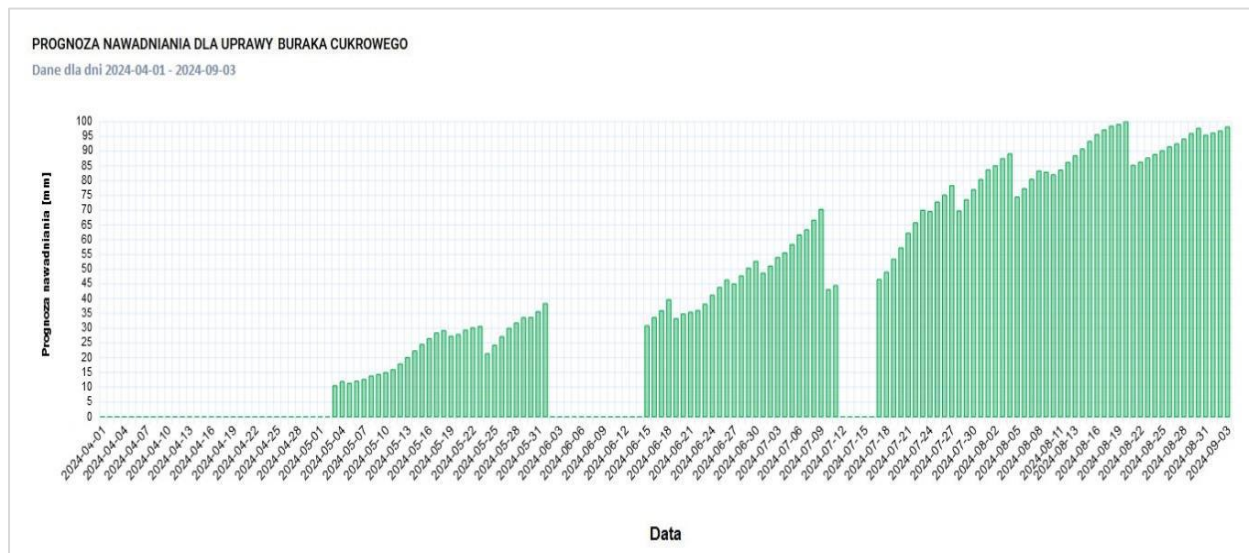
decyzji w zakresie nawadniania. Zastosowanie tych systemów umożliwia ograniczenie ilości wody stosowanej do nawadniania i jednocześnie zmniejszenie innych kosztów związanych z nawadnianiem (np. opłaty za pobór wody, koszty energii elektrycznej). Systemy tego typu łączą monitoring warunków meteorologicznych, monitoring wilgotności gleby, matematyczne modele rozwoju roślin i bilansu wodnego oraz elementy odpowiedzialne za wizualizację uzyskanych wyników. Niektóre z nich dodatkowo wykorzystują - jako źródła informacji - dane teledetekcyjne (zobrazowania satelitarne lub uzyskane za pomocą dronów).

Zainteresowanie takimi systemami wzrasta, tak na świecie jak i w Polsce. Dostępne są zarówno darmowe jak i płatne rozwiązania. Wśród tych, które oferują możliwość generowania precyzyjnych zaleceń dotyczących konkretnych pól lub łąk rolnika dominują rozwiązania komercyjne.

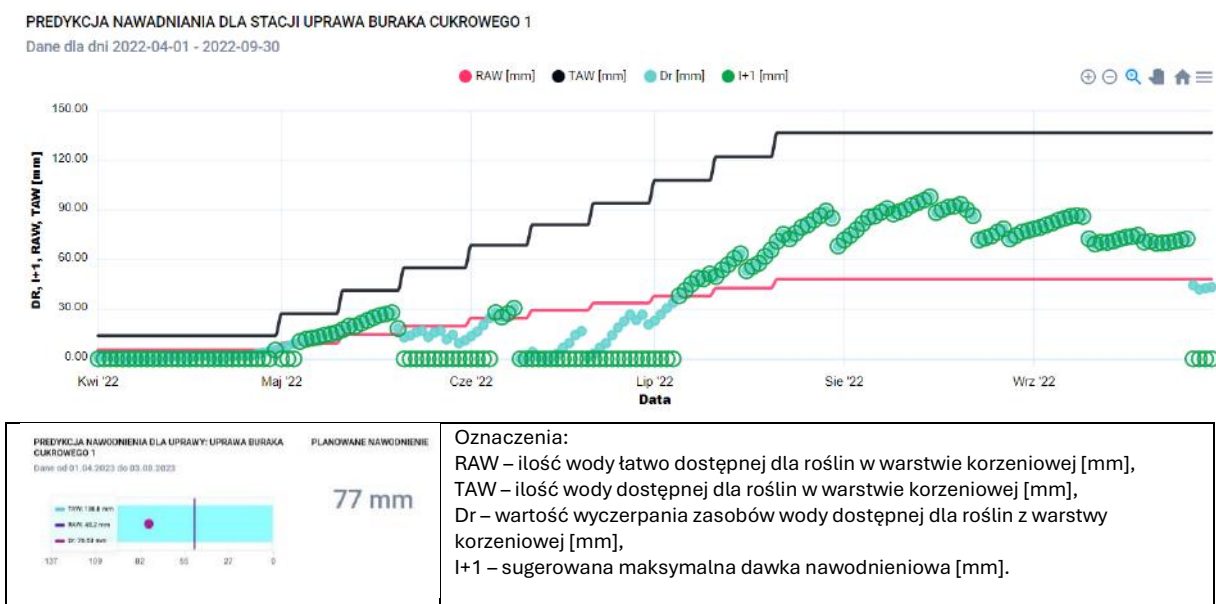
Przykładem takiego rozwiązania opracowanego w Polsce jest „System monitoringu agrometeorologicznego i wspomagania decyzji dotyczących nawadniania roślin uprawnych”. Został opracowany w ramach projektu dofinansowanego ze środków unijnych Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW 2014-2020), działanie Współpraca, pt. „Innowacyjny system monitoringu i prognozowania agrometeorologicznego oraz operacyjnego planowania nawodnień w gospodarstwach rolnych na Kujawach”. Ten prototypowy system otrzymał nazwę „Woda dla Kujaw”. Podstawową funkcją systemu Woda dla Kujaw jest wspomaganie rolników w podejmowaniu decyzji nawodnieniowych. Był on opracowany i testowany przy współudziale jednostek naukowych, jednostki doradczej i rolników stosujących nawodnienia upraw na Kujawach. Wdrożono go w gospodarstwach uczestniczących w projekcie, a po szczegółowym testowaniu i ewaluacji może być zastosowany na szerszą skalę.

System wspomagania decyzji składa się z dwóch części (modułów): **(i)** monitoringu agrometeorologicznego, dostarczającego informacji o lokalnych warunkach meteorologicznych oraz **(ii)** bieżącego planowania nawodnień, dostarczającego informacji o wyczerpaniu zapasów wody w glebie i sugerowanej dawce nawodnienia wybranych roślin uprawnych. Moduł monitoringu agrometeorologicznego odpowiedzialny jest za pozyskanie danych meteorologicznych i ich transfer do bazy danych znajdującej się na serwerze, skąd są codziennie pobierane w celu przeprowadzenia obliczeń. Jego funkcją jest również przetwarzanie i prezentacja monitorowanych elementów agrometeorologicznych. Moduł bieżącego planowania nawodnień odpowiedzialny jest za obliczanie zużycia wody w procesie ewapotranspiracji oraz obliczanie wartości bilansu wodnego gleby w kolejnych dniach sezonu wegetacyjnego. Obliczenia wykonywane są na podstawie aktualnych danych meteorologicznych oraz parametrów glebowych i roślinnych. Poprzez interfejs użytkownika można wykonać korektę sum opadów atmosferycznych (np. gdy rolnik posiada deszczomierz bezpośrednio na polu) oraz uwzględnić w obliczeniach zastosowanych przez rolnika inne dawki nawodnień, jeśli różnią się od proponowanych przez ten system. Bilans wodny obliczany jest dla korzeniowej warstwy gleby. Miąższość tej warstwy zmienia się w trakcie sezonu wegetacyjnego. Jej sezonową zmienność określono na podstawie literatury oraz wiedzy i doświadczenia członków grupy operacyjnej systemu (naukowców, doradców i rolników). Po wykonaniu obliczeń, moduł bieżącego planowania nawodnień sugeruje użytkownikowi maksymalną dopuszczalną wielkość dawki nawodnieniowej (uzupełniającej zapasy wody w glebie do połowej pojemności wodnej) przewidzianej w danym dniu. Pozwala to uniknąć zastosowania nadmiernej dawki nawodnieniowej i strat wody. Wyniki obliczeń prezentowane są w formie wykresów lub w formie tabelarycznej na stronie internetowej Systemu. Można je pobrać w formie plików Excela lub plików tekstowych (*.csv).

W aplikacji internetowej Systemu dostępne są wykresy w formie uproszczonej (wyłącznie terminy i maksymalne dawki nawodnień (rys. 8) oraz w formie rozbudowanej (zawierającej dodatkowe informacje na temat dostępności wody w profilu glebowym w poszczególnych dniach sezonu wegetacji (rys. 9.).



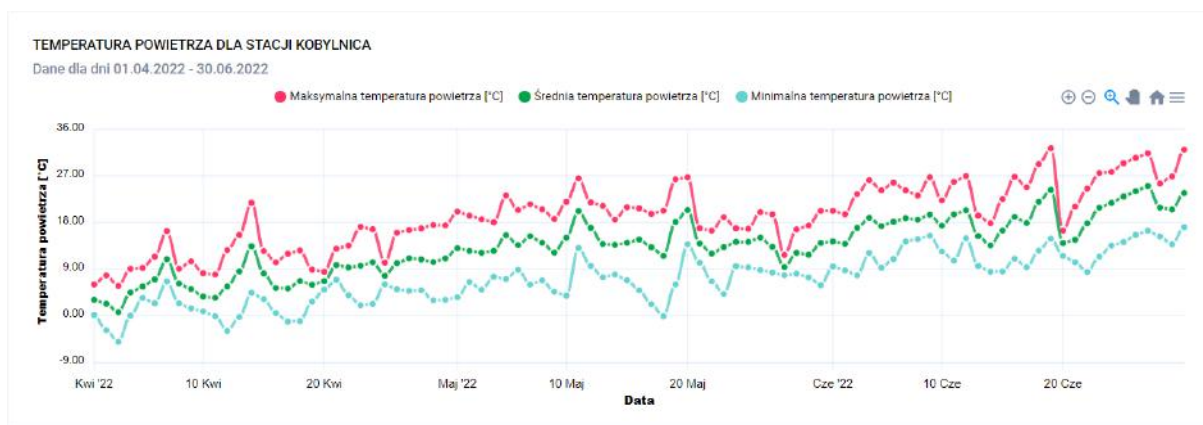
Rys.8. Zalecane dawki nawodnień uprawy buraka cukrowego w kolejnych dniach sezonu wegetacyjnego 2024 r. w sytuacji braku nawadniania w okresie poprzednim – wskazują na wielkość aktualnych potrzeb wodnych na uzupełnienie zapasów wody do połowej pojemności wodnej



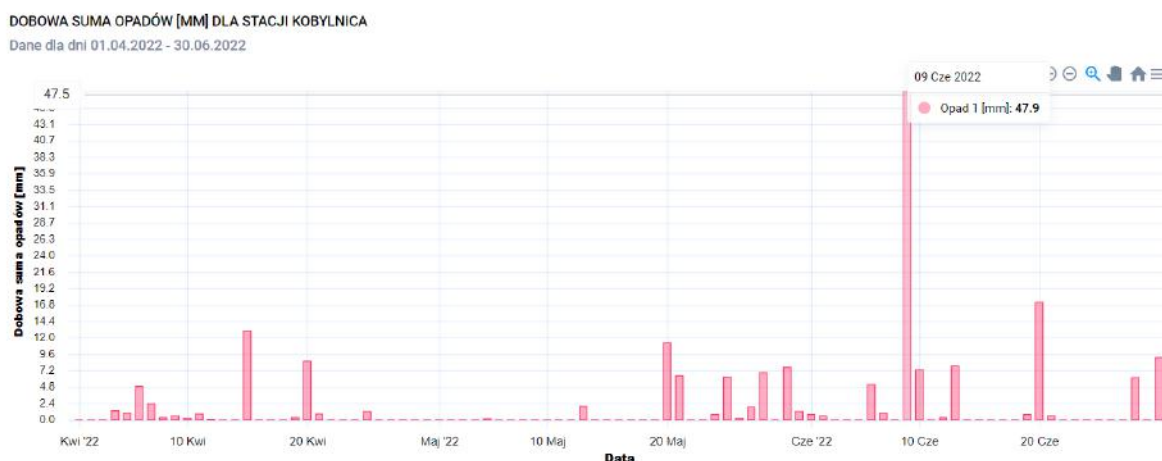
Rys. 9. Dawki nawodnień (maksymalne) uprawy buraka cukrowego na tle parametrów charakteryzujących dostępność wody w glebie (RAW, TAW, Dr) w kolejnych dniach sezonu wegetacyjnego 2022 r.; w lewej dolnej części wykresu przedstawiono sugerowaną wartość niezbędną do nawodnienia w celu osiągnięcia połowej pojemności wodnej w korzeniowej warstwie gleby (77 mm) w dniu zalogowania się do Systemu oraz aktualne wartości parametrów charakteryzujących dostępność wody w glebie. Wykres przedstawia wariant braku nawadniania w okresie poprzednim

Przez interfejs system umożliwia także użytkownikowi wprowadzenie do obliczeń głębokości, do jakiej planuje nawodnienia, jak również zastosowanie nawadniania deficytowego, w celu uzupełnienia potrzeb wodnych roślin poniżej połowej pojemności wodnej, lecz w zakresie wody użytecznej dla roślin.

