Oceny możliwości retencji wód opadowych dla zlewni Skawinki

Wykonawcy:
Dr inż. Ignacy Kardel
Dr inż. Tomasz Stańczyk
Dr Marek Giełczewski

Skawina 2024

Spis treści

1. Wstęp 7
2. Charakterystyka zlewni 7
   2.1. Położenie 7
   2.2. Warunki klimatyczne 8
   2.3. Użytkowanie terenu 12
   2.4. Warunki hydrologiczne 16
   2.5. Geomorfologia 17
   2.6. Gleby 20
   2.7. Ochrona przyrody 22
3. Zagrożenia 23
   3.1. Zmiany klimatu 23
   3.2. Antropopresja 29
   3.3. Zalewy i podtopienia 33
   3.4. Jakość wód 36
4. Inwentaryzacja istniejących obiektów retencji wody 39
5. Ocena aktualnych możliwości retencji wodnej 41
6. Ocena możliwości retencji wód opadowych 42
   6.1. Wybór typów działań 43
   6.2. Rozmieszczenie działań 55
   6.3. Szacowana objętość retencji wód 57
7. Podsumowanie 60
8. Literatura 61

Spis rysunków

Rys. 1 Mapa położenia i podziału administracyjnego zlewni Skawinki 8
Rys. 2 Lokalizacja stacji meteorologicznych w zlewni Skawinki i poza nią, z których dane zostały wykorzystane do charakterystyki warunków klimatycznych (Źródło: https://hydro.imgw.pl) .9
Rys. 3 Roczne sumy opadu całkowitego oraz ewapotraspiracji rzeczywistej w zlewni Skawinki w latach 1992-2019 10
Rys. 4 Klimatyczny Bilans Wodny (różnica między opadem całkowitym a ewapotraspiracją rzeczywistą) w zlewni Skawinki w latach 1992-2019 11
Rys. 5 Średnie miesięczne (mediana) sumy opadu całkowitego oraz ewapotraspiracji rzeczywistej w zlewni Skawinki w latach 1992-2019.....11
Rys. 6 Zmiany udziału zgeneralizowanych klas użytkowania/pokrycia terenu w zlewni Skawinki w latach 2006-2018 12
Rys. 7 Użytkowanie/pokrycie terenu w zlewni Skawinki – mapa (na podstawie BDOT10k)....13
Rys. 8 Udział terenów o różnym użytkowaniu/pokryciu w powierzchni zlewni Skawinki (na podstawie BDOT10k) 13
Rys. 9 Stopień uszczelnienia powierzchni zlewni Skawinki - mapa 15
Rys. 10 Udział terenów o różnym stopniu uszczelnienia w powierzchni zlewni Skawinki. 15
Rys. 11 Mapa sieci hydrograficznej w zlewni rzeki Skawinki 16
Rys. 12 Zróżnicowanie wysokości bezwzględnej obszaru zlewni. 17
Rys. 13 Rozkład powierzchni terenów o różnej wysokości bezwzględnej na obszarze zlewni. 17
Rys. 14 Zróżnicowanie nachylenia terenu na obszarze zlewni. 18
Rys. 15 Rozkład powierzchni terenów o różnym nachyleniu na obszarze zlewni. 19
Rys. 16 Mapa glebowo-rolnicza (źródło: https://geoportal.gov.pl) 20
Rys. 17 Zgeneralizowana mapa przepuszczalności gleb (źródła: opracowanie własne) 21
Rys. 18 Lokalizacja obszarów chronionych na terenie zlewnie Skalinki (źródło: własne) 22
Rys. 19 Predykcje średniej kroczącej temperatury powietrza w roku i temperatury miesięcznej (mniejszy wykres) dla dwóch dziesięcioleci (2011-2020 vs 2041-2050) i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2) 24
Rys. 20 Predykcje średniej kroczącej liczby dni gorących (Tmax>20°C) w roku i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2).....25
Rys. 21 Predykcje średniej kroczącej liczby dni bardzo mroźnych (Tmax<-10°C) w roku i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2) 25
Rys. 22 Predykcje średniej kroczącej sumy opadów w roku i miesięcznej (mniejszy wykres) dla dwóch dziesięcioleci (2011-2020 vs 2041-2050) i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2) 26
Rys. 23 Predykcje średniej kroczącej wskaźnika intensywności opadów w roku i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2).....26
Rys. 24 Predykcje średniej kroczącej liczby dni w roku z opadem dziennym > 20 mm i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2) 27
Rys. 25 Mapa antropopresji na wody powierzchniowe i podziemne.....31

Rys. 26 Zmiany przepływu i ładunku zrzutów z oczyszczalni komunalnych w zlewni Skawinki (źródło GUS dla 7 gmin pokrywających powyżej 80% powierzchni zlewni) 31
Rys. 27 Zmiany liczby nieczystości ciekłych deponowanych lokalnie w zlewnie Skawinka (źródło GUS dla 7 gmin pokrywających powyżej 80% powierzchni zlewni) 31
Rys. 28 Suma nawożenia użytków rolnych azotem organicznym i mineralnym (źródło GUS, Spis Powszechny 2020r) 32
Rys. 29 Suma nawożenia użytków rolnych fosforem organicznym i mineralnym (źródło GUS, Spis Powszechny 2020r).....32
Rys. 30 Mapa zagrożenia powodziowego od rzeki Skawinki w sytuacji, gdy wały nie zostaną przerwane (źródło: https://wody.isok.gov.pl/imap_kzgw/?gpmap=gpMZP) 33
Rys. 31 Mapa potencjalnej koncentracji spływu wód opadowych wykonana wg. Topograficznego Wskaźnika Wilgotności (źródło: opracowanie własne) 34
Rys. 32 Ocena stanu ekologicznego wód powierzchniowych w zlewnie Skawinki (wg. Planu Gospodarowania Wodami na obszarze Dorzecza Wisły (2aPGW) opublikowanego w Dz.U. 2023 poz. 300) 37
Rys. 33 Istniejące obiekty retencyjne (źródło: BDOT10k, hydroportal, geoportal, mapa glebowo-rolnicza, GDOŚ) 40
Rys. 34. Budowle wodne wykorzystywane do zwiększania retencji w rowach melioracyjnych 47
Rys. 35 Zbiornik retencyjny wód opadowych (źródło: 2000 Maryland Stormwater Design Manual, 1999 – zmienione) 49
Rys. 36 Ogród deszczowy w wersji nieuszczelnionej - infiltracyjnej (źródło: opracowanie własne).....50
Rys. 37 Ogród deszczowy w pojemniku zintegrowany z wolnostojącym zbiornikiem na deszczówkę (źródło: opracowanie własne). 51
Rys. 38 Retencyjny plac zabaw w Parku Rataje w Poznaniu.....52
Rys. 39 Mały suchy zbiornik zrobiony powyżej przepustu drogowego (źródło: własne) 55
Rys. 40 Mapa potencjalnych lokalizacji działań retencji wód opadowych w zlewnie Skawinki 62

Spis tabel

Tab. 1 Powierzchnie oraz udział zgeneralizowanych klas użytkowania/pokrycia terenu powierzchni w zlewni Skawinki w latach 2006-2018 12
Tab. 2 Użytkowanie/pokrycie terenu w zlewni Skawinki – mapa (na podstawie BDOT10k) ... 14
Tab. 3 Rozmieszczenie gatunków gleb na obszarze zlewni 21
Tab. 4 Analiza wpływu zmian klimatu na hydrologię wg. wyników modelu SWAT Odry i Wisły opracowanego w projekcie CHASE-PL 28
Tab. 5 Analiza spodziewanej objętości spływu powierzchniowego z obszaru zlewni Skawinki dla różnych scenariuszy opadowych 35
Tab. 6 Spodziewana objętość spływu powierzchniowego z obszaru zlewni Skawinki dla różnych scenariuszy opadowych – wyniki zgeneralizowane 36
Tab. 7 Wyniki oceny stanu wód oraz presji znaczących 38
Tab. 8 Zestawienie wskaźników decydujących o złym stanie wody oraz ich źródeł lub czynników pogarszających ten stan 38
Tab. 9 Wykaz istniejących obiektów retencyjnych (źródło: opracowanie własne) 40
Tab. 10 Wyniki obliczeń bilansu wodnego dla zlewni Skawinki 41
Tab. 11 Wybrane propozycje działań sosowane w korycie lub dolinie zalewowej cieków i rowów (źródło: Rainman, PROLINE-CE, PRWP) 44
Tab. 12 Wybrane propozycje działań stosowanych na użytkach rolnych (źródło: Rainman, PROLINE-CE, FramWat) 45
Tab. 13 Tab. Wybrane propozycje działań stosowanych w lasach (źródło: Rainman, PROLINE-CE) 45
Tab. 14 Wybrane propozycje działań stosowanych zurbanizowanych (źródło: Rainman, PROLINE-CE) 46
Tab. 15 Wymiary wybranych działań niestrukturalnych (źródło: opracowanie własne) 57
Tab. 16 Szacowana pojemność retencyjna wybranych działań (źródło: opracowanie własne) 58
Tab. 17 Analiza przewidywanej średniej efektywności proponowanych beczek i podziemnych zbiorników na deszczówkę (źródło: opracowanie własne) 59

1. Wstęp

Opracowano wykonano na zlecenie Urzędu miasta i gminy Skawinki.