System oferuje możliwość prezentacji bieżącej i archiwalnej informacji agrometeorologicznej, dotyczącej wybranych pól (rys. 10, 11). Całkowity okres monitoringu agrometeorologicznego obejmuje kolejne dni od 1 kwietnia do 31 października. Istnieje możliwość wyboru dowolnie krótszego okresu w zależności od potrzeb użytkowników. Wyniki monitoringu prezentowane są w formie wykresów lub w formie tabelarycznej na stronie internetowej Systemu. Można je pobrać w formie plików Excela lub plików tekstowych (*.csv)

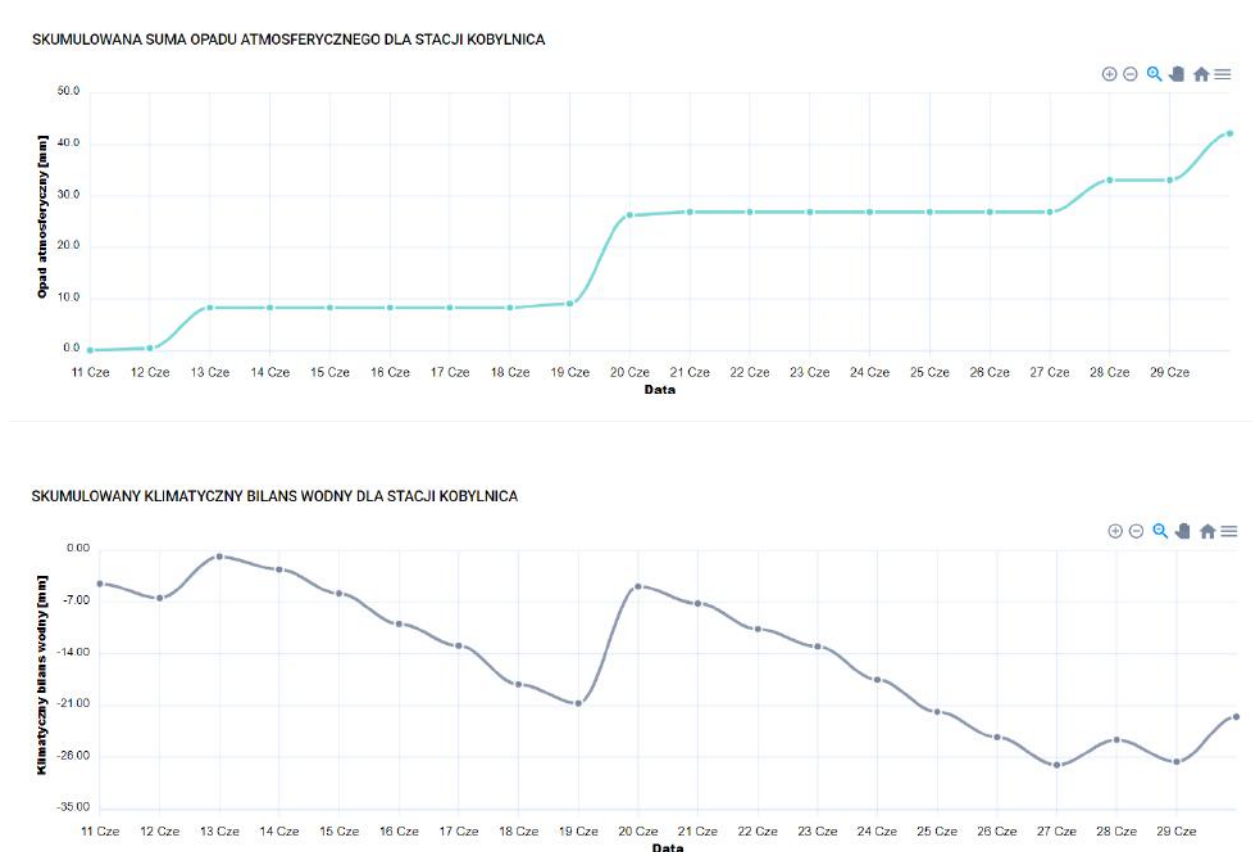


Rys. 10. Przebieg temperatury powietrza średniej, minimalnej i maksymalnej w okresie 1.04–30.06.2022 r.

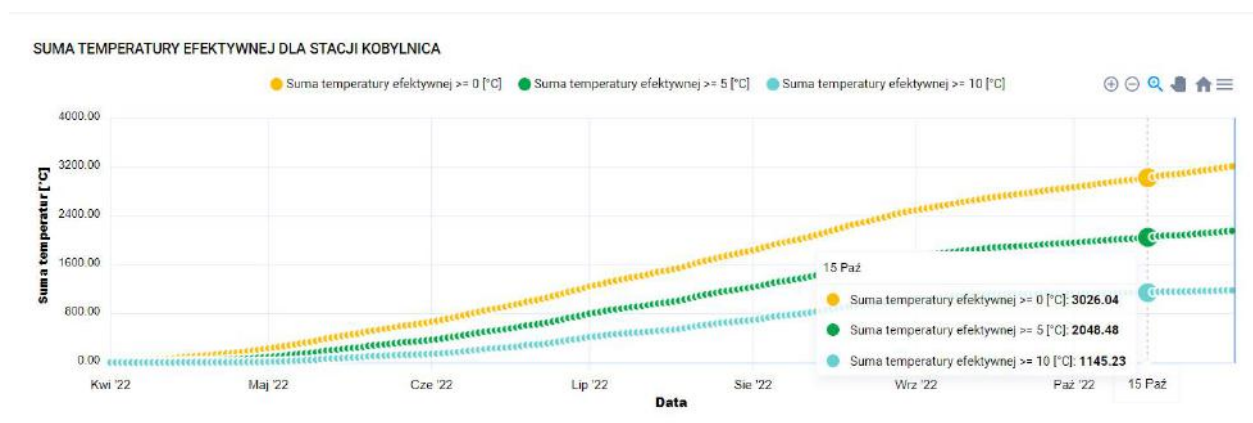


Rys. 11. Dobowe wartości opadu atmosferycznego w okresie 1.04–30.06.2022 r.

Na stronie internetowej Systemu prezentowane są średnie dobowe wartości temperatury powietrza, prędkości wiatru, wilgotności względnej i dobowe sumy opadów. Dodatkowo System oblicza i prezentuje wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej, klimatycznego bilansu wodnego oraz sumy temperatury efektywnej. Istnieje również możliwość prezentacji wartości kumulowanych wyżej wymienionych parametrów (rys. 12 i 13).



Rys. 12. Kumulowana suma dobowych wartości opadu atmosferycznego (rys. górny) i klimatycznego bilansu wodnego (rys. dolny) w okresie 11-30 czerwca 2022 r.



Rys.13. Kumulowana suma średniej dobowej temperatury powietrza w okresie od 1 kwietnia do 31 października w 2022 r. na podstawie pomiarów automatycznej stacji meteorologicznej na południu Kujaw. Wykres obejmuje sumy temperatury, przy różnych wartościach temperatury bazowej: $\geq 0^{\circ}\text{C}$, $\geq 5^{\circ}\text{C}$ i $\geq 10^{\circ}\text{C}$; dwie ostatnie przyjmowane są w agrometeorologii jako dolna granica początku aktywnego wzrostu roślin, odpowiednio roślin trawiastych i ozimych oraz kukurydzy

Jeśli zajdzie taka potrzeba, użytkownik ma również możliwość wglądu w dokładne wartości liczbowe parametrów agrometeorologicznych, dotyczące wybranego okresu (rys. 14).

DANE SKUMULOWANE DLA STACJI KOBYLNICA

OD	DO	TEMP. POWIETRZA [°C]	SUMA OPADU ATM. [MM]	EWAPOTRANSPIRACJA REF. [MM]	KLIMATYCZNY BILANS WODNY [MM]
2022-06-11	2022-06-30	394.62	42.2	64.73	-22.53

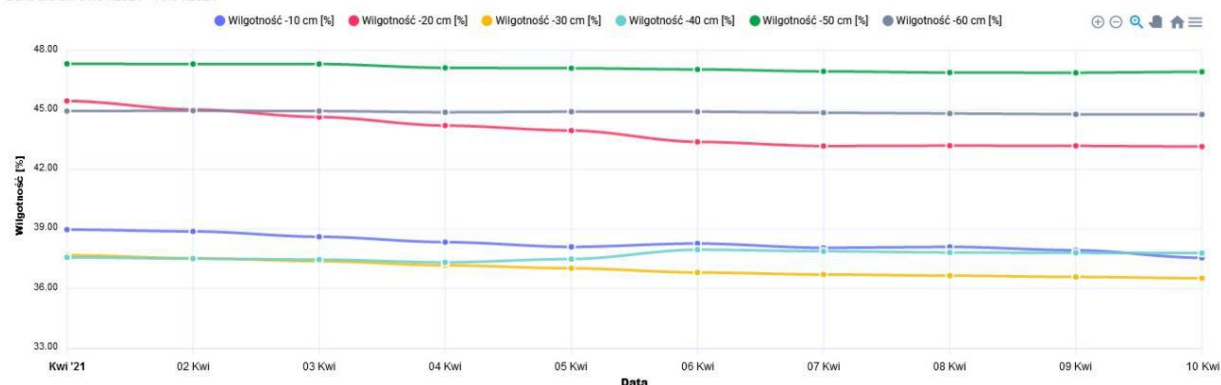
Rys. 14. System prezentuje informację w postaci danych liczbowych za wybrany okres; tu: sumy kumulowane temperatury powietrza $\geq 0^{\circ}\text{C}$, opadu atmosferycznego, ewapotranspiracji wskaźnikowej i klimatycznego bilansu wodnego w okresie od 11 do 30 czerwca 2022 r.

Strona internetowa Systemu pozwala na porównanie wybranego okresu w bieżącym sezonie wegetacyjnym z analogicznym okresem w roku poprzednim oraz ze średnimi wieloletnimi z ostatnich trzydziestu lat (1991-2020). Funkcja ta obejmuje kumulowane sumy temperatury powietrza, opadu atmosferycznego i klimatycznego bilansu wodnego.

Moduł monitoringu agrometeorologicznego dostosowany jest do pobierania i przetwarzania danych pochodzących z czujników i sond wilgotności gleby, które mogą być zainstalowane na polach użytkowników. Dane z tych urządzeń zbierane są na serwerach ich producentów, a następnie przekazywane na serwer Systemu „Woda dla Kujaw”. Dane prezentowane są w postaci wykresów wilgotności gleby na wybranych głębokościach (rys. 15).

WILGOTNOŚĆ GLEBY

Dane dla dni 01.04.2021 - 10.04.2021



Rys. 15. Wilgotność gleby na głębokościach 10, 20, 30, 40, 50 i 60 cm od 1 do 10 kwietnia 2021 r.

Osoby zainteresowane korzystaniem z Systemu Woda dla Kujaw mogą zwrócić się do jego administratora o dołączenie ich do listy użytkowników. Po zakończeniu procesu rejestracji nowy użytkownik, może zalogować się do systemu. Po zalogowaniu się ma możliwość wyboru interesującej go stacji meteorologicznej (np. stacji ITP-PIB). Powinna to być stacja zlokalizowana możliwie najbliżej pola rolnika. Istnieje również możliwość dodania nowej stacji należącej do rolnika (po wcześniejszym kontakcie z administratorem).

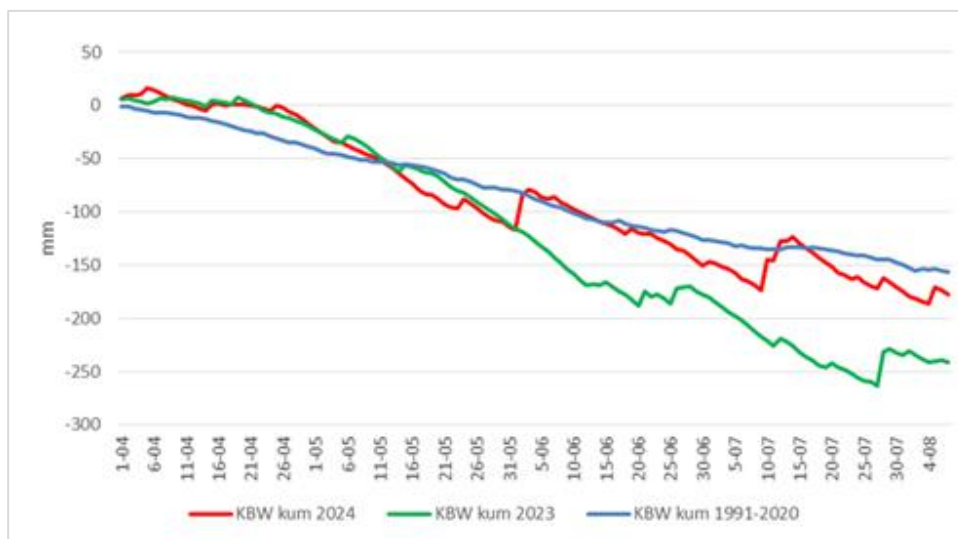
Użytkownik może wprowadzić parametry charakteryzujące właściwości fizyczno-wodne gleby na swoim polu. Jeśli nie posiada dokładnych informacji, może wybrać dostępne w Systemie kategorie agronomiczne gleb najbardziej odpowiadające warunkom glebowym na jego polu. Następnie użytkownik wybiera roślinę (uprawę), którą planuje nawadniać. Do dostępnych roślin należą: burak cukrowy, cebula, kukurydza, marchew i pietruszka. Baza danych modułu planowania nawodnień zawiera wartości parametrów charakteryzujących

dynamikę rozwoju ww. roślin dla każdego dnia okresu wegetacji (głębokość korzenia i współczynnik roślinny). Jest też możliwość dodania do Systemu innych roślin uprawnych, wraz z parametrami je charakteryzującymi.

Zastosowanie Systemu „Woda dla Kujaw” można traktować jako jedno z działań adaptacyjnych do niekorzystnych zmian klimatu, które służy łagodzeniu skutków tych zmian. Umożliwia zmniejszenie ryzyka strat plonu spowodowanych niedoborami wody. Informacje generowane przez System i wykorzystane w praktyce przyczyniają się do zwiększenia i stabilizacji plonów w kolejnych latach oraz do osiągnięcia dobrej ich jakości. Jednocześnie pomagają w ograniczeniu zużycia wody i jej racjonalnym wykorzystaniu (dawki nawodnień dostosowane do aktualnych potrzeb roślin).

W przyszłości planuje się przetestowanie działania Systemu w większej skali przestrzennej, zwiększenie liczby dostępnych upraw oraz jego doskonalenie i rozbudowę o kolejne moduły. Docelowo System ma być dostępny szerszej grupie beneficjentów.

Dodatkowe informacje na temat Systemu „Woda dla Kujaw” dostępne są na stronie <http://wodadlakujaw.pl>. Na stronie również dostępne są opracowywane co miesiąc biuletyny agrometeorologiczne dotyczące regionu Kujaw. Zawierają one m.in. informacje na temat klimatycznego bilansu wodnego wskazującego na nadmiar lub deficyt opadów (rys. 16).



Rys. 16. Kumulowany klimatyczny bilans wodny (KBW w mm) od 1.04. do 10.08.2024 r. na tle analogicznego okresu w 2023 r. i średniej wieloletniej (1991-2020) na południu Kujaw

4. Obliczanie retencji i retencyjności wodnej (potencjału retencyjnego) użytków rolnych i krajobrazu rolniczego (E. Kaca)

Podstawą do obliczeń retencyjności (potencjału retencyjnego) i retencji wodnej użytków rolnych (najczęściej trwałych użytków zielonych) są cztery metody opracowane w latach 2024 i 2025 w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym Państwowym Instytucie Badawczym w Falentach, na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Przedmiotem ich jest retencyjność wodna, nazywana również potencjałem retencyjnym cieków i zbiorników oraz

ośrodków glebowo-gruntowych i krajobrazu rolniczego, rozumiana jako zdolność do zatrzymywania użytecznej wody. Miarą tej retencyjności może być największa ilość (m^3) użytecznej wody, jaka może być gromadzona i przetrzymywana przez dłuższy czas w ciekach, zbiornikach, gruncie, glebie i krajobrazie rolniczym. Ilość ta zależy od wielu czynników. Np. w przypadku retencji korytowej danego cieku ilość ta będzie zależeć od mało zmiennych parametrów koryta tego cieku (kształt i wielkość pola powierzchni przekrojów poprzecznych cieku, spadek dna cieku) oraz od parametrów wyraźnie zmiennych takich jak wysokość piętrzenia wody w cieku oraz natężenie przepływu wody w cieku. W przypadku retencji glebowo-gruntowej w zlewni cieku/zbiornika ilość ta będzie kształtowana przez mało zmienne warunki glebowo-gruntowe (hydrogeologiczne) warstwy wodonośnej oraz przez takie zmienne uwarunkowania jak wysokość piętrzenia wody w cieku/zbiorniku oraz natężenie odpływu jednostkowego wody ze zlewni. Retencję krajobrazową kształtuje użytkowanie i pokrycie powierzchni, sposób uprawy, warunki hydrologiczne, rodzaj gleb itp. Wszystkie rodzaje retencyjności (retencji) mogą być rozpatrywane w skali zlewni (rolniczej) lub w skali gospodarstwa rolnego.

W pierwszej metodzie zawarty jest sposób obliczania przyrostu retencyjności korytowej (m^3) małego cieku, wywołanego budową na nim budowli piętrzącej wodę, druga dotyczy obliczania przyrostu retencyjności glebowo-gruntowej powodowanego spiętrzeniem wody w tym cieku/zbiorniku, trzecia obejmuje zagadnienia przyrostu retencyjności melioracyjnej wywołanej wyposażeniem odwadniającego systemu melioracyjnego z systematyczną siecią rowów melioracyjnych i drenowań w budowlę piętrzącą wodę, zaś czwarta dotyczy retencyjności krajobrazu rolniczego, tj. zdolności zatrzymywania wody deszczowej w glebie w zależności od zagospodarowania przestrzennego, topografii, rodzajów upraw itp. W wyniku zastosowania drugiej i trzeciej metody oblicza się również pole powierzchni terenu (ha) na który oddziałuje spiętrzenie wody w cieku/zbiorniku i w rowach systemu melioracyjnego. Są to najczęściej powierzchnie pod glebami hydrogenicznymi (gleby organiczne, mineralno-organiczne oraz czarne ziemie i gleby napływowe – mady rzeczne).

Metody mogą służyć do oceny przyrostu retencyjności korytowej, glebowo-gruntowej i melioracyjnej w wyniku realizacji inwestycji/działania w ramach PROW 2014-2020 oraz inwestycji/działania realizowanych w ramach PS WPR 2023 - 2027 i KPO. W tym przypadku obliczenia powinny być wykonywane w oparciu o dostępne dane, w tym dane literaturowe oraz dane pochodzące z Internetu. W tym ostatnim przypadku będą to mapy topograficzne z warstwicami, mapy hydrograficznego podziału Polski, mapy glebowo-rolnicze, mapy hydrogeologiczne pierwszego poziomu wodonośnego itp. Oczywiście, w obliczeniach można posługiwać się alternatywnie wynikami pomiarów terenowych wykonanych na potrzeby inwestycji/działania, ale takie pomiary są kosztowne oraz czasochłonne.

Przyrost retencyjności oraz przyrost powierzchni pod wpływem piętrzeń wody w ciekach/zbiornikach i systemach melioracyjnych jest wskaźnikiem efektywności rzeczowej podejmowanych inwestycji/działania. Pozostaje kwestią otwartą wykorzystanie tego potencjału retencyjnego w praktyce. Na ogół jednak im wyższy ten przyrost tym większa zasadność finansowania takiej aktywności.

Obliczenia wg trzech pierwszych metod wykonuje się za pomocą programu komputerowego RETENCJA, zaś wg czwartej metody w programie EXCEL.

4.1. Metoda obliczania przyrostu retencyjności korytowej pod wpływem piętrzenia wody w małym cieku nizinny

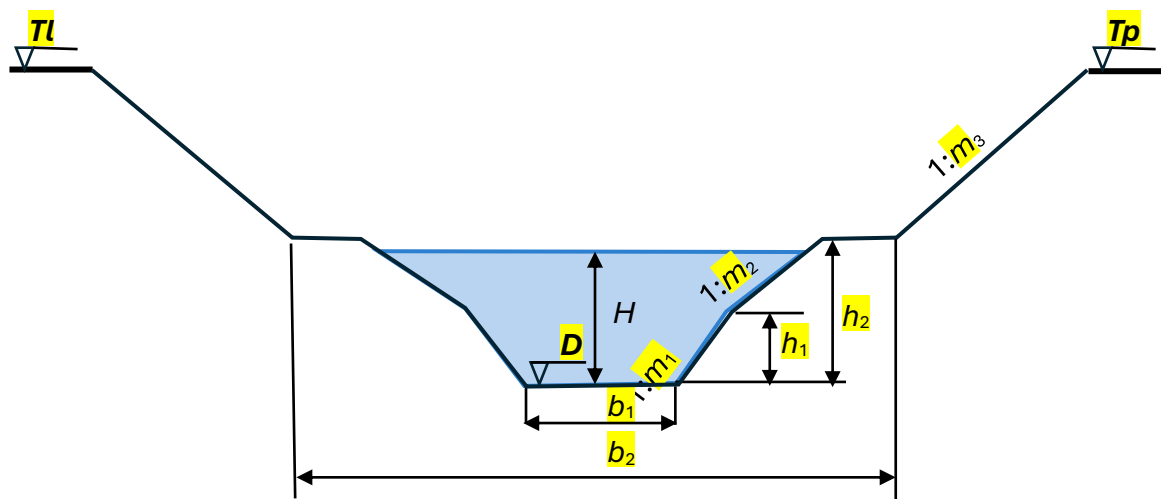
Podstawę obliczeń przyrostu retencji korytowej stanowi wyznaczany przyrost stanów wody w cieku na jego długości pod wpływem przyrostu piętrzenia wody na budowli piętrzącej. Przyrost tych stanów w postaci przyrostu rzędnych zwierciadła wody gruntowej wykorzystuje się również w metodzie omówionej w rozdziale 4.2. dotyczącej obliczania przyrostu powierzchni i retencyjności glebowo-gruntowej użytków pod wpływem piętrzenia wody w małym drenującym cieku.

Obliczenia prowadzi się komputerowo wg zasad opracowanych w hydraulice koryt otwartych. Do obliczeń wykorzystuje się pomierzone parametry koryta cieku oraz przyjęte natężenie przepływu wody w cieku. Im natężenie to jest większe tym spiętrzenie wody i jego zasięg jest większy, tym również jest większy przyrost retencji korytowej oraz przyrost retencji glebowo-gruntowej w terenie przyległym do cieku.

Metoda obliczeń oraz przykład jej zastosowań są szczegółowo omówione w rozdziale 4.1.3.

4.1.1. Zastosowanie metody i jej założenia

Metoda ta służy do wyznaczenia przyrostu retencyjności wodnej (potencjału retencyjnego) ΔR małego cieku w wyniku budowy na nim budowli piętrzącej wodę. Dotyczy drenujących cieków o szerokości w dnie do ok. 5 (10) m i wysokości piętrzeń wody do ok. 3 m. Ma zastosowanie do koryt cieków o przekroju trapezowym i wielotrapezowym, (rys.17).



Rys. 17. Schemat przekroju poprzecznego cieku. Oznaczenia: Tl , Tp , D – rzędne brzozywa lewego, prawego i dna, m_1 , m_2 , m_3 – współczynniki nachylenia skarp, b_1 , b_2 szerokości cieku. Ogólnie: $b_2 \geq b_1 + 2m_1h_1 + 2m_2(h_2 - h_1)$, H – obliczana głębokość wody w przekroju. Na żółtym tle zaznaczono dane wejściowe do obliczeń (oprac. E. Kaca)

Przekrój wielotrapezowy jest charakteryzowany przez takie wielkości jak:

Tl , Tp , D – rzędne brzozywa lewego, prawego i dna cieku, m n.p.m.,

b_1 , b_2 – odpowiednio szerokość cieku w dnie i górą (rys.17), m,

$$b_2 \geq b_1 + 2m_1h_1 + 2m_2(h_2 - h_1).$$

m_1, m_2, m_3 , - współczynnik nachylenia skarp odpowiednio dolnych, środkowych i górnych (rys.17). Współczynnik m oznacza stosunek szerokości (w poziomie) do wysokości skarpy (w pionie). Stosunek $1:m$ jest tangensem kąta nachylenia płaszczyzny skarpy do poziomu. Gdy kąt ten wynosi 45° to $m = 1$, gdy 34° to $m = 1,5$, a gdy kąt równa się 27° to $m = 2$ (skarpy bardziej strome charakteryzują się mniejszymi wartościami m),
 h_1, h_2 – odpowiednio pierwsza głębokość cieku (wysokość skarpy dolnej) i druga głębokość cieku (wysokość skarpy dolnej i środkowej łącznie) (rys.17), m.

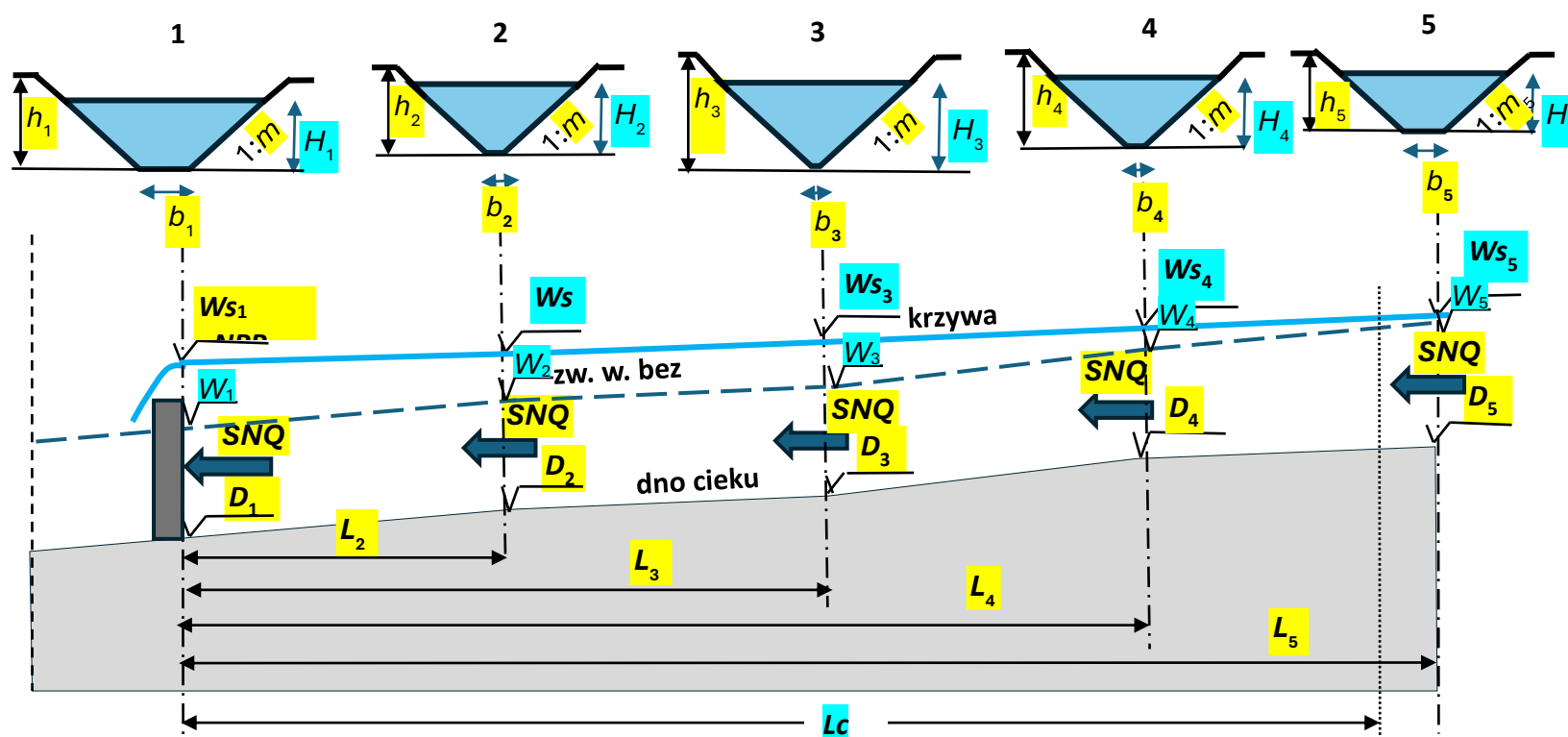
W przypadku koryt trapezowych o nachyleniu skarp $1:m$ i głębokości h przyjmuje się, że $m_1 = m_2 = m_3 = m$; $h_1 = h_2 = h$ oraz $b_2 = b_1 + 2mh$.

Obliczenia i oceny prowadzi się przy założonym przepływie charakterystycznym wody w cieku. W przypadku oceny przyrostu retencyjności korytowej w wyniku realizacji inwestycji/działań w ramach PROW 2014-2020 oraz inwestycji/działań realizowanych w ramach PS WPR 2023-2027 i KPO przepływem charakterystycznym jest przepływ średni niski (SNQ). Ponadto zakłada się, że zasięg cofki (spiętrzenia) wody w cieku kończy się w przekroju poprzecznym cieku, w którym różnica ustabilizowanych zwierciadeł wody spiętrzonej i nie spiętrzonej jest w przybliżeniu równa 0,05 m lub też przy większej wartości, w miejscu kolejnej istniejącej lub nowej budowli piętrzącej.

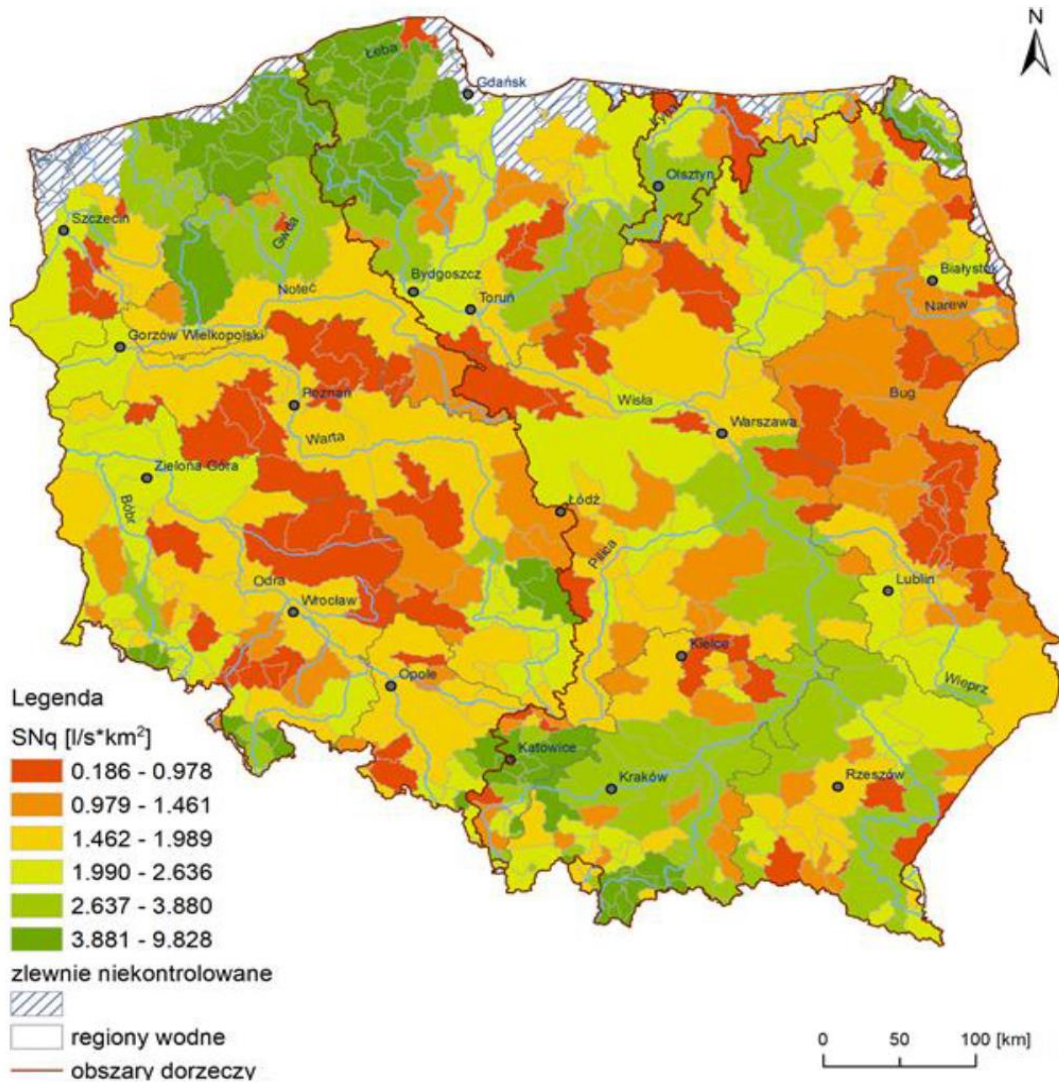
4.1.2. Dane do obliczeń i ich źródła

Do podstawowych danych, na podstawie których oblicza się przyrost retencyjności korytowej cieku zalicza się:

- 1) profil podłużny cieku na odcinku spodziewanego zasięgu cofki, z przekrojami poprzecznymi cieku odległymi od siebie nie rzadziej niż 400 m, z zaznaczonymi (rys. 18):
 - rzędnymi dna, m n.p.m.,
 - charakterystycznymi głębokościami i nachyleniami skarp,
 - charakterystykami szorstkości koryta, których miarą jest współczynnik szorstkości,
 - rzędnymi terenu przyległego do cieku (prawy i lewy brzeg), m n.p.m.
- 2) przepływ charakterystyczny (średni niski SNQ w m^3/s) wody w cieku na odcinku planowanego spiętrzenia wody, albo powierzchnia F zlewni (km^2) w przekroju planowanego spiętrzenia wody oraz odpływ charakterystyczny (odpływ średni niski SNq w $dm^3/(s \cdot km^2)$) wody ze zlewni. W aplikacji komputerowej proponuje się wartości tego odpływu odczytywać z mapy średniego niskiego odpływu jednostkowego (rys. 19). Wtedy $SNQ = 0,001 \cdot F \cdot SNq$, m^3/s .
- 3) rzędną piętrzenia wody w cieku na budowli piętrzącej (normalny poziom piętrzenia NPP), m n.p.m.