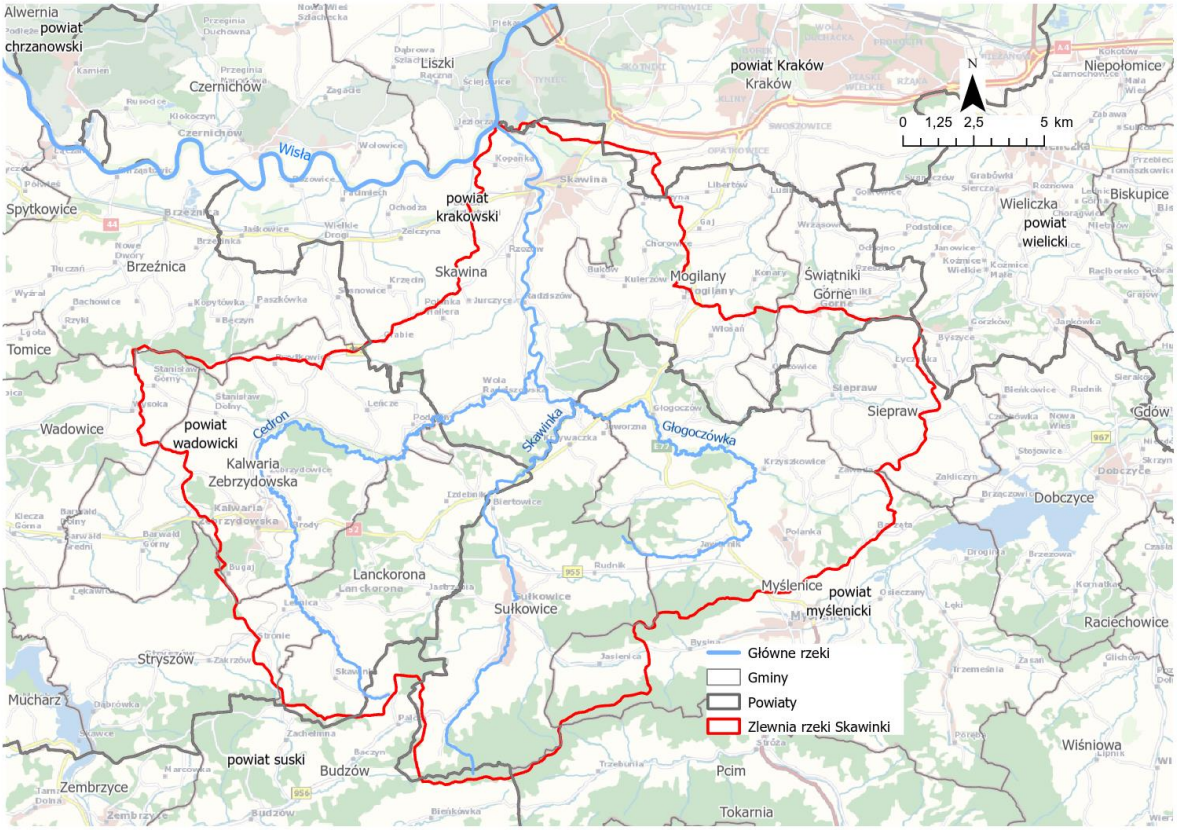
Zlewnia rzeki Skawinki znajduje się w podgórskim regionie Polsce o jednej z największych sum opadów w skali kraju i posiada sprzyjającą ich odpływowi rzeźbę terenu. Średni roczny odpływ wynosi ok. 11 l/s/km^2 i jest prawie dwukrotnie wyższy od przeciętnego dla Polski. W wyniku zmian klimatu zauważalnie wrasta w tym rejonie ilość i intensywność opadów oraz czas trwania suszy hydrologicznej. Równolegle nasilił się proces urbanizacji, ze względu na bliskie położenie znacznej części zlewni w obrębie aglomeracji krakowskiej, co doprowadziło do wzrostu uszczelnienia terenu i ryzyka zanieczyszczenia nieczystościami wód podzielnych i powierzchniowych. Dodatkowo istniejąca wcześniej zabudowa położona w dolnej części zlewnie wymaga ochrony coraz wyższymi i dłuższymi wałami. Wszystkie te czynniki powodują wzrost ryzyka powodzi i podtopień oraz pogorszenie się jakości wód powierzchniowych i gruntowych. Dlatego lokalne samorządy starają się pozyskać środki na poprawę bezpieczeństwa i zrównoważony rozwój tego terenu. Jednym takich działań jest rozwój małej retencji wód opadowych, która z jednej strony pozwoli zmniejszyć i spowolnić odpływ wód a z drugiej wpłynie na poprawę jakości wód i ograniczenie procesu erozji gleb.

2. Charakterystyka zlewni

2.1. Położenie

Zlewnia Skawinki jest położona w południowej części Polski (województwo małopolskie) w dorzeczu Górnej Wisły. Wg. podziału fizycznogeograficznego (Kondrackiego) należy do mezoregionu - Pogórze Wielickie, makroregionu - Pogórze Zachodniobeskidzkie, podprowincji - Zewnętrzne Karpaty Zachodnie, prowincji- Karpaty Zachodnie z Podkarpaciem Zachodnim i Północnym. Obejmuje obszar około 354 km^2, a długość rzeki głównej wynosi 53 km. Zlewnia obejmuje tereny położone w granicach następujących powiatów i gmin (Rys. 1):

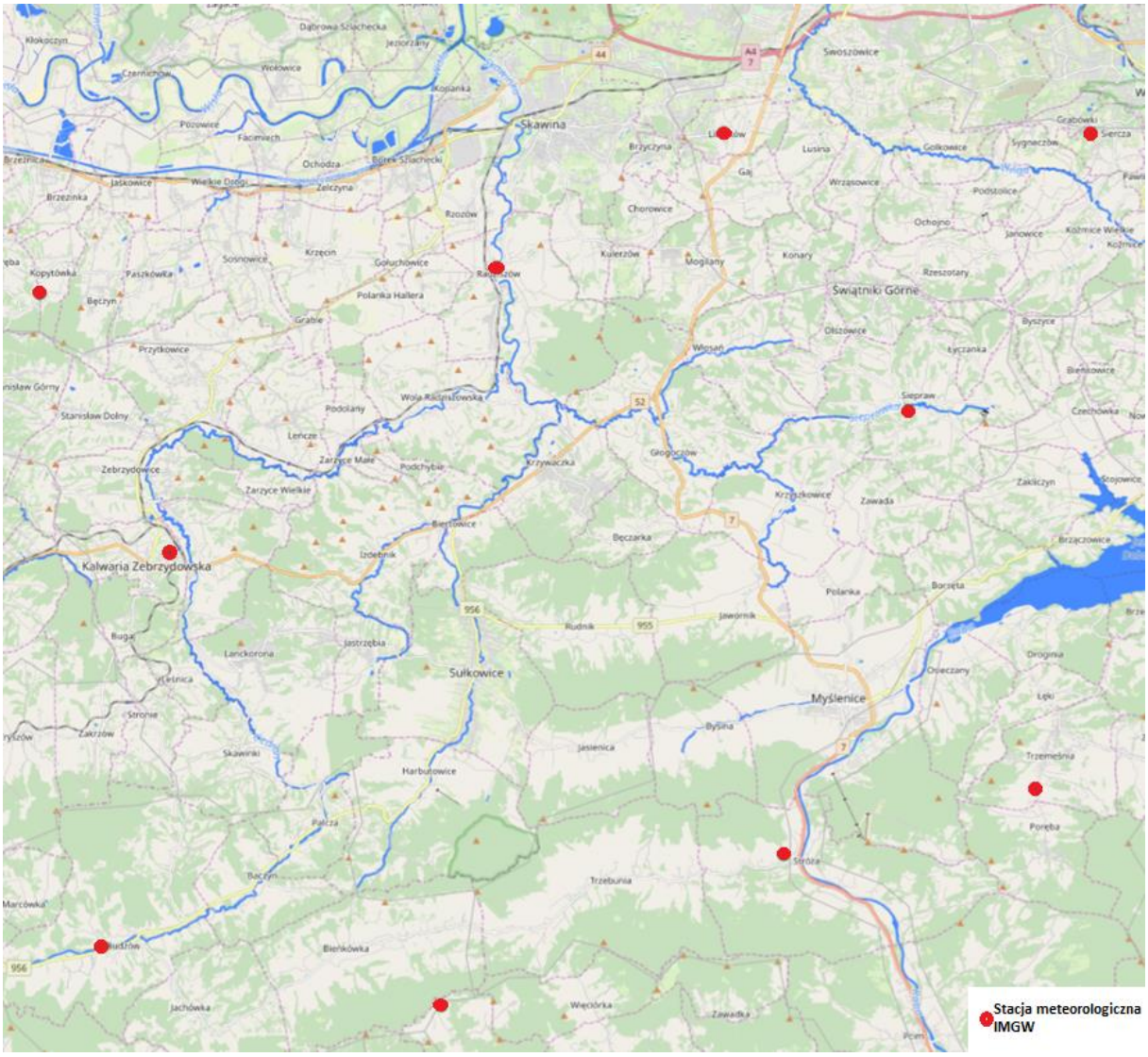
- powiat krakowski – gminy: Skawina, Mogilany, Świątniki Górne;
- powiat myślenicki - gminy: Myślenice, Siepraw, Sułkowice;
- powiat wadowicki – gminy: Lanckorona, Kalwaria Zebrzydowska
- powiat suski – gmina Budzów.