Rys. 18. Schemat przekroju podłużnego cieku z przekrojami poprzecznymi (trapezowymi) na odcinku spodziewanego zasięgu cofki. Na żółtym tle zaznaczono symbole niektórych danych wejściowych do obliczeń, zaś na niebieskim tle symbole niektórych wyników obliczeń. Oznaczenia: 1, 2, ..., 5 – numery przekrojów poprzecznych, h – głębokość koryta, $1:m$ – nachylenie skarp, H – głębokość wody w korycie, SNQ – przepływ średni niski, W i W_s – rzędna zwierciadła odpowiednio wody niespiętrzonej i wody spiętrzonej w cieku, NPP – rzędna normalnego poziomu piętrzenia na budowli piętrzącej, D – rzędna dna koryta, L – odległość danego przekroju poprzecznego od budowli piętrzącej, L_c – zasięg spiętrzenia wody w cieku. Indeksy przy zmiennych oznaczają numery przekrojów (Oprac. E. Kaca)



Rys. 19. Mapa średniego niskiego odpływu jednostkowego (SNq) wg Programu przeciwdziałania niedoborowi wody, 2021, opracowana na podstawie danych IMGW-PIB

Dane wyjściowe (1) do obliczeń mogą pochodzić z bezpośrednich pomiarów geodezyjnych lub z projektu regulacji ciek. Źródłem pozostałych danych mogą być opracowania hydrologiczne (dane 2) oraz założenia projektowe lub projekt techniczny budowli piętrzącej wodę w cieku (dane 3). W przypadku gdy takie dane nie są dostępne można posłużyć się:

- 1) mapą topograficzną z warstwicami (BDOT10k) w skali 1:10000 z portalu **mapy.geoportal.gov.pl**. Mapa może być użyteczna w charakterystyce przekrojów poprzecznych (rys. 17) i przekroju podłużnego ciek (rys. 18) na odcinku spodziewanej cofki wody w cieku,
- 2) Mapą Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP10k) w skali 1:10000 z naniesionymi granicami zlewni cieków i ich powierzchniami.

W oparciu o te mapy oraz mapy topograficzne z warstwicami (BDOT10k) można wyznaczyć granice zlewni w przekroju planowanej inwestycji piętrzącej wodę w cieku, a następnie pomierzyć pole F powierzchni tej zlewni. (Otworzyć stronę internetową: <https://dane.gov.pl/pl/dataset/2167.mapa-podzialu-hydrograficznego-polski-w-skali-110>)

4.1.3. Realizacja obliczeń z przykładem

Obliczenia powinny być prowadzone zgodnie z instrukcją dołączoną do programu komputerowego. Obliczenia rzędnych W_s i W , odpowiednio zwierciadła wody (zw.w.) spiętrzonej i niespiętrzonej w cieku, oraz zasięgu spiętrzenia L_s wykonuje się na podstawie wielkości oznaczonych w główce tabeli ekranu komputera (Ryc. 1) symbolami: L , D , Q , b_1 , b_2 , m_1 , m_2 , m_3 , h_1 , h_2 , n , W_s . Symbole te oznaczają:

L – odległość przekroju poprzecznego cieku od budowli piętrzącej wodę w cieku lub od ujścia cieku do zbiornika z budowlą piętrzącą (rys.18), m,

D – rzędna dna cieku (rys. 17 i 18), m n.p.m.,

Q – natężenie charakterystycznego przepływu wody w cieku, domyślnie przepływu średniego niskiego SNQ w 1. przekroju, m^3/s ,

b_1 , b_2 – szerokość cieku odpowiednio w dnie i górze (rys. 17), m,

m_1 , m_2 , m_3 - współczynniki nachylenia skarpy: odpowiednio dolnej, środkowej i górnej (rys. 17),

h_1 , h_2 – odpowiednio pierwsza głębokość cieku (wysokość skarpy dolnej i druga głębokość cieku (łącznie wysokość skarpy dolnej i górnej (rys. 17), m,

n – współczynnik szorstkości do wzoru Manninga (możliwe wartości są podane w zał. Z1 i wyświetlane na ekranie komputera),

Tl , Tr – rzędna odpowiednio brzegu lewego i brzegu prawego cieku (rys. 17), m n.p.m.,

W_s – rzędna zwierciadła wody spiętrzonej w 1. przekroju (normalny poziom piętrzenia NPP) m n.p.m. Wartości W_s w pozostałych przekrojach są obliczane komputerowo.

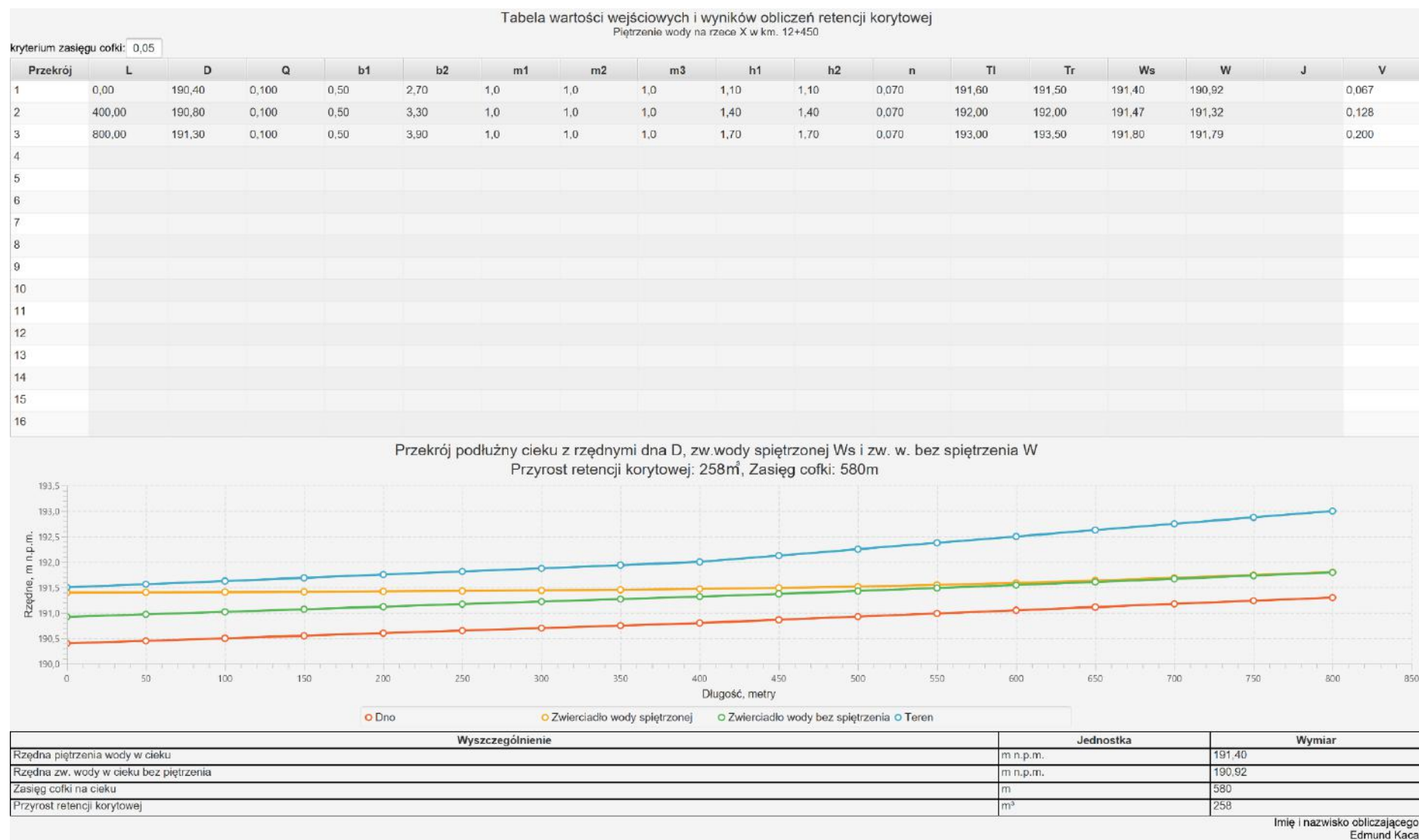
Rzędne W zwierciadła wody niespiętrzonej we wszystkich przekrojach cieku są obliczane komputerowo.

W przypadku koryt trapezowych o nachyleniu skarp 1: m i głębokości h w kolumnach m_1 , m_2 i m_3 tabeli ekranu komputera wpisuje się wartości m , w kolumnach h_1 i h_2 wartości h , zaś w kolumnie b_2 wartości wyliczone ze wzoru $b_2 = b_1 + 2mh$.

Przykładowe wartości wielkości wejściowych i wyników będących rezultatem obliczeń komputerowych są przedstawione na rycinie komputerowej (ryc. 1).

Przykład (ryc. 1)

Przykład dotyczy obliczeń przyrostu retencyjności korytowej cieku X spowodowanej spiętrzeniem w nim wody. Ciek ten oraz położenie budowli piętrzącej zlokalizowano na Mapie Podziału Hydrograficznego Polski MPHP10k nałożonej na mapę topograficzną BDOT10k. Brano pod uwagę odcinek cieku o długości 800 m w górę od budowli piętrzącej. Odcinek ten scharakteryzowano w trzech przekrojach poprzecznych, tuż przed budowlą ($L = 0,00$ m) oraz w odległości 400 i 800 m (Ryc. 1). Rzędne terenu na brzegu lewym Tl i brzegu prawym, odpowiednio Tl i Tr , w tych przekrojach odczytano z mapy topograficznej z warstwicami BDOT10k.



Ryc. 1. Wartości wejściowe i wyniki obliczeń retencji korytovej (zrzut z ekranu komputera)

Prowadząc wizję lokalną stwierdzono, że koryto ciekę na tym odcinku ma kształt trapezu i charakteryzuje się szerokością w dnie $b = 0,5$ m, nachyleniem skarp $1: m = 1:1$, co było zgodne z projektem regulacji tej rzeki. Z projektu odczytano rzędne d dna rzeki w poszczególnych przekrojach. Na podstawie rzędnych terenu i rzędnych dna rzeki obliczono głębokości h koryta, które wyniosły od 1,1 do 1,7 m. Obliczenia prowadzono przy założeniu, że charakterystyczny przepływ wody w ciekę wynosi $Q = 0,1$ m³/s, gdyż powierzchnia zlewni tej rzeki w przekroju budowli wynosi 100 km² (pomiar wykonano na mapie MPHP10k) a odpływ jednostkowy wody ze zlewni odczytany z mapy w załączniku wynosi $q = SNq = 1,00$ dm³/(s·km²). Założono, że ze względów ekologicznych koryto rzeki będzie mało intensywnie utrzymywane, co wg tabeli Z1 w Załączniku charakteryzuje współczynnik szorstkości o wartości $n = 0,07$. Z założeń projektowych inwestycji wynika, że na budowli woda będzie piętrzona na rzędnej $Ws = 191,40$ m n.p.m. Jest to normalny poziom piętrzenia NPP.

Obliczony przebieg zwierciadła wody niespiętrzonej (rzędne W) i spiętrzonej (rzędna Ws) na długości odcinka ciekę przedstawiono na rycinie 1. Z ryciny tej (łącznie z tabelą) wynika, że zasięg spiętrzenia (cofki) wody w ciekę wyniesie 580 m, a przyrost retencji 258 m³.

4.2. Metoda obliczania przyrostu powierzchni i retencyjności glebowo-gruntowej użytków pod wpływem piętrzenia wody w małym drenującym ciekę/zbiorniku

Jedną z możliwości poprawy stosunków wodnych w dolinach jest retencjonowanie wody w gruncie przyległym do cieków wodnych i zbiorników z piętrzoną w nich wodą. W tym przypadku tworzony jest dodatkowy potencjał retencyjny terenów przyległych oraz dodatkowa retencja glebowo-gruntowa, która może pełnić różne funkcje. Z punktu widzenia rolnictwa najważniejsze są funkcje gospodarcze i środowiskowe. Przyrost retencyjności glebowo-gruntowej tych obszarów nie jest stały, ale zależy m.in. od przyrostu wysokości piętrzeń wody w drenującym ciekę/zbiorniku oraz od intensywności tego drenażu. Im przyrost piętrzenia lub intensywności drenującego wpływu rzeki/zbiornika jest większy tym większy będzie ten przyrost.

Obliczenia są wykonywane komputerowo, w oparciu o łatwo dostępne w Internecie charakterystyki glebowo-gruntowe i hydrogeologiczne pierwszej warstwy wodonośnej oraz o warunki hydrologiczne obszaru. W rozdziale 4.2.3. opisano proces obliczeń oraz scharakteryzowano go na dwóch przykładach obliczeniowych.

4.2.1. Założenia metody

Obliczanie przyrostu powierzchni i retencyjności glebowo-gruntowej użytków pod wpływem piętrzenia wody w małym drenującym ciekę/zbiorniku dotyczy obszarów o nie złożonych i jednorodnych warunkach hydrogeologicznych oraz obszarów położonych niezbyt daleko od małego, drenującego ciekę/zbiornika. Są to ciekę o szerokości w dnie do ok. 5 (10) m i wysokości piętrzeń do ok. 3 m oraz małe zbiorniki drenujące (małe jeziora, stawy, zbiorniki kopane) o pojemności do 0,5 mln m³ (1 mln m³). W terenie przyległym do ciekę/zbiornika warstwa wodonośna sięga powierzchni terenu i znajduje się na warstwie nieprzepuszczalnej o spągu poziomym lub pochylonym lekko na odcinkach. W warstwie wodonośnej częściowo (niezupełnie) lub całkowicie (zupełnie) zagłębione jest drenujące wodę koryto ciekę lub czasza zbiornika

W metodzie zakłada się m. in., że:

- w warstwie wodonośnej płynie woda gruntowa ze swobodnym zwierciadłem w kierunku prostopadłym do linii brzegowej cieku/zbiornika zadaną jednostkową intensywnością q ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$). Na obszarze ze spiętrzoną wodą gruntową odpływ ten jest zredukowany i wynosi $q \cdot q_s$, gdzie q_s jest współczynnikiem redukcji,
- przy odpływach q wody ze zlewni spiętrzona woda gruntowa nie wychodzi na powierzchnię terenu, czyli nie pojawia się (wyraźne) zastoisko wody (podtopienie),
- zasięg cofki (spiętrzenia) wody gruntowej kończy się w punkcie terenu, w którym różnica ustabilizowanych poziomów wody gruntowej spiętrzonej i nie spiętrzonej jest równa wartości zadanej, albo też na granicy zlewni cieku/zbiornika.

W przypadku obliczeń przyrostu pola powierzchni i retencyjności glebowo-gruntowej użytków rolnych, leśnych i in. pod wpływem piętrzenia wody w małym cieku/zbiorniku w wyniku realizacji inwestycji/działań w ramach PROW 2014-2020 oraz w ramach PS WPR 2023-2027 i KPO domyślnie zakłada się, że jednostkowa intensywność q ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) jest równa średniemu niskiemu odpływowi (SNq , $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$), tzn. $q = SNq$ (rys. 19). Na obszarze ze spiętrzoną wodą gruntową odpływ ten jest zredukowany, domyślnie – zerowy ($q_s = 0$, $SNq_s = 0 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$). Ponadto zakłada się, że zasięg cofki (spiętrzenia) wody gruntowej kończy się w punkcie terenu, w którym różnica ustabilizowanych poziomów wody gruntowej spiętrzonej i nie spiętrzonej jest w przybliżeniu równa 0,10 m.

4.2.2. Dane do obliczeń i ich źródła

Do podstawowych danych, na podstawie których można wykonać obliczenia przyrostu powierzchni i retencyjności glebowo-gruntowej użytków pod wpływem piętrzenia wody w małym drenującym cieku/zbiorniku należą:

- 1) mapa sytuacyjno-wysokościowa, najlepiej w skali 1:10000, z naniesionym ciekiem/zbiornikiem i z lokalizacją budowli piętrzącej oraz z terenami (działkami gruntów) przyległymi na których oczekuje się przyrostu spiętrzenia wody gruntowej, albo też mapa topograficzna z warstwicami (BDOT10k) w skali 1:10000 na portalu **mapy.geoportal.gov.pl**.
- 2) mapa glebowo-rolnicza w skali 1:5000 (1:10000, 1:25000) na portalu **mapy.geoportal.gov.pl** (w zakładce mapy tematyczne) z rodzajami i gatunkami gleb, odzwierciadlająca teksturę gleby - budowę granulometryczną profilu gleb,
- 3) szczegółowa mapa geologiczna (SMGP – skany map) w skali 1:10000, na portalu **geologia.pgi.gov.pl** z zaznaczoną litologią (zbiór cech i właściwości skał - gruntów) oraz z zaznaczonymi i opisanymi wybranymi otworami,
- 4) mapa hydrogeologiczna pierwszej warstwy wodonośnej (skrót nazwy: MHP-PPW-WH – występowanie hydrodynamika) w skali 1:50000 na portalu **geologia.pgi.gov.pl** z zaznaczonymi głębokościami do pierwszego poziomu wodonośnego (do zwierciadła wody), litologią i stratygrafią tego poziomu,
- 5) Mapa Podziału Hydrograficznego Polski (MHP10k) z naniesionymi granicami zlewni cieków w skali 1:10000 (dostępna ze strony: <https://dane.gov.pl/pl/dataset/2167,mapa-podzialu-hydrograficznego-polski-w-skali-110>).

Na mapie hydrograficznej MHP-PPW-WH nie podaje się miąższości warstwy wodonośnej pierwszego poziomu, która jest niezbędna w obliczeniach. Warstwę tę tworzą utwory łatwo

przepuszczalne dla wody, w szczególności żwiry i piaski. Miąższość tę można pomierzyć wykonując odwierty, pozyskać z dokumentacji geotechnicznej wymaganej w projekcie inwestycji, ocenić na podstawie wywiadów z wykonującymi odwierty studzienne itp. Przydatne mogą być dane zawarte Banku HYDRO, w którym jest podana stratygrafia wykonanych w Polsce odwiertów. Jeżeli ze szczegółowej mapy geologicznej SMGP wynika, że powierzchnia terenu jest zbudowana z utworów przepuszczalnych, to tymczasowo za miąższość tę można uznać największą głębokość do pierwszego poziomu wodonośnego odczytaną z mapy hydrogeologicznej pierwszej warstwy wodonośnej MHP-PPW-WH. Jeżeli tak oszacowana miąższość jest mniejsza niż 5 metrów to można przyjąć, że miąższość ta wynosi 5 m. Głębokość do spągu warstwy wodonośnej pod powierzchnią terenu będzie równa tak oszacowanej miąższości. Jeżeli utwory geologiczne są zbudowane z utworów słabo lub nieprzepuszczalnych (iły, gliny) to spiętrzenie wody w ciek/zbiorniku będzie miało mały (praktycznie zerowy) wpływ na tereny przyległe.

4.2.3. Realizacja obliczeń z przykładami

Obliczenia powinny być prowadzone zgodnie z instrukcją dołączoną do programu komputerowego. W obliczeniach wyróżnia się dwa przypadki:

- 1) woda jest piętrzona w gruncie w wyniku piętrzenia wody w cieku,
- 2) woda jest piętrzona w gruncie w wyniku piętrzenie wody w zbiorniku.

Obliczenia komputerowe poprzedza się wyznaczeniem na mapie topograficznej z warstwicami zazwyczaj jednego przekroju hydrogeologicznego prostopadłego do linii brzegowej ciek/zbiornika. Powinien on charakteryzować przeciętne warunki glebowo-gruntowe (hydrogeologiczne), hydrologiczne (odpływ jednostkowy) i topograficzne na całej powierzchni pod wpływem piętrzenia wody w ciek/zbiorniku. W przypadku ciek początek tego przekroju (tzw. punkt A) jest oddalony od budowli piętrzącej na odległość równą $1/3$ zasięgu cofki wody w ciek. W przypadku spiętrzonego jeziora, powodującego spiętrzenie wody w ciek odległość ta liczy się od ujścia ciek do jeziora.

Obliczenia przyrostu powierzchni i retencyjności wykonuje się na podstawie znanej rzędnej W_A (m n.p.m.) wody niespiętrzonej i rzędnej W_{SA} (m n.p.m.) wody spiętrzonej w ciek/zbiorniku na początku przekroju hydrogeologicznego (rys. 4). W przypadku zbiornika (stawu) kopanego za rzędną W_A wody niespiętrzonej przyjmuje się rzędną zwierciadła wody gruntowej w lokalizacji zbiornika w roku suchym (w pobliskich ciekach będą przepływy średnie niskie SNQ). Gdy zbiornik (staw) jest ogroblowany, a spiętrzona w nim woda znajduje się nieco ponad terenem (max 1 metr), do obliczeń pola powierzchni terenu pod wpływem piętrzenia wody w zbiorniku oraz przyrostu retencji glebowo-gruntowej przyjmuje się rzędną W_{SA} zwierciadła wody spiętrzonej równą rzędnej terenu, pomniejszoną o minimalną normę odwodnienia z_{Min} . Przyrost retencji w zbiorniku oblicza się na podstawie rzędnej zwierciadła wody niespiętrzonej i rzędnej wody spiętrzonej w zbiorniku.

Do obliczeń niezbędna jest również informacja o odległości L (m) od linii brzegowej ciek/zbiornika do granicy zlewni ciek/zbiornika, mierzonej wzdłuż linii przekroju hydrogeologicznego oraz informacje o wartości odpływu jednostkowego q ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) wody ze zlewni i o wartości q_s współczynnikiem redukcji tego odpływu z obszaru ze spiętrzoną wodą

gruntową. W przypadku obliczeń dotyczących zbiornika wymagana jest informacja o polu (ha) powierzchni zbiornika.

Do obliczeń wymagane są następujące charakterystyki hydrogeologiczne i glebowo-gruntowe w poszczególnych profilach przekroju hydrogeologicznego (rys. 20):

x - odległość profilu od linii brzegowej cieku/zbiornika, m,

T - rzędna terenu, m n.p.m.,

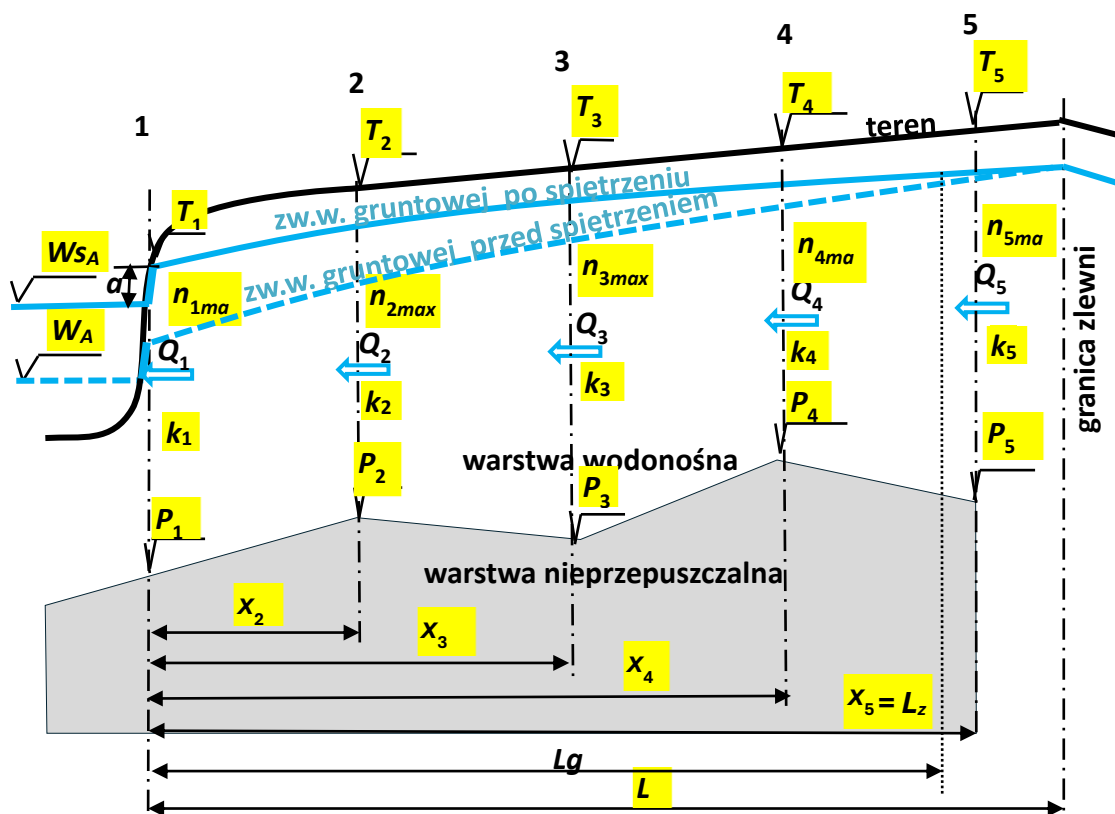
P - rzędna spągu warstwy wodonośnej, m n.p.m.,

k - średni współczynnik filtracji warstwy wodonośnej (orientacyjne wartości podano w tab. Z2 w załączniku), m/d,

n_{Max} - współczynnik porowatości efektywnej (drenażowej) gruntu/gleby (orientacyjne wartości podano w tab. Z3 w załączniku) (-),

z_{Min} - minimalna norma odwodnienia gleby (orientacyjne wartości podano w tab. Z4 i Z5 w załączniku), m,

zp - skuteczny zasięg podsiąku kapilarnego w glebie (orientacyjne wartości podano w tab. Z4 i Z5 w załączniku), m,



Rys. 20. Płytki przekrój hydrogeologiczny z pełnym zestawem danych niezbędnych do obliczania położenia zwierciadła wód gruntowych w jednorodnej warstwie wodonośnej przy znanym natężeniu przepływu wody Q w profilach warstwy wodonośnej. Wielkości na żółtym tle są wymagane i pochodzą z odczytów z map tematycznych, bezpośrednich pomiarów, założeń, obliczeń lub szacunków. Niektóre oznaczenia: W_A, W_{SA} - rzędne zwierciadła wody w cieku/zbiorniku odpowiednio przed i po spiętrzeniu, a - wysokość warstwy ociekania wody po skarpie cieku/zbiornika, k - współczynniki filtracji warstwy wodonośnej, n - współczynniki porowatości efektywnej, T, P - rzędne odpowiednio terenu i spągu warstwy wodonośnej, x - odległości profili od brzegu cieku/zbiornika, L - odległość granicy zlewni od brzegu cieku/zbiornika, L_z - odległość ostatniego profilu w przekroju hydrogeologicznym od linii brzegowej cieku/zbiornika, L_g - zasięg skutecznego spiętrzenia wody gruntowej w terenie przyległym do cieku/zbiornika. Indeksy przy zmiennych oznaczają numery profili (Oprac. E. Kaca)

Na podstawie czterech pierwszych wielkości (x , T , P , k) wyznacza się pole powierzchni użytków rolnych/leśnych i in. pod wpływem piętrzenia wody w cieku/zbiorniku. Przyrost retencyjności oblicza się na podstawie wszystkich wielkości z wyłączeniem wielkości z_{Min} . Wielkość ta, wraz z wielkością z_p , służy jako kryterium oceny uwilgotnienia gleb łukowych (dolinowych) po spiętrzeniu wody gruntowej. Wyróżnia się uwilgotnienie: zbyt duże, zbyt małe i odpowiednie.

W przypadku, gdy warunki na obszarze pod wpływem piętrzenia nie są jednorodne, np. dolina po jednej stronie cieku/zbiornika charakteryzuje się wyraźnie innymi warunkami topograficznymi, glebowymi, hydrogeologicznymi i hydrologicznymi niż dolina po drugiej stronie cieku/zbiornika to na obszarze oddziaływania piętrzenia należy przewidzieć i analizować dodatkowe przekroje hydrogeologiczne. W tym przypadku niezbędne są dodatkowe informacje do obliczeń identyczne do tych, które opisano w przypadku jednego przekroju hydrogeologicznego.

Przykład 2 (ryc. 2)

Przykład nawiązuje do przykładu 1. i dotyczy obliczeń przyrostu pola powierzchni użytków rolnych i retencyjności glebowo-gruntowej pod wpływem przyrostu piętrzenia wody w rzece X. Przyrosty te obliczono w oparciu o dane z przykładu 1. oraz o charakterystyki glebowo-gruntowe i topograficzne terenu. Brano pod uwagę prostopadły do linii brzegowej rzeki przekrój hydrogeologiczny o długości 800 m. Początek tego przekroju znajduje się w odległości $1/3 \cdot 580 = 196$ m od budowli piętrzącej w górę rzeki. W tym miejscu rzędne zwierciadła wody spiętrzonej i niespiętrzonej wynoszą odpowiednio $W_{SA} = 191,42$ m n.p.m. i $W_A = 191,11$ m n.p.m. Odległość L linii brzegowej rzeki od granicy zlewni wzdłuż linii przekroju hydrogeologicznego wynosi 2000 m, a jednostkowy odpływ wody ze zlewni $q = 1,00 \text{ dm}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$.

W przekroju hydrogeologicznym wyróżniono trzy profile hydrogeologiczne odległe od linii brzegowej rzeki na odległość 0, 400 i 800 m. Warunki panujące w tych profilach scharakteryzowano posługując się mapami. Rzędne T terenu określono na podstawie mapy topograficznej z warstwicami BDOT10k, rzędne P spągu warstwy wodonośnej na podstawie rzędnych T terenu oraz na podstawie miąższości tej warstwy oszacowanej w oparciu o dane ze szczegółowej mapy geologicznej SMGP oraz z mapy hydrogeologicznej pierwszej warstwy wodonośnej MHP-PPW-WH. Do oszacowania wartości współczynnika filtracji k warstwy wodonośnej wykorzystano szczegółową mapę geologiczną SMGP i mapę hydrogeologiczną MHP-PPW-WH oraz tabelę Z1 (w załączniku) zależności współczynnika filtracji od składu granulometrycznego (litologii) warstwy. Wartości pozostałych charakterystyk (n_{Max} , z_{Min} , z_p) określano na podstawie mapy glebowo-rolniczej posługując się tabelami Z3, Z4 i Z5 (w załączniku).