Rys. 1 Mapa położenia i podziału administracyjnego zlewni Skawinki

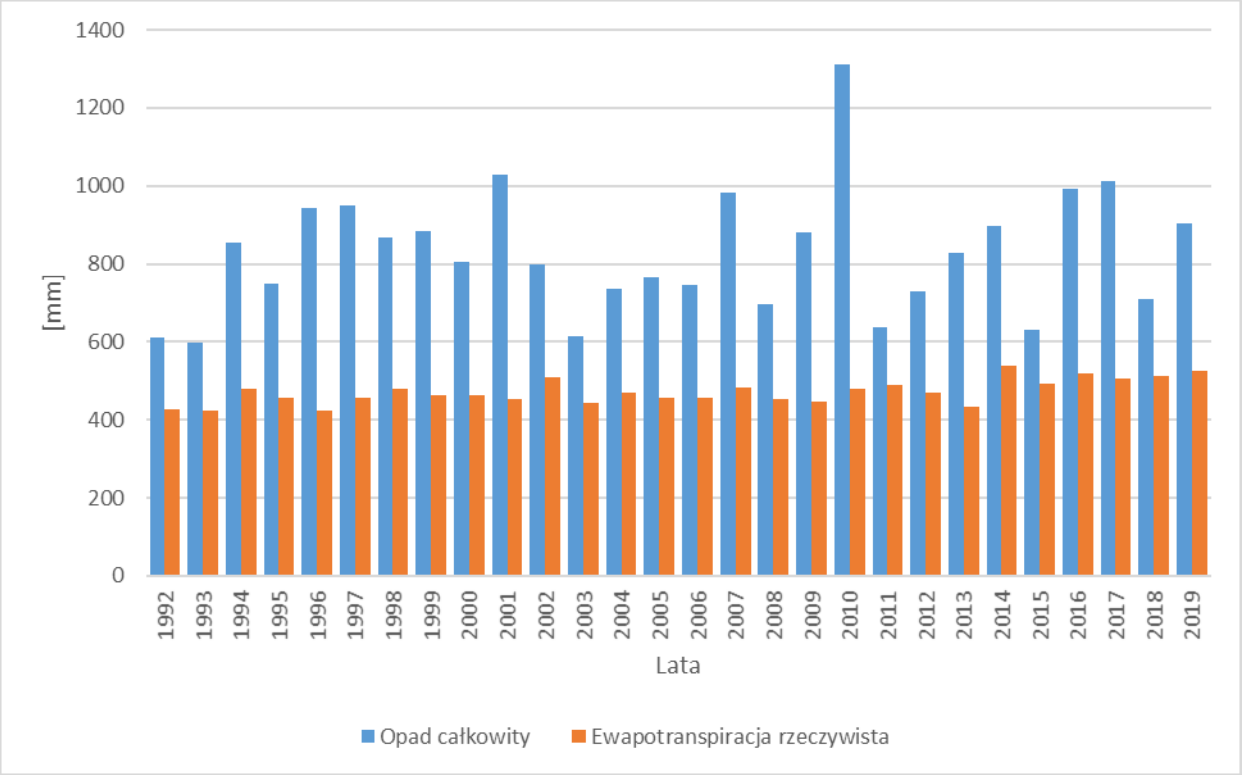
2.2. Warunki klimatyczne

Charakterystyka warunków klimatycznych zlewni Skawinki pod kątem oceny możliwości retencji wód opadowych została opracowana na podstawie danych pochodzących z 10 stacji meteorologicznych wchodzących w skład sieci monitoringu realizowanej przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytutu Badawczy (Rys. 2). Trzy stacje (Kalwaria Zebrzydowska, Radziszów, Siepraw) spośród tych z których dane zostały wykorzystane znajduje się na terenie samej zlewni. Pozostałe stacje, które położone są poza obszarem zlewni, zostały wybrane w taki sposób, aby znajdowały się możliwie jak najbliżej jej granic, i jednocześnie ją otaczały. Do charakterystyki warunków klimatycznych wykorzystano dane dobowe z wielolecia 1992-2019, które zostały również wykorzystane do obliczeń dotyczących bilansu zasobów wodnych zlewni (Rozdział 5). Dodatkowo dane opadowe interpolowane na podstawie wytypowanych stacji IMGW wprowadzono do modelu SWAT celem symulacji obliczeniowych składowych bilansu wodnego.



Rys. 2 Lokalizacja stacji meteorologicznych w zlewni Skawinki i poza nią, z których dane zostały wykorzystane do charakterystyki warunków klimatycznych (Źródło: https://hydro.imgw.pl)

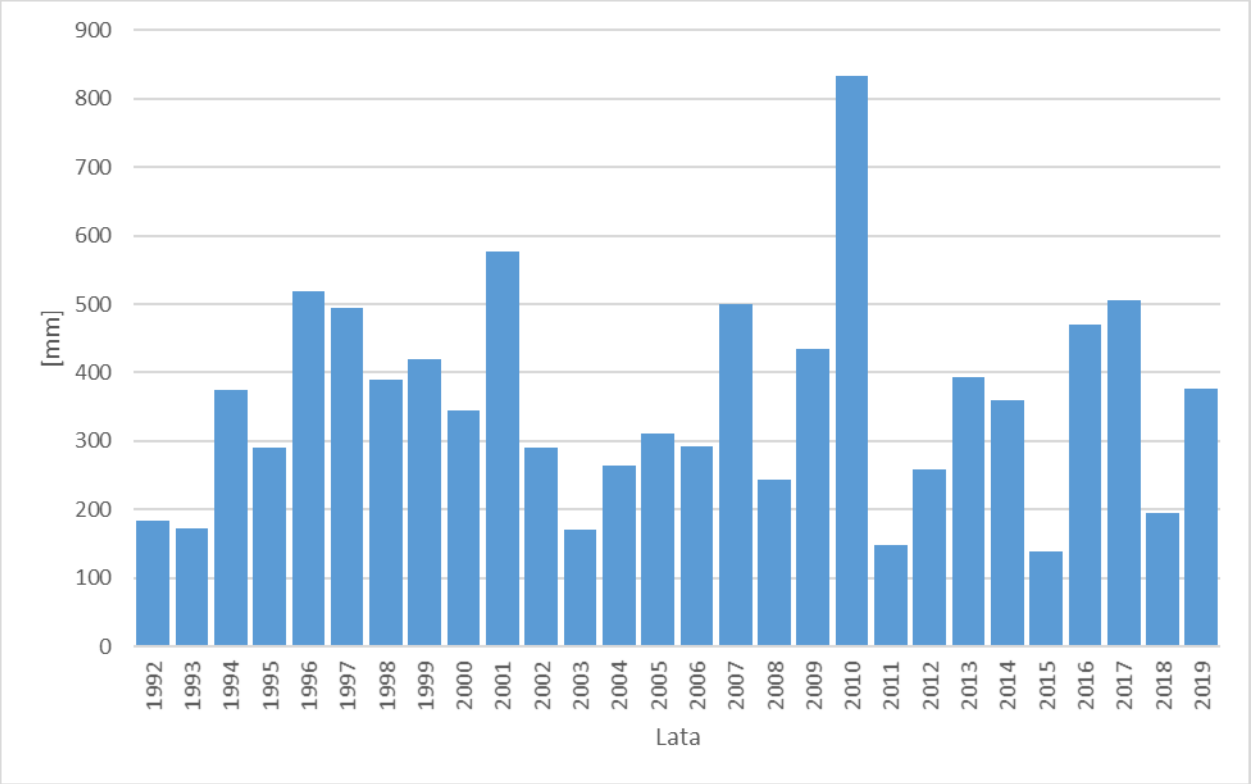
W analizowanym wieloleciu zlewnia Skawinki charakteryzowała się wysokimi sumami rocznymi opadu całkowitego, przy jego dość znacznej dynamice zmian (Rys. 3). W zdecydowanej większości lat w tym okresie, opad całkowity kształtował się w granicach od 600 do 1000 mm, a wartość środkowa nieznacznie przekroczyła 800 mm. W najbardziej mokrym z lat tego okresu, roku 2010, suma opadu przekroczyła 1300 mm. Ewapotranspiracja rzeczywista, drugi z istotnych, w kontekście możliwości retencji wody w zlewni, warunków klimatycznych charakteryzował się znacząco niższymi wartościami, jak również mniejszą amplitudą zmian. Sumy ewapotranspiracji rzeczywistej zmieniały się w granicach od 420 do 540 mm, podczas gdy wartość mediany wynosiła 467 mm.