Z przeprowadzonych wyliczeń wynika, że pod wpływem piętrzenia wody w rzece X znajduje się obszar o powierzchni 27,53 ha użytków rolnych, a przyrost retencji glebowo-gruntowej wyniesie $11\,778 \text{ m}^3$, tj. 43 mm. Łącznie w korycie rzeki i w gruncie można zgromadzić $12\,036 \text{ m}^3$ wody przy jednostkowym odpływie q wody ze zlewni wynoszącym $1,00 \text{ dm}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$.

Przykład 3 (ryc. 3)

Przykład 3. dotyczy obliczeń przyrostu pola powierzchni użytków rolnych i retencyjności glebowo-gruntowej pod wpływem przyrostu piętrzenia wody w stawie X o powierzchni 0,5 ha.

Część V - Melioracje precyzyjne w kształtowaniu retencji wodnej

Tabela wartości wejściowych i wyników obliczeń retencji glebowo-gruntowej

Piętrzenie wody na rzece X w km. 12+450

Piętrzenie wody na budowli piętrzącej w cieku

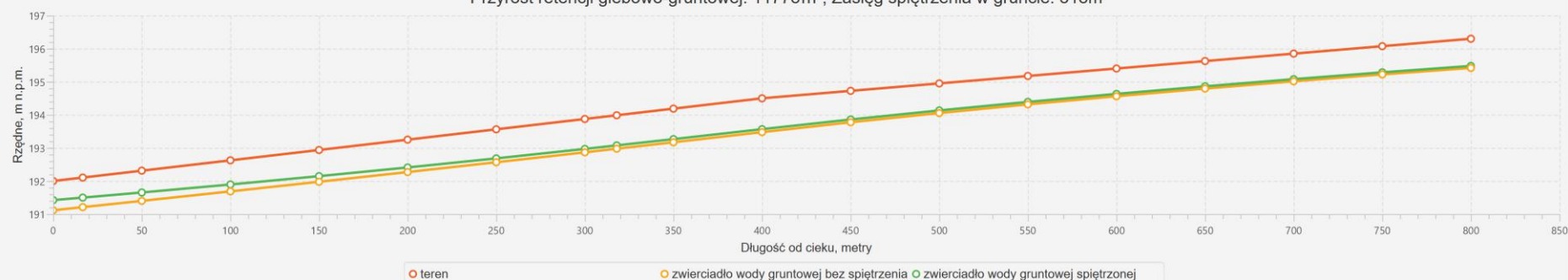
współczynnik cofki: 0,33 Odległość od brzegu do granicy zlewni, m: 2000,00 Odpływ jedn. q, l/s/km2: 1,00 współczynnik qs: 0,00 kryterium zasięgu: 0,10 spód z, m: 0,00

WsA: 191,42

WA: 191,11

Profil	x	T	P	k	nMax	zMin	zp	Ws'	W'	Uwilgotnienie
1	0,00	192,00	185,00	5,00	0,29	0,40	1,00	191,42	191,12	odpowiednie
2	400,00	194,50	189,00	5,00	0,29	0,40	1,00	193,57	193,48	odpowiednie
3	800,00	196,30	190,00	5,00	0,29	0,40	1,00	195,48	195,42	odpowiednie
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Rzędne terenu (T) oraz zw.wody gruntowej przed (W') i po (Ws') spiętrzeniu
Przyrost retencji glebowo-gruntowej: 11778m³ , Zasięg spiętrzenia w gruncie: 318m



Wyszczególnienie	Jednostka	Wymiar
Retencja korytowa		
Rzędna piętrzenia wody w cieku	m n.p.m.	191,40
Rzędna zw. wody w cieku bez piętrzenia	m n.p.m.	190,92
Zasięg cofki na cieku	m	580
Przyrost retencji korytowej	m ³	258
Retencja glebowo-gruntowa od piętrzenia wody w cieku		
Odległość przekroju hydrogeologicznego od piętrzenia	m	191,40
Jednostkowy przyrost retencji	m ³ /ha	428
Zasięg spiętrzenia wody gruntowej	m	318
Pole powierzchni na którą oddziałuje piętrzenie wody w cieku	ha	27,53
Przyrost retencji glebowo-gruntowej od korytowej	m ³	11 778
Przyrost retencji glebowo-gruntowej od korytowej	mm	43,00
Retencja korytowa i glebowo-gruntowa		
Przyrost retencji	m ³	12 036

Imię i nazwisko obliczającego:
Edmund Kaca

Ryc. 2. Wartości wejściowe i wyniki obliczeń retencji korytowej i glebowo-gruntowej (zrzut z ekranu komputera)



Ryc. 3. Wartości wejściowe i wyniki obliczeń retencji stawowej i glebowo-gruntowej (zrzut z ekranu komputera)

Z założeń projektowych stawu wynika, że rzędne zwierciadła wody spiętrzonej i niespiętrzonej w stawie wyniosą odpowiednio $W_{SA} = 191,40$ m n.p.m. i $W_A = 190,92$ m n.p.m. (ryc. 3). Brano pod uwagę prostopadły do linii brzegowej stawu przekrój hydrogeologiczny o długości 800 m. Odległość L linii brzegowej stawu od granicy zlewni wzdłuż linii przekroju hydrogeologicznego wynosi 800 m, a jednostkowy odpływ wody ze zlewni stawu $q = 1,00$ $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$. W przekroju hydrogeologicznym wyróżniono trzy profile hydrogeologiczne odległe od linii brzegowej stawu na odległość 0, 400 i 800 m. Warunki panujące w tych profilach scharakteryzowano posiłkując się mapami. Rzędne T terenu, rzędne P spągu warstwy wodonośnej, wartości współczynnika filtracji k i wartości pozostałych charakterystyk (n_{Max} , z_{Min} , z_p) określano jak w przykładzie 2.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że pod wpływem piętrzenia wody w stawie X znajdzie się obszar o powierzchni 38,40 ha użytków rolnych, a przyrost retencji glebowo-gruntowej wyniesie 11 195 m^3 , tj. 29 mm. Łącznie w czaszy stawu i w gruncie można dodatkowo zgromadzić 13 595 m^3 wody przy jednostkowym odpływie q wody ze zlewni stawu wynoszącym 1,00 $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$.

4.3. Metoda obliczania przyrostu retencyjności glebowo-gruntowej użytków pod wpływem modernizacji systemów odwadniających

Przedmiotem metody jest glebowo-gruntowa retencyjność odwadnianego i nawadnianego obszaru doliny cieku/zbiornika. Pod tym pojęciem rozumie się zdolność do gromadzenia wody w ośrodku glebowo-gruntowym użytków rolnych (łąk i pastwisk trwałych) z systematyczną siecią rowów/drenów wyposażonych w budowle piętrzące wodę.

Retencyjność glebowo-gruntowa (zdolność do gromadzenia wody) posiada swoją miarę. Jest nią maksymalna ilość wody, wyrażona w mm lub w m^3/ha , jaka może być zatrzymana w glebie i wykorzystana przez rośliny uprawne. Inną miarą tej wielkości jest powierzchnia zmeliorowanych użytków rolnych na których możliwe jest kształtowanie ilości zasobów wodnych. Im większa ta ilość/powierzchnia tym większe możliwości przeciwdziałania skutkom suszy rolniczej oraz tym większa możliwość redukcji odpływu związków chemicznych, w tym nawozowych do wód gruntowych, a za ich pośrednictwem do wód powierzchniowych.

Zaprezentowana metoda jest oprogramowana, co umożliwia w prosty sposób obliczyć przyrost potencjału retencyjnego zmeliorowanych użytków rolnych, szczególnie trwałych użytków zielonych. Obliczenia prowadzi się na podstawie ogólnie dostępnych danych oraz mapy sytuacyjno-wysokościowej modernizowanego systemu melioracyjnego z zaznaczonymi budowlami piętrzącymi wodę. Obliczenia wykonuje się komputerowo. Na końcu rozdziału 4.3.3. omówiono sposób prowadzenia obliczeń oraz podano przykład.

4.3.1. Zastosowanie metody i jej założenia

Wg przedmiotowej metody można szacować przyrost glebowo-gruntowej retencyjności obszaru powstałej w wyniku modernizacji systemów odwadniających, poprzez doposażenie tych systemów w urządzenia piętrzące wodę (zastawki, przepusty z piętrzeniem, mnichy), a niekiedy również w doprowadzalniki wody.

Będą brane pod uwagę modernizowane systemy melioracyjne na trwałych użytkach zielonych wyposażone w wyniku modernizacji w systematyczną sieć rowów i/lub drenów, z wodą doprowadzaną doprowadzalnikami z zewnątrz obiektu (rys. 21, jak również obszary nawadniane z cieką pełniącą funkcję i doprowadzalnika i odbiornika wody oraz funkcję nawadniająco-odwadniającą (rys. 6). Zakłada się, że utwór glebowy i podglebie stanowią w miarę jednorodną warstwę wodonośną na nieprzepuszczalnym podłożu. Na rys. 21 i 22 przedstawiono schematy map sytuacyjno-wysokościowych z systemami melioracyjnymi już zmodernizowanymi, wyposażonymi nie tylko w urządzenia do regulacji piętrzenia i natężenia poboru i upustu wody, ale również w szereg urządzeń kontrolno-pomiarowych, w tym w studzienki obserwacyjne do pomiaru głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w środku łanu między rowami i w linii brzegowej rowów. Zmeliorowane obiekty podzielono na obszary A, B, C...wyraźnie różniące się między sobą warunkami glebowo-gruntowymi (miąższość i przepuszczalność gruntowej warstwy wodonośnej oraz skład granulometryczny gleby) i rozwiązaniami melioracyjnymi (rozstawy i wymiary rowów). Na każdym obszarze znajduje się jedna (rys. 22) lub kilka (rys. 21) budowli piętrzących wodę w rowach. Woda na budowlach jest piętrzona równo z powierzchnią terenu. Każdy z obszarów posiada wyraźną granicę skutecznego zasięgu piętrzenia wody w rowach. Granica ta w linii rowów/drenów pokrywa się z linią warstwy terenu o rzędnej równej normalnemu poziomowi piętrzenia NPP wody na budowli, powiększonej o wartość wielkości Δ . Wielkość Δ będzie nazywana wskaźnikiem zasięgu piętrzenia wody w rowach/drenach. Oznacza on przyjętą dopuszczalną największą głębokość zalegania zwierciadła spiętrzonej wody w rowach (linii ciśnienia piezometrycznego wody w drenach) poniżej powierzchni terenu. Na ogół przyjmuje się, że $\Delta = (0,3 \div 0,5)$ m. Domyślnie przyjmuje się, że $\Delta = 0,4$ m. Uważa się, że nawodnienie nie jest skuteczne, gdy zwierciadło wody w rowach/linia ciśnień piezometrycznych wody w drenach układa się głębiej niż Δ pod powierzchnią terenu. Im większa jego wartość tym większa nierównomierność, a jednocześnie większy zasięg skutecznego nawodnienia. W przypadku, gdy na obszarze woda jest piętrzona na kilku budowlach piętrzących (rys. 1), jedna z nich jest wybrana jako reprezentatywna dla obszaru.

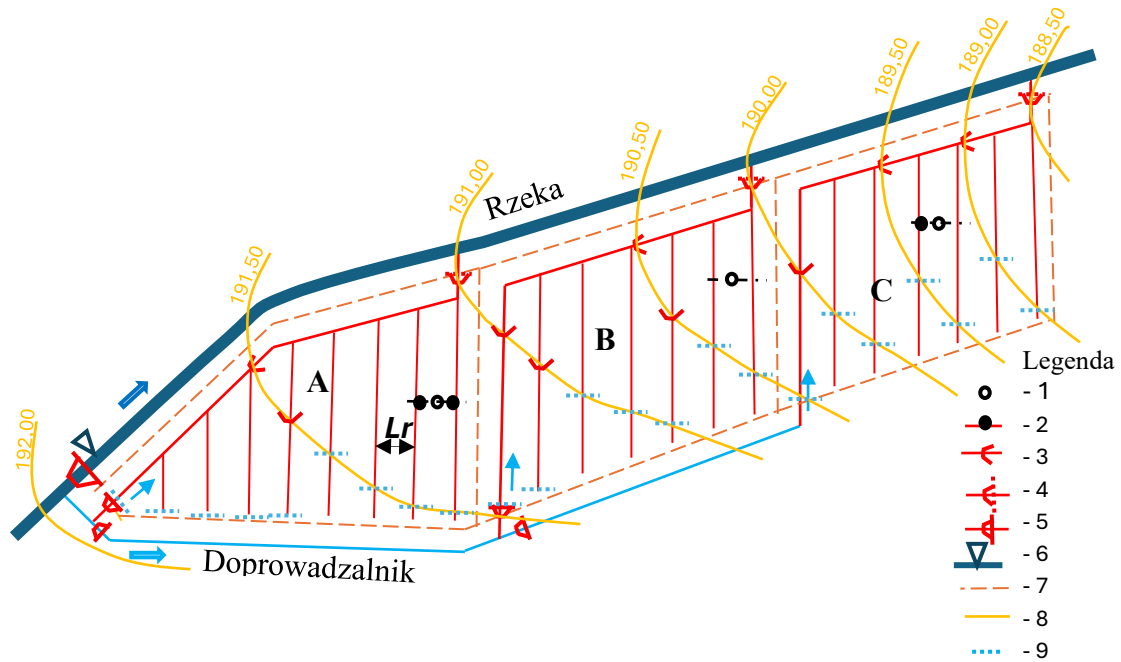
4.3.2. Dane do obliczeń i ich źródła

W szacowaniu glebowo-gruntowej retencyjności obszaru powstałej w wyniku modernizacji systemów melioracyjnych proponuje się dwa etapy postępowania:

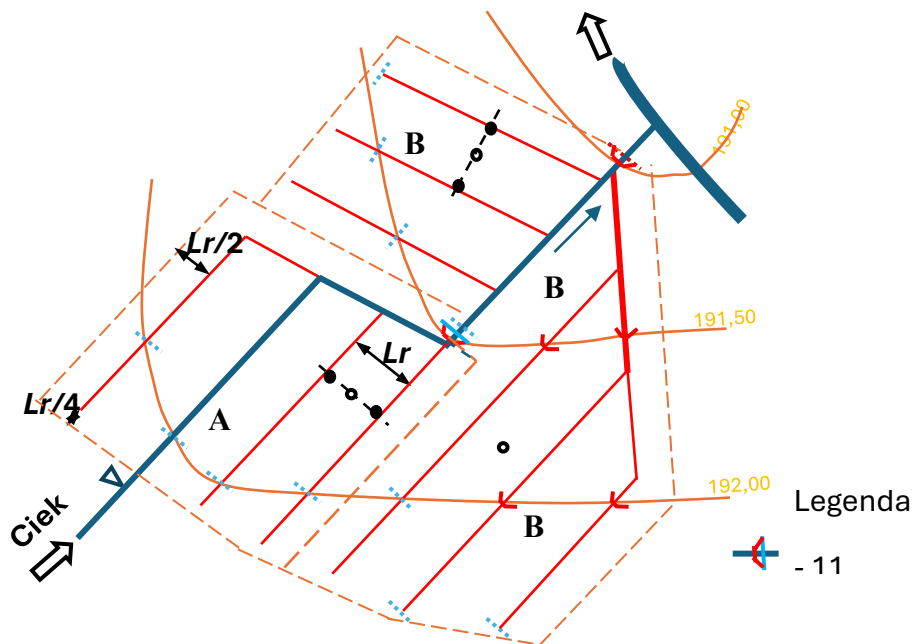
- 1) etap pracy na planach sytuacyjno-wysokościowych oraz na dostępnych danych np. zawartych w Internecie,
- 2) etap obliczeń na komputerze wg opracowanego w ITP-PIB programu o nazwie RETENCJA.