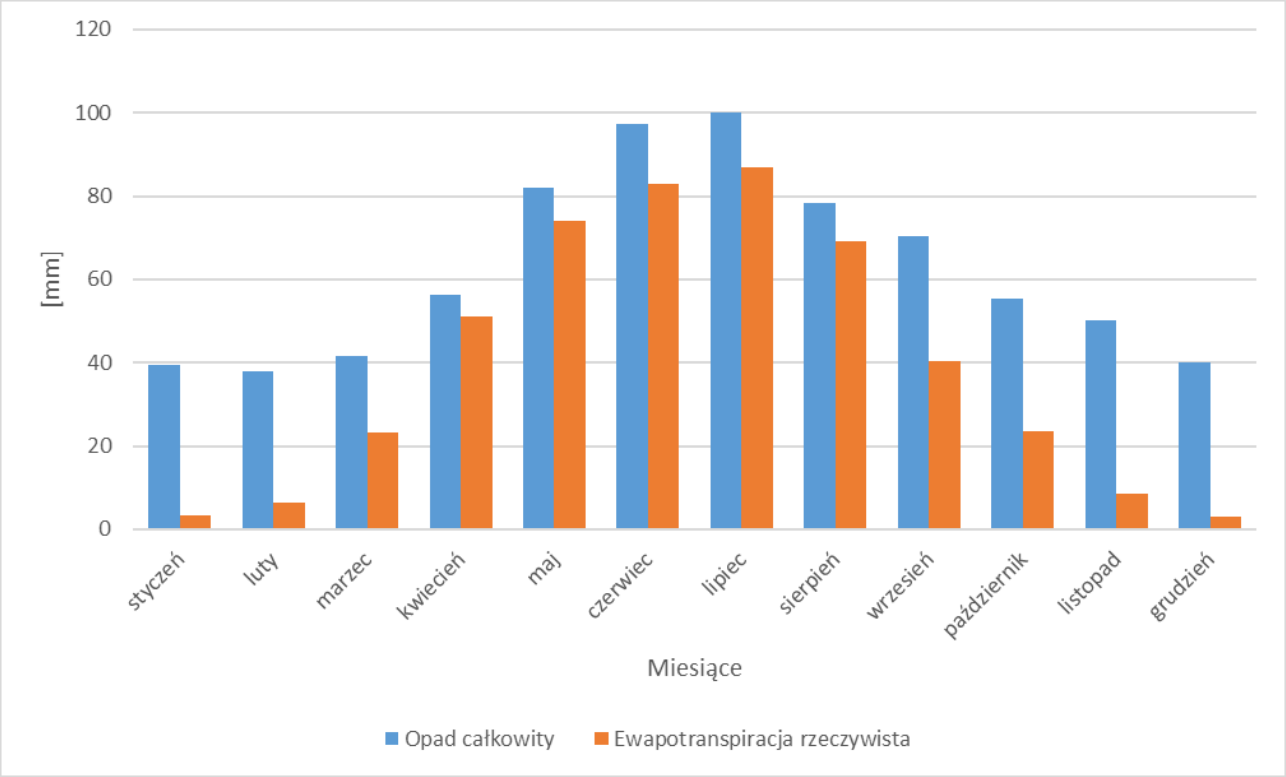
Rys. 3 Roczne sumy opadu całkowitego oraz ewapotraspiracji rzeczywistej w zlewni Skawinki w latach 1992-2019

Na podstawie uzyskanych z modelu SWAT wartości opadu całkowitego i ewapotranspiracji rzeczywistej, obliczono Klimatyczny Bilans Wodny (KBW) jako różnicę pomiędzy tymi elementami bilansu (Rys. 4). Z uwagi na układ wartości tych elementów, we wszystkich latach analizowanego wielolecia, KBW był dodatni, kształtując się w granicach od 140 do 580 mm, z wyjątkiem roku 2010 (najbardziej mokry rok w wieloleciu), kiedy sięgnął pod 800 mm, przy wartości środkowej na poziomie 350 mm. Oznacza to, że nawet w latach charakteryzujących się stosunkowo niskimi opadami i/lub wysoką ewapotranspiracją, w zlewni istnieje zasób wody, który potencjalnie może być retencjonowany.

W analizowanym wieloleciu zlewnia rzeki Skawinki charakteryzowała się najwyższymi średnimi sumami, zarówno opadu całkowitego, jak i ewapotranspiracji rzeczywistej, w miesiącach letnich (czerwiec-lipiec), a najniższymi w miesiącach zimowych (grudzień-marzec) co pokazuje Rys. 5. Przy czym nadwyżka opadu całkowitego nad ewapotraspiracją rzeczywistą była najwyższa w okresie jesienno-zimowym (wrzesień-luty), przekraczając w tych miesiącach 30 mm. Różnica ta była najmniejsza w okresie późnej wiosny (kwiecień-maj), kiedy nie przekraczała 10 mm. Podczas gdy w pozostałych miesiącach roku kształtowała się na poziomie kilkunastu milimetrów.



Rys. 4 Klimatyczny Bilans Wodny (różnica między opadem całkowitym a ewapotraspiracją rzeczywistą) w zlewni Skawinki w latach 1992-2019

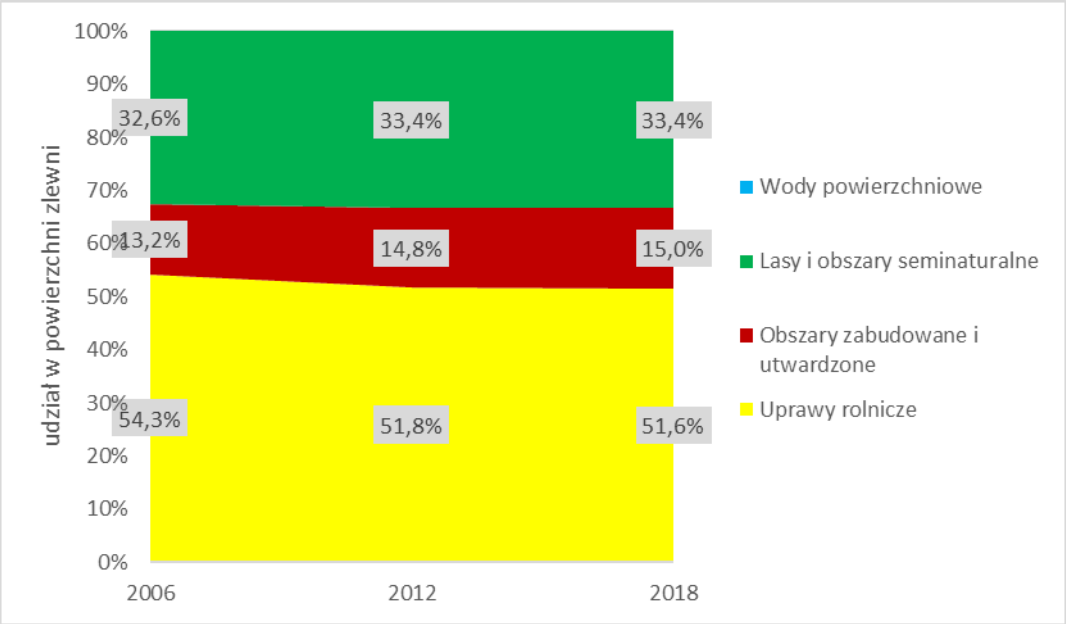


Rys. 5 Średnie miesięczne (mediana) sumy opadu całkowitego oraz ewapotraspiracji rzeczywistej w zlewni Skawinki w latach 1992-2019

2.3. Użytkowanie terenu

Zgeneralizowane informacje o udziale poszczególnych klas użytkowania terenu w ogólnej powierzchni zlewni Skawinki i tendencjach zmian tego udziału przygotowano na podstawie danych Corine Land Cover.

Wykres przedstawiony na poniższym rysunku ukazuje stopniowy wzrost powierzchni terenów przekształconych (zurbanizowanych) kosztem kurczących się obszarów rolniczych. Między rokiem 2006 a 2012 zaobserwowano także niewielki wzrost udziału lasów i innych naturalnych form pokrycia wynoszący 0,8 punktu procentowego.



Rys. 6 Zmiany udziału zgeneralizowanych klas użytkowania/pokrycia terenu w zlewni Skawinki w latach 2006-2018

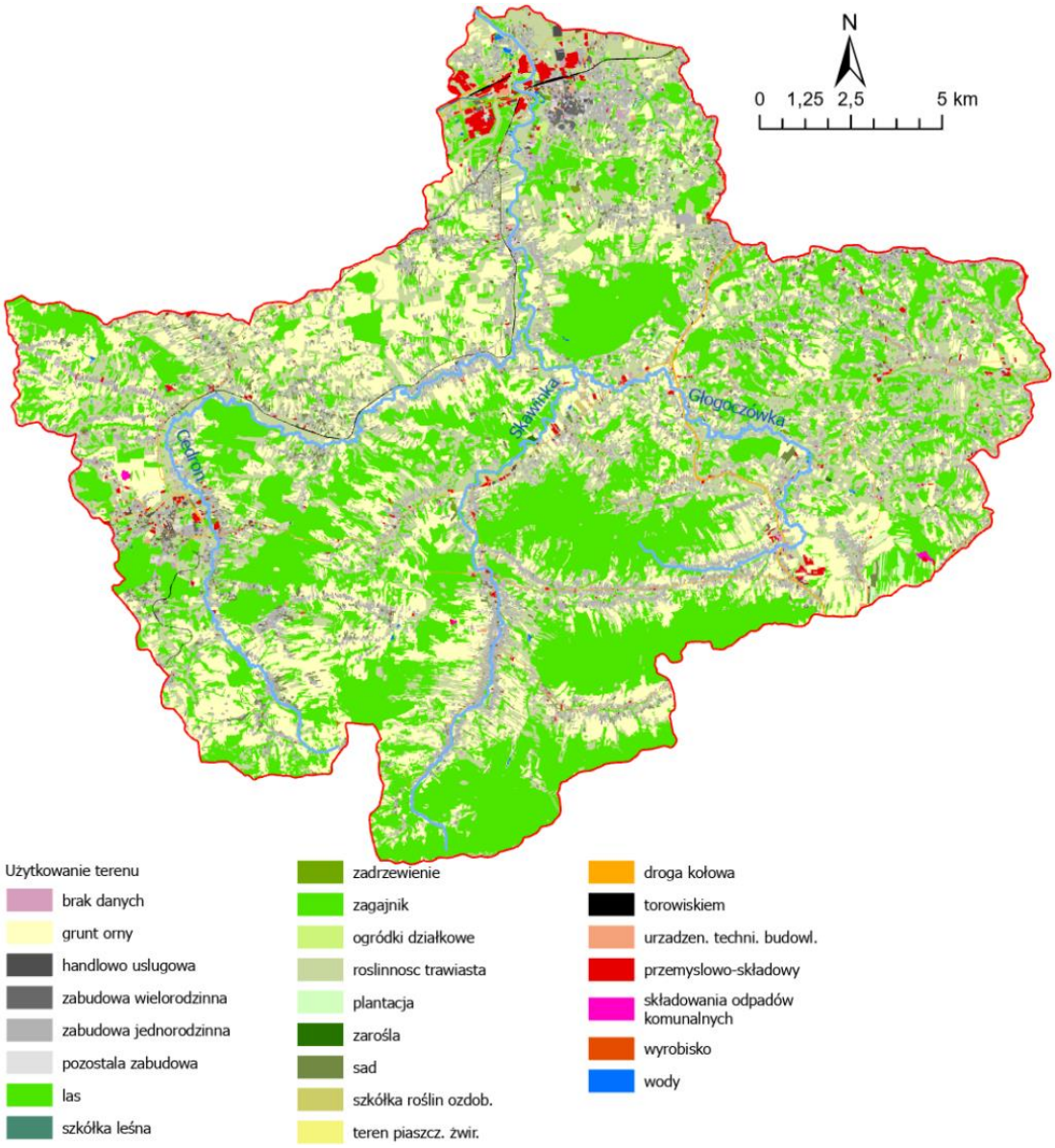
Tab. 1 Powierzchnie oraz udział zgeneralizowanych klas użytkowania/pokrycia terenu powierzchni w zlewni Skawinki w latach 2006-2018

rok	obszary rolnicze [km^2]	nawierzchnie sztuczne (w tym zabudowa) [km^2]	lasy i obszary seminaturalne [km^2]	wody powierzchniowe [km^2]	razem [km^2]
2006	192, 5	46, 8	115,5	0,01	354,3
2012	183,6	52,4	118,3	0,01	354,3
2018	182,8	53,2	118,3	0,01	354,3

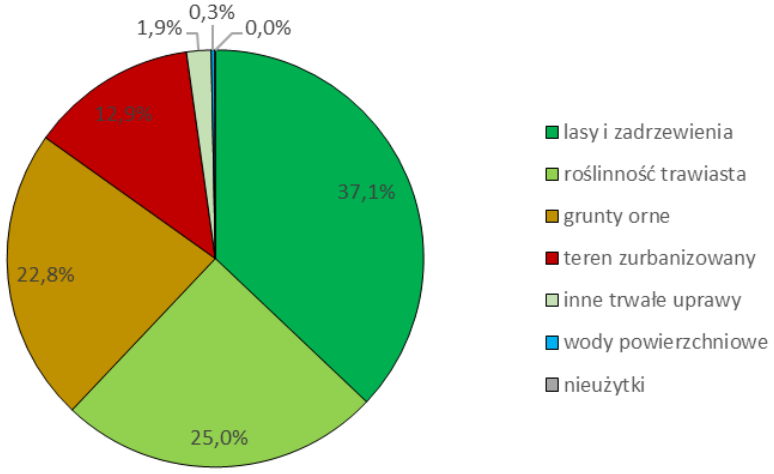
Bardziej szczegółową analizę użytkowania/pokrycia terenu zlewni Skawinki przeprowadzono na danych z bazy BDOT10k (geoportal.gov.pl). W związku równicami w źródłach pozyskania danych i metodykach ich analizowania i klasyfikacji pomiędzy CORINE a BDOT10k nieco inne są wyniki pomiędzy ogólną i szczegółową analizą terenu.

Według BDOT10k znaczną część powierzchni zlewni Skawinki zajmują lasy, zadrzewienia i zakrzewienia (łącznie ponad 38%). Następna pod względem udziału w powierzchni klasa obejmuje zbiorowiska trawiaste, w tym także tereny rolnicze takie jak łąki i pastwiska (łącznie ponad 25%). Grunty orne występują także na znacznych powierzchniach (prawie 23%zlewni). Tereny zurbanizowane zajmują prawie 13% powierzchni zlewni, przy czym dominuje wśród nich zabudowa jednorodzinna (10% pow. zlewni), a najsilniej przekształcone tereny

przemysłowe zajmują niecały 1% powierzchni zlewni i skupione są w jej dolnej, północnej części - w mieście Skawina.



Rys. 7 Użytkowanie/pokrycie terenu w zlewni Skawinki – mapa (na podstawie BDOT10k)



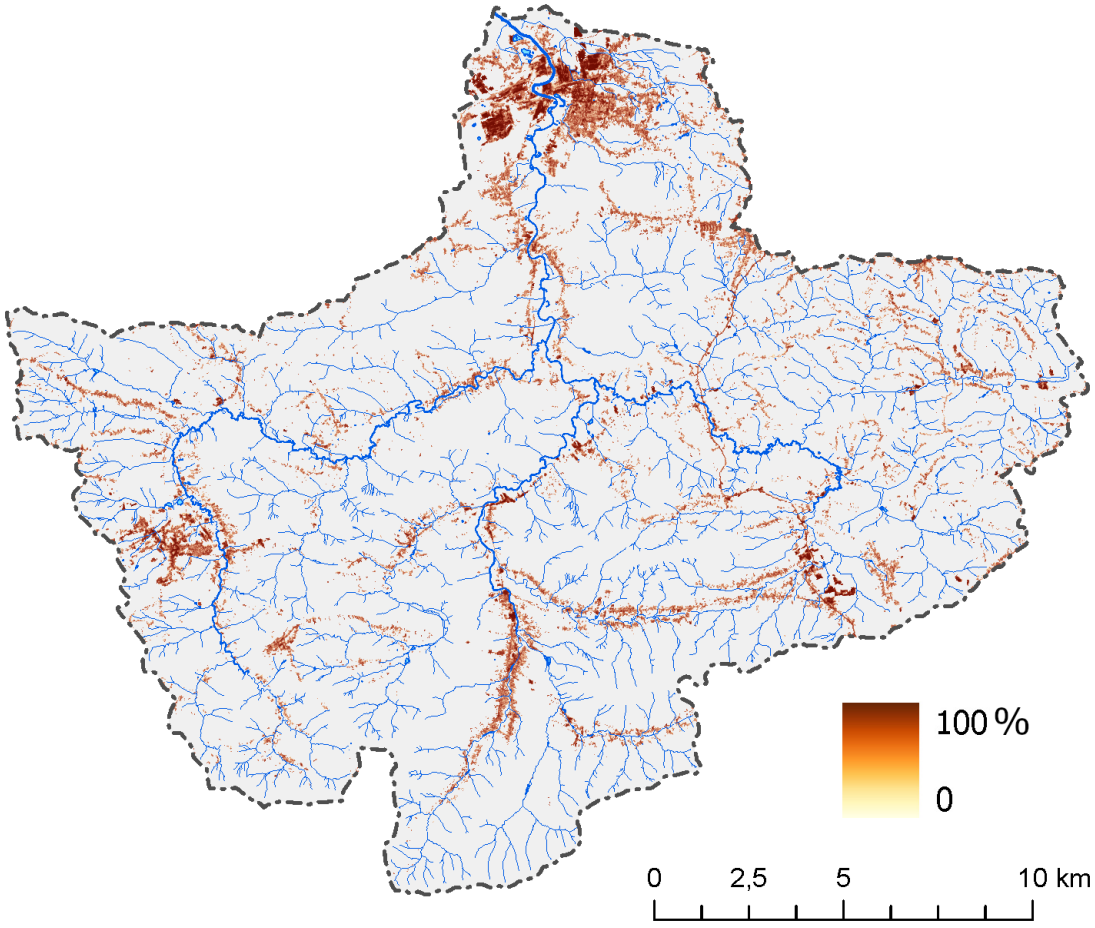
Rys. 8 Udział terenów o różnym użytkowaniu/pokryciu w powierzchni zlewni Skawinki (na podstawie BDOT10k)