W ramach pierwszego etapu należy:

1. Ustalić wartości wskaźnika Δ zasięgu piętrzenia wody w rowach/drenach na obiekcie. Wskaźnik Δ oznacza przyjętą dopuszczalną największą głębokość zalegania zwierciadła spiętrzonej wody w rowach (linii ciśnienia piezometrycznego wody w drenach) poniżej powierzchni terenu. Na ogół przyjmuje się, że $\Delta = (0,3 \div 0,5)$ m. Uważa się, że nawodnienie nie jest skuteczne, gdy zwierciadło wody w rowach/linia ciśnień piezometrycznych wody w drenach układa się głębiej niż Δ pod powierzchnią terenu,



Rys. 21. Obiekt odwadniany rowami po modernizacji z wydzielonymi jednorodnymi obszarami A, B, C: 1 – studzienka obserwacyjna, 2 – studzienka obserwacyjna w linii brzegowej rowu/w linii drenu, 3 – zastawka piętrząca, przepust z piętrzeniem, mnich z regulacją piętrzenia wody, 4 – upust wody z regulacją piętrzenia i pomiarem przepływu, 5 – ujęcie wody z regulacją przepływu, 6 – profil wodowskazowy na cieku, 7 – granica obszaru, 8 – warstwica, 9 – granica zasięgu skutecznego piętrzenia wody w rowach, L_r – rozstawa rowów (Oprac. E. Kaca)



Rys. 22. Obiekt nawadniany podsiękowo z wydzielonymi obszarami A i B. L_r – rozstawa rowów, 11 – regulator piętrzenia, przepływu i przepływomierz w węźle rozrządu wody, pozostałe oznaczenia jak na rys. 21 (Oprac. E. Kaca)

2. Wyznaczyć granice zasięgu skutecznych piętrzeń wody w rowach/drenach na podstawie piętrzeń wody na budowlach piętrzących i planu sytuacyjno-wysokościowego (rys. 1 i 2). Granica zasięgu skutecznych piętrzeń od piętrzenia wody na budowli będzie pokrywać się z warstwicą terenu o rzędnej W równej rzędnej normalnego poziomu piętrzenia wody NPP na budowli, powiększonej o wskaźnik Δ zasięgu piętrzeń wody w rowach/drenach, czyli $W = NPP + \Delta$. Na rys. 1 i 2 wskaźnik $\Delta = 0,5$ m, a więc rzędna $W = NPP + 0,5$,

3. Rozpoznać warunki hydrogeologiczne i glebowe obszaru posługując się dostępnymi danymi, np. dostępną w Internecie mapą hydrogeologiczną pierwszej warstwy wodonośnej MHP PPW-WH, mapą glebowo-rolniczą, opisami płytkich otworów wiertniczych itp.,

4. Rozpoznać charakterystyki zmodernizowanego systemu melioracyjnego, takie jak: rozstawa L rowów/drenów, ich głębokości (t), wymiary (w przypadku rowów – szerokość w dnie (b), nachylenie skarp ($1:m$), a w przypadku drenów – promień (r_o) drenu z obsypką, jeżeli występuje),

5. Podzielić obiekt na obszary A, B, C,... wyraźnie różniące się między sobą miąższością i przepuszczalnością (współczynnikiem filtracji) wierzchniej warstwy wodonośnej, składem granulometrycznym gleby, rozstawą rowów/drenów i wskaźnikiem Δ zasięgu piętrzenia wody w rowach/drenach,

6. Pomierzyć L_d długość tych odcinków wszystkich rowów/drenów na każdym obszarze, które są pod wpływem skutecznych piętrzeń wody na budowlach piętrzących.

Wartość D można szacować w oparciu o dane ze szczegółowej mapy geologicznej SMGP oraz z mapy hydrogeologicznej pierwszej warstwy wodonośnej MHP-PPW-WH. Do oszacowania wartości współczynnika filtracji k warstwy wodonośnej wykorzystuje się szczegółową mapę geologiczną SMGP oraz tabelę Z2 (Zał.) zależności współczynnika filtracji od składu granulometrycznego warstwy. Wartości z_p i n_{Max} określa się na podstawie mapy glebowo-rolniczej posługując się również tabelami Z4, Z5 i Z3 (Zał.).

4.3.3. Realizacja obliczeń z przykładem

Obliczenia powinny być prowadzone zgodnie z instrukcją dołączoną do programu komputerowego RETENCJA. Podstawę do obliczeń stanowią wydzielone obszary oraz takie ich charakterystyki jak:

Symbol – zmienna jakościowa oznaczająca rodzaj urządzeń nawadniających (rowy, dreny),

L_r – przyjęta rozstawa rowów/drenów, m,

L_d – długość rowów/drenów, w których skutecznie będzie piętrzona woda, m,

t – głębokość rowów/drenów, m,

b – szerokość rowów w dnie, m,

m - wartość współczynnika nachylenia skarp rowów,

r_o – promień drenów ew. z obsypką, m,

Δ – wskaźnik nierównomierności nawodnień, m,

D – miąższość warstwy wodonośnej, m,

k – współczynnik filtracji warstwy wodonośnej, m/d,

z_p – zasięg skutecznego podsiąku kapilarnego, m,

n_{Max} – porowatość drenażowa gleby,

E – intensywność parowania z wody gruntowej, domyślnie 0,003 m/d.

Przykład 4. (ryc.4)

Przykład dotyczy przekształcenia systemu odwodnień rowami poprzez jego modernizację w system nawodnień podsiąkowych. W ramach modernizacji wybuduje się zastawki piętrzące wodę w odbudowanych rowach oraz doprowadzi wodę doprowadzalnikiem z pobliskiej rzeki X. Obiekt podzielono na trzy w miarę jednorodne obszary A, B, C. Charakterystykę (Symbol, Lr, Ld, t, b itd.) każdego obszaru podano w tabeli wartości wejściowych i wyników obliczeń (ryc. 4).

Podobnie jak w przykładach 2. i 3. wartość D określono w oparciu o dane ze szczegółowej mapy geologicznej SMGP oraz z mapy hydrogeologicznej pierwszej warstwy wodonośnej MHP-PPW-WH. Do oszacowania wartości współczynnika filtracji k warstwy wodonośnej wykorzystano szczegółową mapę geologiczną SMGP oraz tabelę Z2 (Zał.) zależności współczynnika filtracji od składu granulometrycznego warstwy. Wartości z_p i n_{Max} określono na podstawie mapy glebowo-rolniczej posługując się również tabelami Z4, Z5 i Z3 (zał.).

Na podstawie tych danych obliczono, że w wyniku modernizacji systemu odwadniającego jego potencjał retencyjny wzrośnie o 47 327 m³. tj. o 56 mm. Z potencjałem tym będzie związany obszar użytków rolnych na powierzchni $f_n = (10,00 + 8,40 + 66,30) = 84,70$ ha.

4.4. Metoda obliczania retencyjności i retencji krajobrazu rolniczego

Przez retencyjność krajobrazu rolniczego rozumie się jego zdolność do zatrzymywania wody opadowej w miejscu jej powstania, w terenie o cechach przyrodniczych i antropogenicznych charakterystycznych dla obszarów użytkowanych rolniczo. Charakterystyczną cechą krajobrazu rolniczego jest maksymalna potencjalna retencja wodna S obszaru, nazywana również potencjałem retencyjnym krajobrazu. Retencyjność ta jest związana z infiltracją wody opadowej i zatrzymywaniem jej w glebie i gruncie, a także z absorpcją wody opadowej na powierzchni roślin (intercepcja) i w mikrozagłębieniach powierzchni terenu (mikroretencja). Absorpcja ta jest nazywana krajobrazową retencyjnością inicjalną (I_a).

Retencionowana w krajobrazie woda może pełnić nie tylko funkcje gospodarcze, ale również funkcje krajobrazowe, społeczne, estetyczne itp. Miarą tej retencyjności i retencji jest ilość wody, wyrażona w mm lub w m³/ha, zatrzymanej na powierzchni, szczególnie zaś na powierzchni gospodarstwa rolnego.

Obliczenia można wykonywać komputerowo wg udostępnianego oprogramowania w EXCELU. Niezbędne są ogólnie dostępne dane charakteryzujące gospodarstwo rolne, w tym struktura użytkowania powierzchni, rodzaje gleb, rozważane warunki meteorologiczne. W rozdziale 4.2.2. szczegółowo omówiono sposób prowadzenia obliczeń oraz podano przykład.

4.4.1. Podstawy metody oraz dane do obliczeń i ich źródła

Maksymalna potencjalna retencja wodna S obszaru jest różnicą między opadem a odpływem po długim czasie trwania opadu, tj. po czasie pełnego wysycenia gleby wodą opadową. Przebieg odpływu wody uwarunkowany jest użytkowaniem i pokryciem powierzchni terenu, sposobem upraw, rodzajem gleb itp. Na początku długo trwającego i intensywnego opadu deszczu nie występuje odpływ wody opadowej po powierzchni terenu. Wraz z czasem trwania deszczu intensywność tego odpływu narasta, a po pewnym czasie staje się równa intensywności opadu. Przebieg odpływu można

Tabela wartości wejściowych i wyników obliczeń retencji melioracyjnej																		
Nawodnienia rowami w miejscowości X																		
Nr	fn	Symbol	L	Lr	Ld	t	b	1:m	ro	Δ	D	k	zp	nMax	E	zn	Rmm	R
A	10,00	Rów	100	100	1000	1,00	0,50	1,00	0,05	0,30	7,00	3,00	1,00	0,19	0,0030	0,22	90	9042
B	8,40	Rów	120	120	700	1,00	0,50	1,00	0,05	0,30	5,50	3,00	1,00	0,19	0,0030	0,27	88	7401
C	66,30	Rów	130	150	5100	1,00	0,50	1,00	0,05	0,30	5,00	1,00	1,00	0,19	0,0030	0,71	47	30884
D																		
E																		
F																		
G																		
H																		
I																		
J																		
K																		
Wyszczególnienie													Jednostka		Wymiar			
Przyrost retencji melioracyjnej													m³		47327			
Przyrost retencji melioracyjnej													mm		56			

Imię i nazwisko obliczającego:
Edmund Kaca

Ryc. 4. Wartości wejściowe i wyniki obliczeń retencji glebowo-gruntowej w systemie nawodnień rowami (zrzut z ekranu komputera)

opisać za pomocą rodziny krzywych, każda krzywa (o numerze $CN = 1 \div 100$) związana jest ze specyficznymi warunkami. Zagadnienie to zostało kompleksowo opracowane przez USDA - Soil Conservation Service (SCS) - Służbę Ochrony Gleb Departamentu Rolnictwa USA. Wyniki tych opracowań są podstawą opisanej tu metody oraz oprogramowania wykonanego w Excelu.

Oprogramowanie służy do obliczania aktualnej maksymalnej potencjalnej retencji wodnej S obszaru (potencjału retencyjnego krajobrazu), w tym użytków rolnych i całego gospodarstwa rolnego, w zależności od warunków wilgotnościowych obszaru bezpośrednio przed opadem. Może służyć również do obliczeń wysokości krajobrazowej retencyjności inicjalnej (I_a). Różnica $S - I_a$ oznacza aktualny potencjał retencyjny gleby i gruntu na rozpatrywanym obszarze.

Zgodnie z opracowaniami SCS maksymalną potencjalną retencję wodną S obszaru oraz krajobrazową retencyjność inicjalną I_a oblicza się wg wzorów:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right), \quad \text{mm} \quad (1)$$

$$I_a = 0,2 \cdot S, \quad \text{mm} \quad (2)$$

gdzie

CN oznacza bezwymiarowy parametr.

Wartość parametru CN zależy od użytkowania i pokrycia powierzchni terenu, sposobu uprawy roślin, warunków hydrologicznych, rodzaju gleb oraz od uwilgotnienia gleb (tab. 1). Przykładowo w przypadku ugoru w warunkach średniej wilgotności gleb należących do grupy A parametr $CN = 77$, a należących do grupy B parametr $CN = 86$ itd.

Tabela 1. Wartości parametru CN odpływu wody opadowej dla gleb średnio wilgotnych (wg SCS - Soil Conservation Service)

Użytkowanie i pokrycie powierzchni	Sposób uprawy	Warunki hydrologiczne	Wartość CN dla grup gleb			
			A	B	C	D
1	2	3	4	5	6	7
Ugór		złe	77	86	91	94
Rośliny okopowe	uprawy rzędowe*	złe	72	81	88	91
	j.w.	dobre	67	78	85	89
	uprawy rzędowe**	złe	70	79	84	88
	j.w.	dobre	65	75	82	86
	tarasowanie	złe	66	74	80	82
	j.w.	dobre	62	71	78	81
Rośliny zbożowe	uprawy rzędowe*	złe	65	76	84	88
	j.w.	dobre	63	75	83	87
	uprawy rzędowe**	złe	63	74	82	85
	j.w.	dobre	61	73	81	84
	tarasowanie	złe	61	72	79	82
	j.w.	dobre	59	70	78	81
Rośliny motylkowe	uprawy rzędowe*	złe	66	77	85	89
	j.w.	dobre	58	72	81	85
	uprawy rzędowe**	złe	64	75	83	85
	j.w.	dobre	55	69	78	83
	tarasowanie	złe	63	73	80	83
	j.w.	dobre	51	67	76	70

cd. tabeli 1.

1	2	3	4	5	6	7
Pastwiska		złe	68	79	86	89
		średnie	49	69	78	84
		dobre	39	61	74	80
Łąki		dobre	30	58	71	78
Zabudowa gospodarstw			59	74	82	86
Drogi gruntowe			72	82	87	89
Drogi z twardą nawierzchnią			74	84	90	92
Lasy gęste			25	55	70	77
Lasy o średniej gęstości			36	60	73	79
Lasy rzadkie			45	66	77	83
Powierzchnia nieprzepuszczalna			98	98	98	98

* uprawy rzędowe – kierunek orki niezależny od spadku zbocza; ** uprawy rzędowe wzdłuż warstw – orka równoległa do warstw (źródło: BANASIK, IGNAR (1994)⁴

Zawarte w tabeli 1. uwarunkowania wartości *CN* oznaczają:

Użytkowanie i pokrycie powierzchni oraz sposób uprawy

- ugor – użytki rolne o największym potencjale do odpływu wody, gdyż nie są pokryte roślinnością,
- rośliny okopowe i podobne – rośliny uprawiane w tak rzadkich rzędach, że powierzchnia jest bezpośrednio narażona na opad,
- drobno ziarniste (zbożowe) – rośliny uprawiane w tak gęstych rzędach, że powierzchnia nie jest bezpośrednio narażona na opad,
- rośliny motylkowe i trawy w uprawie polowej (wieloletnie) – siane w gęstych rzędach lub rozrzutem; chronią glebę przez cały rok.

Warunki hydrologiczne - określają mechaniczne zabiegi typu tarasowanie i orka względem warstw oraz praktyki zarządcze takie jak rotacja roślin (płodozmiany) i intensywność wypasu:

- **Rotacja** dotyczy roślin okopowych (rzędowych), zbożowych i roślin motylkowych lub łąk rotacyjnych. Zła rotacja to z reguły monokultura lub kombinacja roślin rzędowych, zbożowych i ugorów. Dobra rotacja to rośliny motylkowe i trawy.
- **Pastwiska**: złe, gdy są intensywnie wypasane i mniej niż połowa obszaru jest pokryta roślinnością; umiarkowanie dobre (średnie), gdy nie są intensywnie wypasane i gdy od ½ do ¾ powierzchni jest pokryta roślinnością; dobre, gdy są mało intensywnie wypasane i więcej jak ¾ powierzchni jest pokryta roślinnością.

Grupy glebowe:

- A – gleby o dużej wsiąkalności (dużej prędkości wsiąkania), nawet gdy są dokładnie zwilżone, oraz o dużej wodnej przewodności (dużym współczynnikiem filtracji): przykładowo dobrze i nadmiernie drenowane piaski i żwiry;
- B – gleby o umiarkowanej wsiąkalności, gdy są dokładnie zwilżone oraz o umiarkowanej przewodności. Np. gleby umiarkowanie dobrze do dobrze drenowane o umiarkowanie drobnej lub umiarkowanie grubej teksturze (grupa granulometryczna);

⁴ Opracowanie Soil Conservation Service, zaczerpnięte z pracy: BANASIK K., IGNAR S., 1994. Wyznaczanie hydrogramów wezbrań opadowych z nieobserwowanych małych zlewni rolniczych. Wydaw. SGGW. Warszawa.

- C – gleby o małej wsiąkalności, gdy są dokładnie zwilżone, oraz o małej przewodności. Np.: gleby uwarstwione, posiadające wkładki słabo przepuszczalne oraz gleby o umiarkowanie drobnej i drobnej teksturze;
- D – gleby o bardzo małej wsiąkalności, gdy są dokładnie zwilżone, oraz o bardzo małej przewodności. Np. gleby gliniaste z wysokim potencjałem do pęcznienia, gleby z ciągle wysokim poziomem zwierciadła wody gruntowej, gleby z płatami lub warstwami gliny blisko powierzchni, lub płytkie gleby z prawie nieprzepuszczalnego materiału.

W przypadku obszaru złożonego z powierzchni o różnych charakterystykach, czyli o różnych wartościach CN , do obliczania S całego obszaru stosuje się średnią ważoną S poszczególnych powierzchni, w której wagami są pola tych powierzchni.

Wyróżnia się trzy klasy wilgotności gleb (tab. 2). Wg SCS wilgotność gleby można ocenić na podstawie wysokości opadu deszczu w okresie pięciu dni bezpośrednio poprzedzających datę obliczanej retencyjności S . W przypadku gleb suchych (klasa I) wartości CN będą mniejsze niż CN dla gleb średnio wilgotnych (klasa II), a dla gleb wilgotnych (klasa III) będą większe. Wartości CN dla wilgotności klas gleb I i III są ściśle skorelowane (współczynnik determinacji $R^2 > 0,9997$) z wielkościami CN dla wilgotności klasy II. Zależności regresyjne tych wielkości wykorzystuje się w opracowanym programie komputerowym.

Tabela 2. Wyznaczanie klasy wilgotności gleby na podstawie opadów (wg SCS)

Klasa wilgotności gleb	Suma opadów dla 5 dni poprzedzających analizowaną retencyjność	
	Okres pozawegetacyjny	Okres wegetacyjny
I. Gleba sucha (PHW – punkt hamowania wzrostu roślin)	<13	<36
II. Gleba średnio wilgotna	13-28	36-53
III. Gleba wilgotna (PPW – połowa pojemność wodna)	>28	>53

Na podstawie branego pod uwagę opadu P oraz S można oszacować bezproduktywny odpływ V wody poza rozpatrywany obszar. Wg SCS odpływ ten wyraża się wzorem:

$$V = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad \text{gdy } P > 0,2 \cdot S, \text{ w przeciwnym przypadku } V = 0 \quad (3)$$

gdzie:

V – bezproduktywny, powierzchniowy odpływ wody opadowej, mm

P – suma opadu deszczu, mm,

S – maksymalna potencjalna retencyjność wodna obszaru na początku opadu deszczu, mm

4.4.2. Realizacja obliczeń z przykładem

Obliczenia wykonuje się na podstawie programu w Excelu. Danymi wejściowymi (tab. 3) w programie są pola powierzchni obszarów składających się na cały obszar gospodarstwa albo użytków rolnych gospodarstwa, różnicowanych przez użytkowanie i pokrycie powierzchni terenu, sposób uprawy roślin, warunki hydrologiczne i rodzaj gleb.

Tabela 3. Szablon danych wejściowych (żółte tło) do obliczeń komputerowych i wyniki obliczeń (brązowe tło) retencyjności krajobrazowej gospodarstwa

Użytkowanie i pokrycie powierzchni	Sposób uprawy	Warunki hydrologiczne	Powierzchnia dla grup gleb, ha			
			A	B	C	D
Ugór		złe				
Rośliny okopowe	uprawy rzędowe*	złe				
	j.w.	dobre		50		
	uprawy rzędowe**	złe				
	j.w.	dobre				
	tarasowanie	złe				
	j.w.	dobre				
Rośliny zbożowe	uprawy rzędowe*	złe				
	j.w.	dobre		50	100	
	uprawy rzędowe**	złe				
	j.w.	dobre				
	tarasowanie	złe				
	j.w.	dobre				
Rośliny motylkowe	uprawy rzędowe*	złe				
	j.w.	dobre				
	uprawy rzędowe**	złe				
	j.w.	dobre				
	tarasowanie	złe				
	j.w.	dobre				
Pastwiska		złe				
		średnie				
		dobre				
Łąki		dobre				
Zabudowa gospodarstw						
Drogi gruntowe						
Drogi z twardą nawierzchnią						
Lasy gęste						
Lasy o średniej gęstości						
Lasy rzadkie						
Powierzchnia nieprzepuszczalna						
* uprawy rzędowe - kierunek orki niezależnie od spadku zbocza			0	100	100	0
** uprawy rzędowe wzdłuż warstw - orka równoległa do warstw			Powierzchnia		200	ha

WYNIKI OBLICZEŃ**Maksymalna retencyjność S wodna obszaru**

	mm	m ³
Gleba wilgotna (III)	25	50 130
Gleba średnio wilgotna (II)	64	128 991
Gleba sucha (I)	154	307 587

Maksymalna retencyjność inicjalna I_a obszaru

Gleba wilgotna (III)	5	10 026
Gleba średnio wilgotna (II)	13	25 798
Gleba sucha (I)	31	61 517

Bezproduktywny odpływ wody V w zależności od opadu P

Gleba wilgotna (III)	29	57781
Gleba średnio wilgotna (II)	14	27097
Gleba sucha (I)	2	4279

CN**91****80****62****Opad P , mm****50**

Przykład 5.

Gospodarstwo rolne prowadzi produkcję polową na powierzchni 200 ha. Są to zdrenowane piaski gliniaste mocne (100 ha) i gliny średnie (100 ha). Obszar ten jest podzielony na cztery pola płodozmianowe (**Schemat**), na których uprawia się w rotacji następujące rośliny:

- 1) burak cukrowy,
- 2) pszenica jara + wsiewka kończyny,
- 3) koniczyna + pszenica ozima,
- 4) pszenica ozima + międzyplon.

Schemat pól płodozmianowych z roślinami, nałożonych na mapę gleb. Planowana organizacja produkcji rolnej w gospodarstwie w 2026 roku

1) burak cukrowy (50 ha)	2) pszenica jara + wsiewka koniczyny (50 ha)
Piaski gliniaste mocne	
3) koniczyna + pszenica ozima (50 ha)	4) pszenica ozima + międzyplon (50 ha)
Gliny średnie	

Obliczyć, posługując się programem w Excelu, maksymalną S oraz inicjalną I_a potencjalną retencję użytków rolnych w gospodarstwie w okresie wegetacji 2026 roku dla gleb o dużej wilgotności (gleb wilgotnych), średnio wilgotnych i suchych.

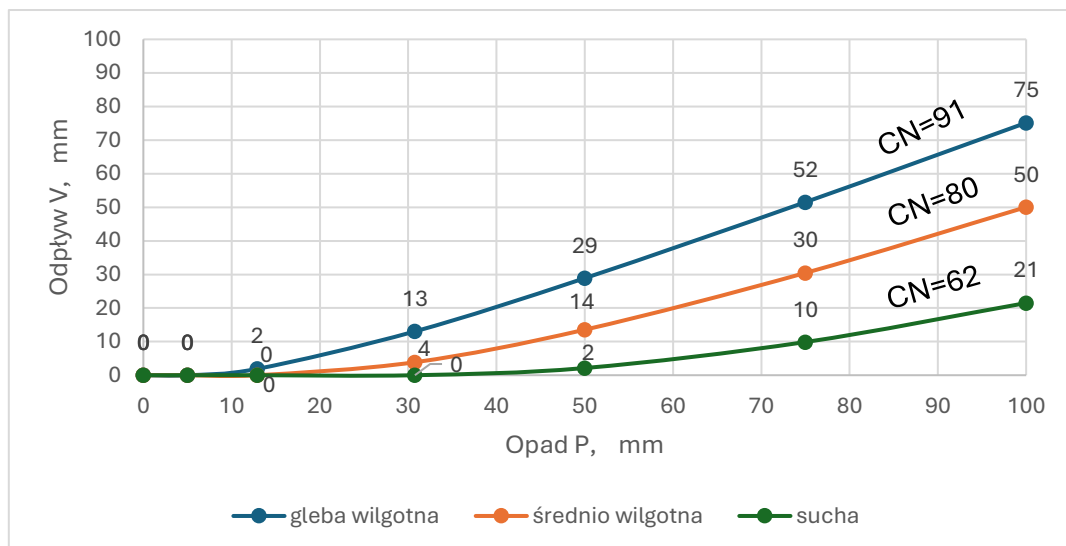
Oszacować ilość wody opadowej, która bezproduktywnie może odpłynąć z użytków rolnych gospodarstwa w przypadku długotrwałego (dwu– trzydniowego) opadu deszczu o sumie równej 50 mm.

Wyniki obliczeń

Z przeprowadzonych obliczeń wynika (tab. 3), że w przypadku gleby o dużej wilgotności (gleby wilgotnej) maksymalna retencyjność wodna S użytków rolnych gospodarstwa wyniesie $S = 25$ mm (ok. 50 tys. m³), gleb średnio wilgotnych $S = 64$ mm (ok. 130 tys. m³), a w przypadku gleb suchych $S = 154$ mm (ok. 300 tys. m³). Oznacza to, że gleby mokre mogą dodatkowo zmagazynować wodę z opadu o wysokości 25 mm, gleby średnio wilgotne wodę z opadu o wysokości 64 mm, a gleby suche wodę z opadu o wysokości 154 mm. W przypadku opadu o wysokości 50 mm odpływ powierzchniowy (bezpośredni) wyniesie dla gleb wilgotnych 29 mm (ok. 60 tys. m³), gleb średnio wilgotnych 14 mm (ok. 30 mln m³), a dla gleb suchych odpływ ten praktycznie nie wystąpi. Przy innych wysokościach opadu odpływ V może być odczytane z rysunku utworzonego komputerowo (rys. 23).

Woda odpływająca może być retencjonowana w małych zbiornikach wodnych (oczkach wodnych) i ponownie wykorzystana np. w rolnictwie.

Część wody opadowej będzie zatrzymywana na powierzchni liści (intercepcja) oraz na powierzchni terenu w mikrozagłębieniach, tworząc retencję inicjalną. Maksymalna retencyjność inicjalna I_a użytków rolnych gospodarstwa wynosi w przypadku okresów (gleb) wilgotnych 5 mm, okresów (gleb) średnio wilgotnych 13 mm, a okresów (gleb) suchych 31 mm.



Rys. 23. Zależność odpływu wody V od opadu P oraz wilgotności gleby (Oprac. E. Kaca)

Średnia wartość parametru CN , charakteryzująca zdolności retencyjne krajobrazu dla tych okresów wynosi odpowiednio $CN = 91$, $CN = 80$ i $CN = 62$.

Załącznik do części V - Przydatne tabele

Tabela Z1. Współczynniki szorstkości naturalnych małych cieków nizinnych wg VEN TE CHOW⁵

Charakterystyka koryta	Współczynnik n
Cieki czyste, proste, bez mielizn i dołów	0,030
Jw., lecz z dużymi kamieniami i roślinnością	0,035
Cieki czyste, kręte z łachami i dołami	0,040
Jw., lecz z kamieniami i roślinnością	0,045
Jw., przy niskich stanach wody, nieznacznych spadkach i małych przekrojach poprzecznych	0,048
Cieki czyste, kręte, z łachami i dołami, z dużą ilością kamieni	0,050
Cieki z odcinkami o małej prędkości przepływu z zaroślami i głębokimi dołami	0,070
Odcinki całkowicie zarośnięte z głębokimi dołami lub z wikliną i pniami zwalonych drzew	0,100

Tabela Z2. Orientacyjne wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej k w m/d, wg SMEDEMY i RYCROFTA (1983)⁶

Tekstura	Współczynnik filtracji k	
	min	max
Żwir gruboziarnisty piasek	10	50
Piasek średni	1	5
Ił piaszczysty, drobny piasek	1	3
Ił, Gлина ilasta, glina (o dobrej strukturze)	0,5	2
Bardzo drobny piaszczysty ił	0,2	0,5

Tabela Z3. Orientacyjne wartości współczynnika porowatości drenażowej warstwy wodonośnej

Grupa granulometryczna	Współczynnik $n_{\max}$
Piasek luźny	0,29
Piasek gliniasty	0,19
Gлина piaszczysta/gлина lekka	0,12
Gлина piaszczysto-ilasta	0,04
Ił piaszczysty	0,03
Ił zwykły	0,02
Ił pylasty	0,05
Gлина pylasto-ilasta	0,09
Gлина ilasta	0,04
Gлина zwykła	0,09
Pył ilasty/pył gliniasty	0,07
Torf odwodniony	0,20

⁵ Współczynniki podawane za Ven Te Chow w literaturze z hydrauliki koryt rzecznych, np. w pracy KUBRAK E., KUBRAK J., 2018. Podstawy obliczeń z mechaniki płynów w inżynierii i ochronie środowiska. Wydaw. SGGW

⁶ Wartości przybliżone zestawione przez Smedemę i Rycrofta, zawarte w pracy: OOSTERBAAN R.J., NIJLAND H.J., (1994). Drainage Principles and Applications. ILRI Publication 16).

Tabela Z4. Minimalna norma odwodnienia z_{min} oraz orientacyjne wartości zasięgu podsiąku kapilarnego z_p na glebach torfowo-murszowych, mineralno-murszowych i murszowatych właściwych

Prognostyczny kompleks wilgotnościowo-glebowy	z_{min} m	z_p m
A – mokry, AB – okresowo mokry	35	1,40
B – wilgotny, BC – okresowo posuszny	30-35	1,10
C – posuszny, CD – okresowo suchy	20-25	0,80

Tabela Z5. Minimalna norma odwodnienia z_{min} oraz orientacyjne wartości zasięgu podsiąku kapilarnego z_p na glebach mineralnych¹⁾

Prognostyczny kompleks wilgotnościowo-glebowy	z_{min} m	z_p m
BC – okresowo posuszny	70	1,20
C – posuszny, CD – okresowo suchy	50-60	1,10
D – suchy	30	0,70

¹⁾ Dla gleb o składzie granulometrycznym piasku gliniastego i gliny piaszczystej/gliny lekkiej orientacyjną wartość z_p można przyjąć równą głębokości drenowania (ok. 1 m).

Tabela Z6. Orientacyjne zasięgi L_g krzywej spiętrzenia wody w gruncie przy piętrzeniu wody w cieku na wysokość 1 metra^{1), 2)}

Tekstura gruntu	Zasięg L_g w m
Grunty drobnoziarniste	200-500
Grunty średnioziarniste	500-1000
Grunty gruboziarniste	1000-2000

¹⁾ Zasięg krzywej spiętrzenia nie może wychodzić poza granicę hydrogeologicznej (ewentualnie powierzchniowej) zlewni cieku

²⁾ Zasięg spiętrzenia L_g wody gruntowej od piętrzenia wody w zbiorniku jest mniejszy niż zasięg spiętrzenia L_g wody gruntowej od piętrzenia wody w cieku (Oprac. E. Kaca)