Tab. 2 Użytkowanie/pokrycie terenu w zlewni Skawinki – mapa (na podstawie BDOT10k)

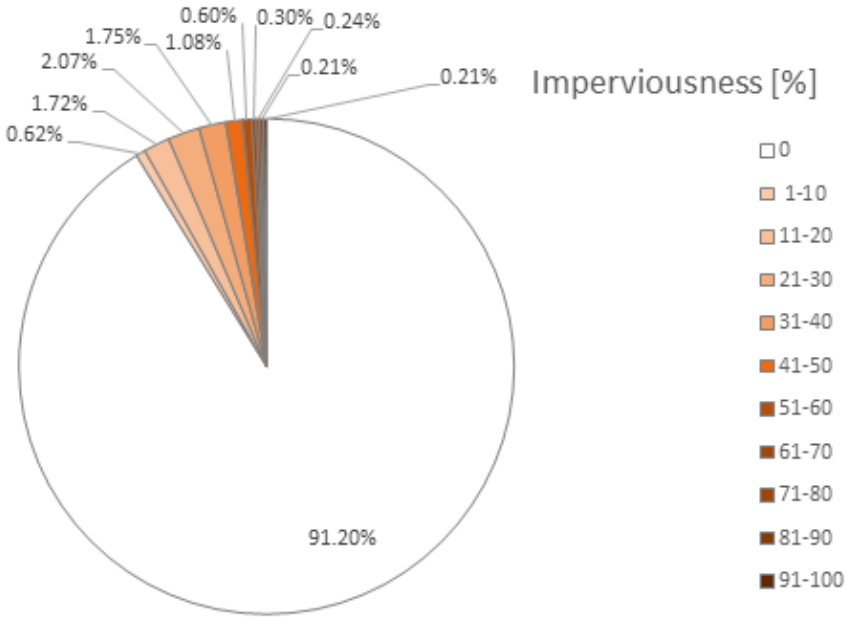
klasa użytkowania/ pokrycia terenu	udział klasy użytkowania w powierzchni zlewni [%]	szczegółowe użytkowanie/pokrycie terenu	powierzchnia [ha]	udział w powierzchni zlewni [%]
lasy, zadrzewienia i zakrzewienia	37,08%	las	12 960,1	36,70%
		zadrzewienie	68,2	0,19%
		zagajnik	54,0	0,15%
		zarośla krzewów	13,3	0,04%
roślinność trawiasta	25,02%	roślinność trawiasta	8 835,1	25,02%
grunty orne	22,78%	grunty orne	8 044,2	22,78%
teren zurbanizowany	12,94%	zabudowa jednorodzinna	3 546,5	10,04%
		zabudowa przemysłowo-składowa	252,8	0,72%
		pozostała zabudowa	229,8	0,65%
		teren pod drogą kołową	222,9	0,63%
		zabudowa handlowo-usługowa	96,2	0,27%
		zabudowa wielorodzinna	65,2	0,18%
		teren pod torowiskiem	60,1	0,17%
		teren przemysłowo-składowy	56,8	0,16%
		teren pod urządzeniami technicznymi i budowlami	39,5	0,11%
		teren pod drogą kołowa lub torowiskiem	0,7	0,00%
inne trwałe uprawy	1,91%	sad	562,5	1,59%
		plantacja	71,5	0,20%
		ogródki działkowe	30,8	0,09%
		szkółka roślin ozdobnych	9,0	0,03%
		szkółka leśna	0,1	0,0002%
wody powierzchniowe	0,27%	wody płynące	59,2	0,17%
		wody stojące	36,5	0,10%
nieużytki	0,05%	teren składowania odpadów komunalnych	12,5	0,04%
		teren piaszczysty/żwirowy	2,6	0,01%
		wyrobisko	1,4	0,00%
		razem	**35 315**	

Stopień uszczelnienia powierzchni zlewni

Zdecydowana większość powierzchni zlewni (ponad 91%) pozbawiona jest jakichkolwiek uszczelnień. Wśród terenów o ograniczonej przepuszczalności w związku z obecnością zabudowy i nawierzchni utwardzonych dominują obszary uszczelnione w zakresie 11-40%. Obszary o bardzo wysokim stopniu uszczelnienia tj. powyżej 60% stanowią tylko 0,96% powierzchni zlewni.



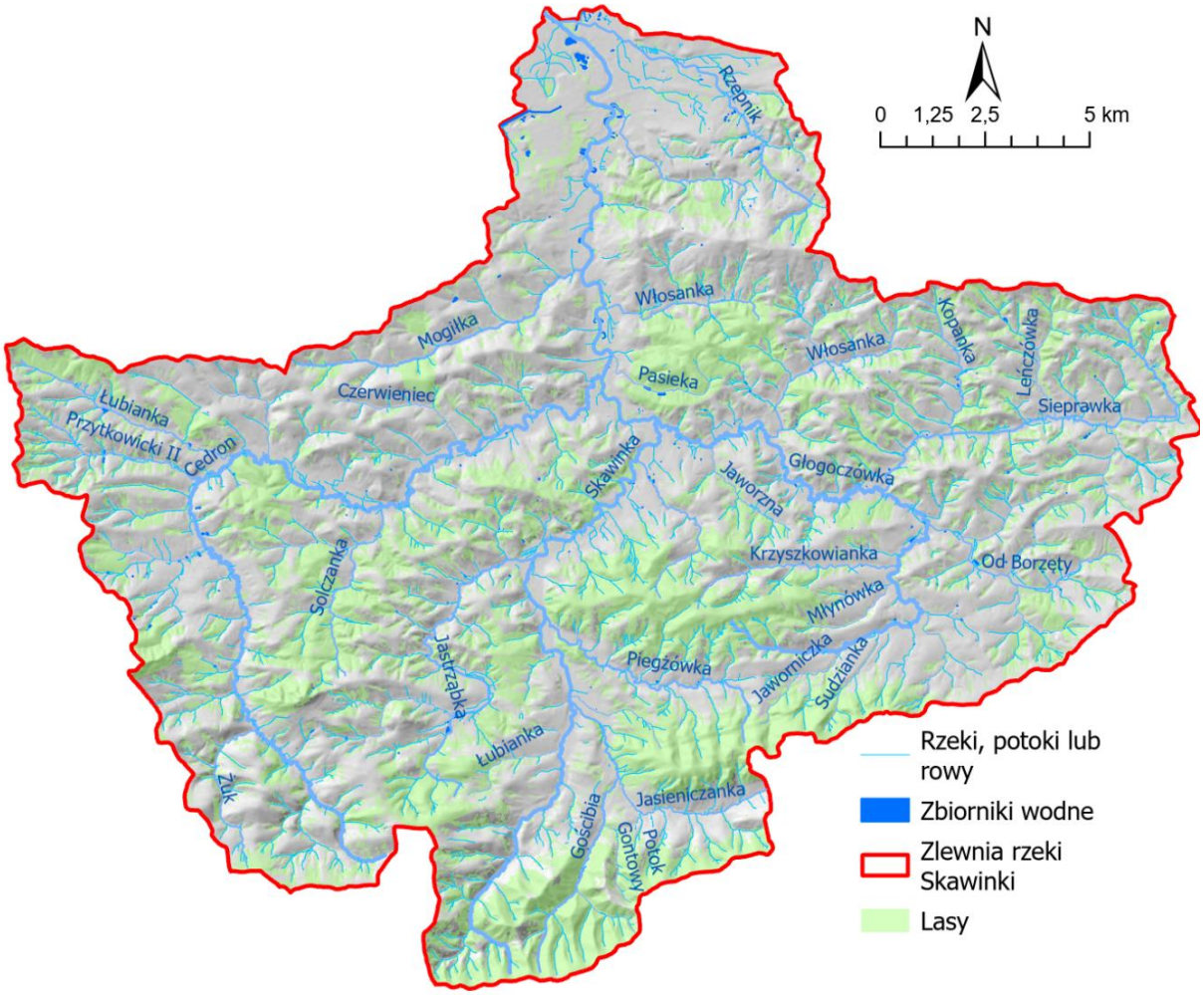
Rys. 9 Stopień uszczelnienia powierzchni zlewni Skawinki - mapa



Rys. 10 Udział terenów o różnym stopniu uszczelnienia w powierzchni zlewni Skawinki.

2.4. Warunki hydrologiczne

Zlewnia Skawinki ma dobrze rozwiniętą, symetryczną sieć hydrograficzną. Rzeka główna, Skawinka, o przedbiegu południkowym, ma po jednym znaczącym dopływie prawo- (Głogoczówka) i lewostronnym (Cedron) uchodzącym do niej w jej środkowym biegu. Oba główne dopływy mają przebieg południkowy w górnym biegu, który zmienia się na równoleżnikowy w ich dolnych biegach. Taki układ sieci rzecznej wpływa sprzyjająco efektywnemu odprowadzaniu wód opadowych. Charakteryzuje się naturalnymi warunkami sprzyjającymi występowaniu zagrożenia powodziowego. Wiąże się to z występowaniem deszczy o dużej intensywności (tzw. deszcze rozlewne i nawalne), niskim poziomem retencji powierzchniowej, a także ograniczonym poziomem retencji gruntowej, jak również znaczącymi spadkami terenu sprzyjającymi szybkiemu spływowi powierzchniowemu i krótkim czasom koncentracji.

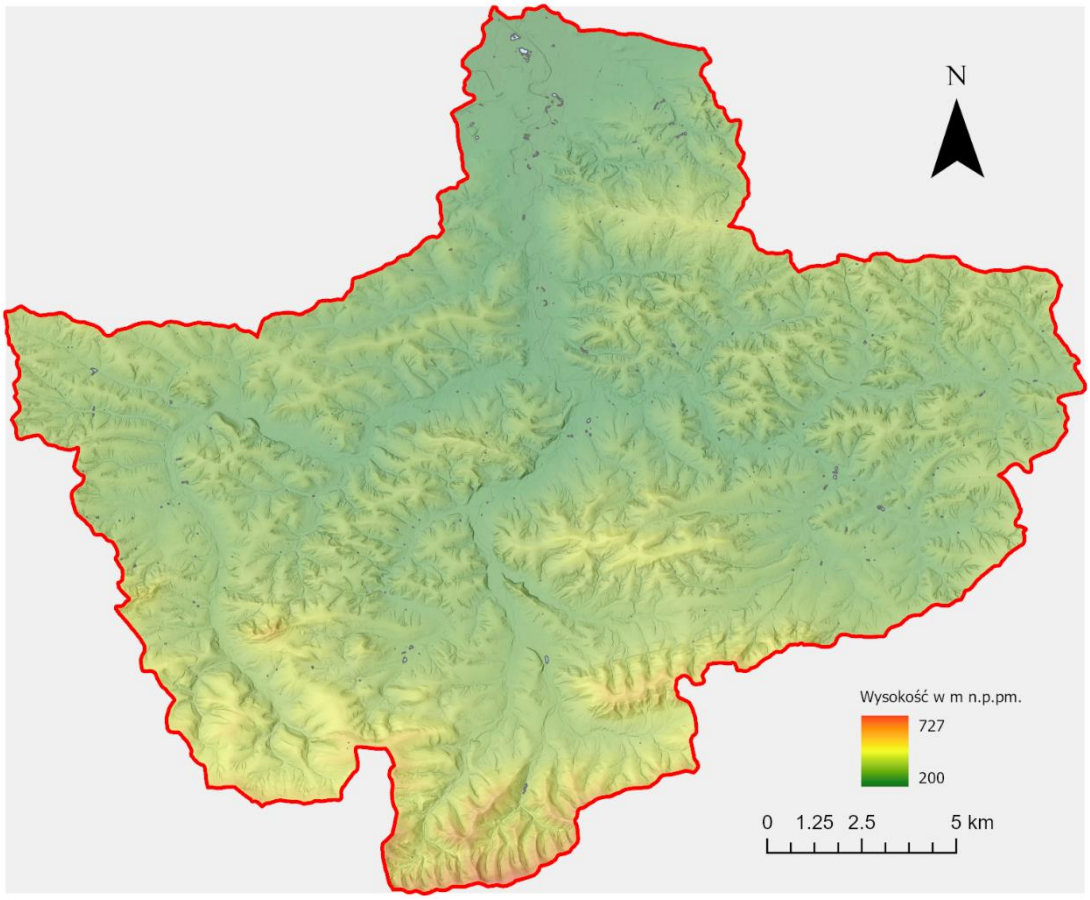


Rys. 11 Mapa sieci hydrograficznej w zlewni rzeki Skawinki

2.5. Geomorfologia

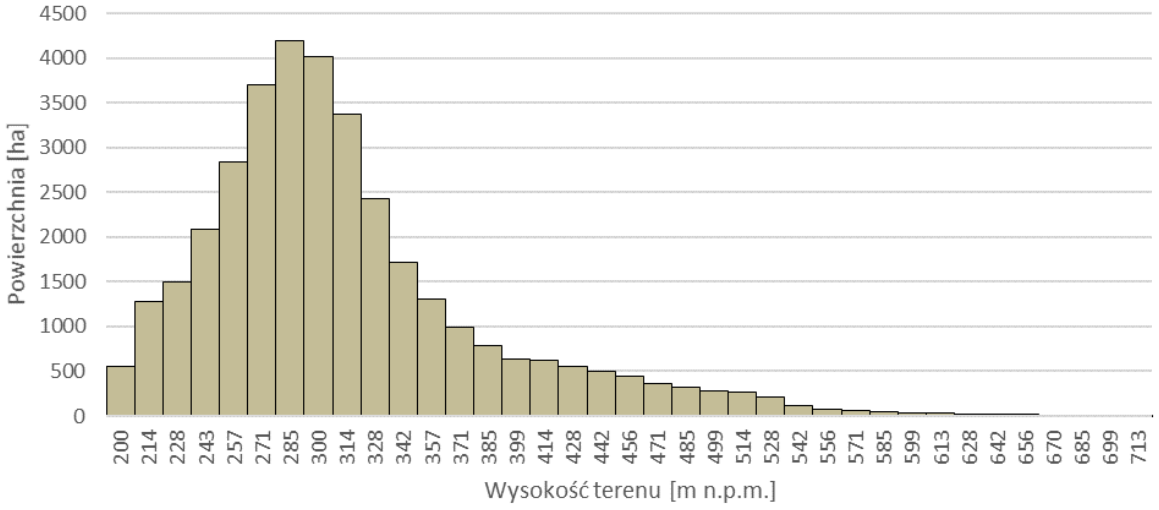
Wysokość nad poziomem morza

Zróżnicowanie wysokości terenu nad poziomem morza przedstawiono na Rys. 12.



Rys. 12 Zróżnicowanie wysokości bezwzględnej obszaru zlewni.

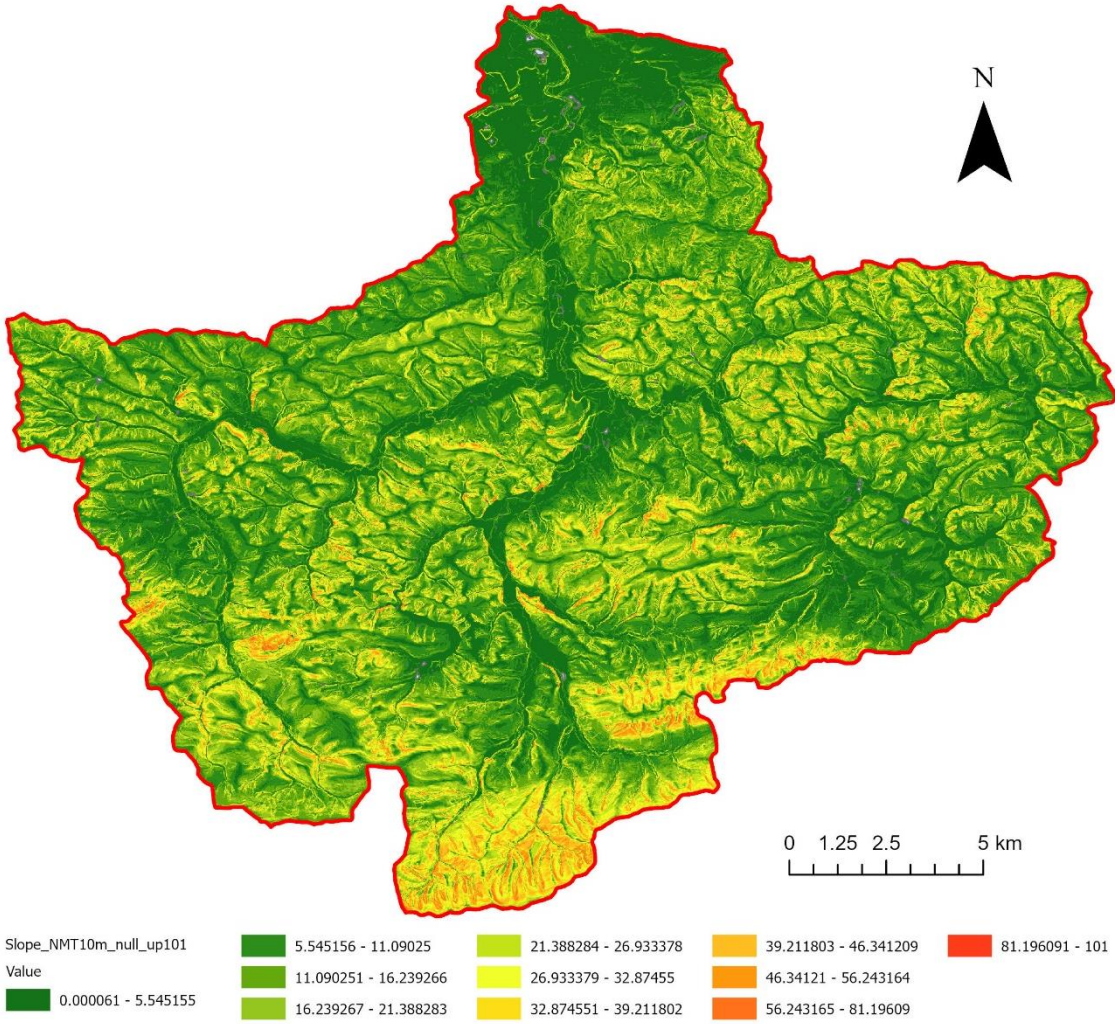
Zakres wysokości bezwzględnej terenu zlewni rozciąga się od 200 do ponad 700 m n.p.m., przy czym dominują tu obszary położone na wysokości 250-340 m n.p.m. (Rys. 13), co nadaje zlewni charakter podgórski.



Rys. 13 Rozkład powierzchni terenów o różnej wysokości bezwzględnej na obszarze zlewni.

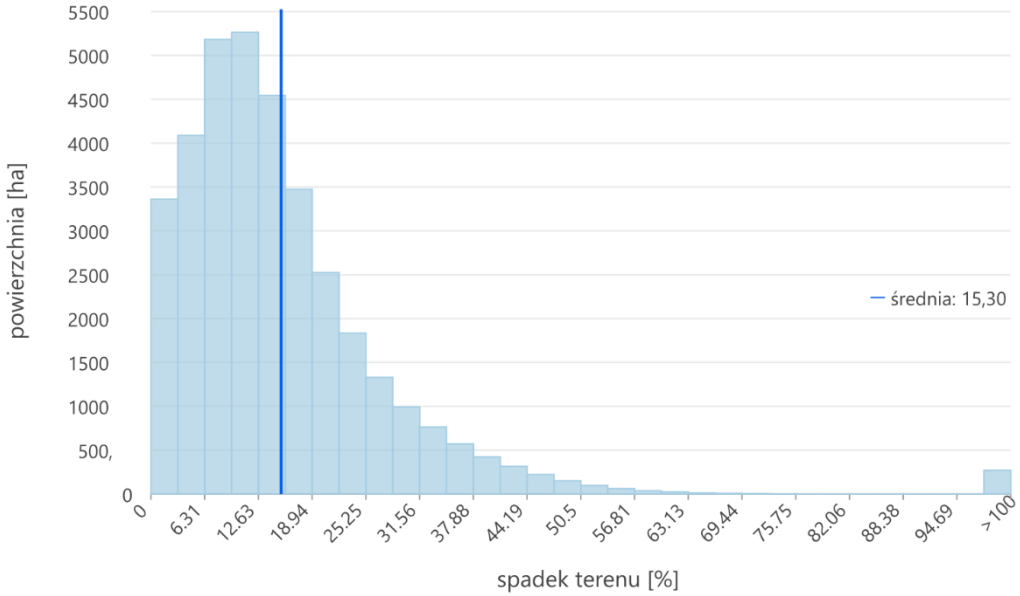
Nachylenie terenu

Zróżnicowanie przestrzenne nachylenia terenu przedstawiono na Rys. 14.



Rys. 14 Zróżnicowanie nachylenia terenu na obszarze zlewni.

Zróżnicowanie nachylenia terenu zlewni jest bardzo duże. Występują tu znaczne powierzchnie terenów o niedużym nachyleniu (do 5%) obejmujące dno doliny Wisły jak i dna dolin Skawinki i jej głównych dopływów (Rys. 15). Większość terenu to jednak stoki wzniesień o nachyleniu 6-25%. Największe wartości spadków występują na stokach najwyższych wzniesień (gór) położonych na południowej granicy zlewni oraz na urwistych zboczach rozcięć erozyjnych powszechnych na całym omawianym obszarze.

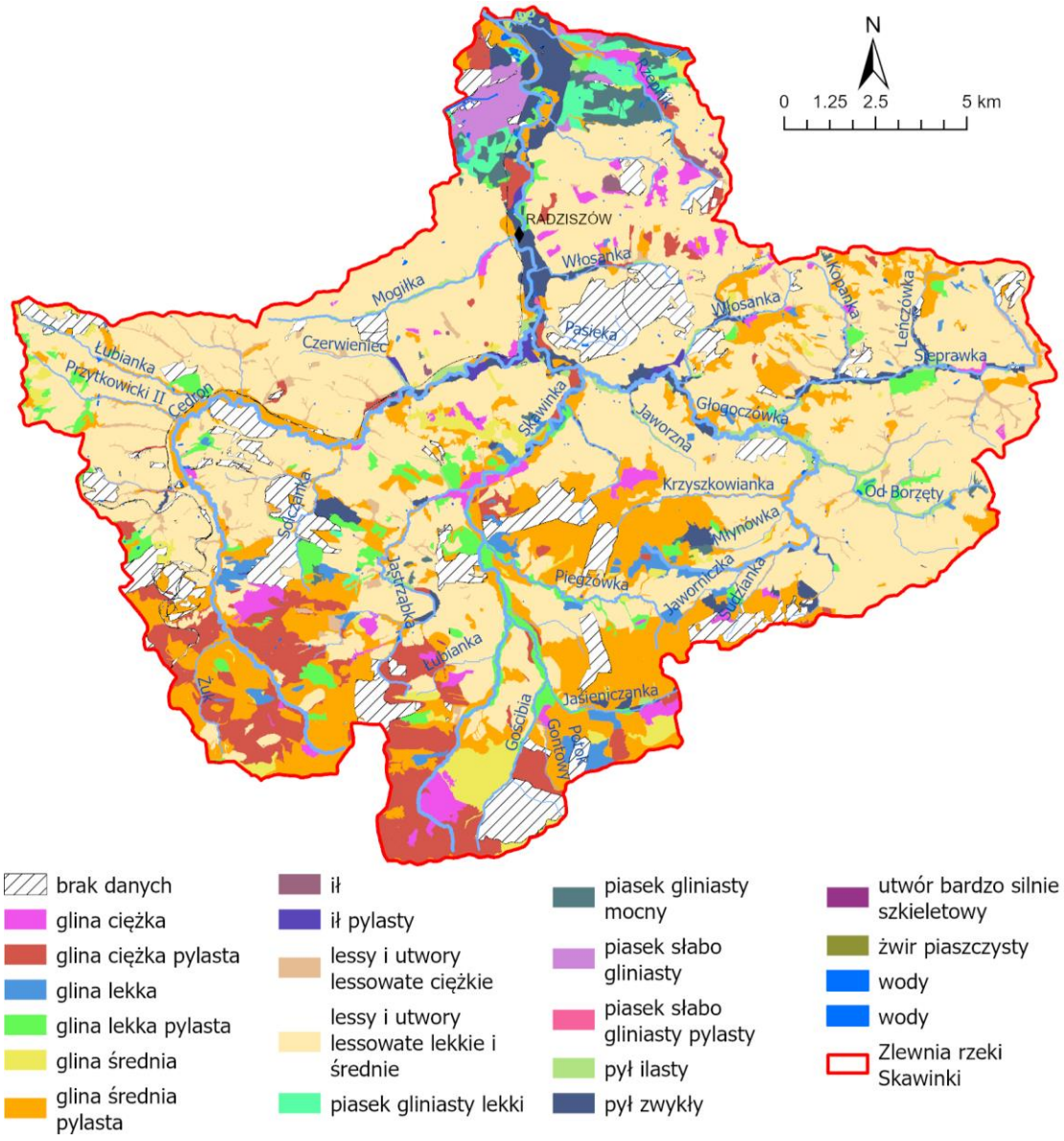


Rys. 15 Rozkład powierzchni terenów o różnym nachyleniu na obszarze zlewni.

2.6. Gleby

W opracowaniu przeanalizowano występowanie poszczególnych gatunków gleb na obszarze zlewni (Rys. 16). W analizie uwzględniono wierzchnią warstwę utworów powierzchniowych o decydującym znaczenia dla rolnictwa i retencji wód opadowych.

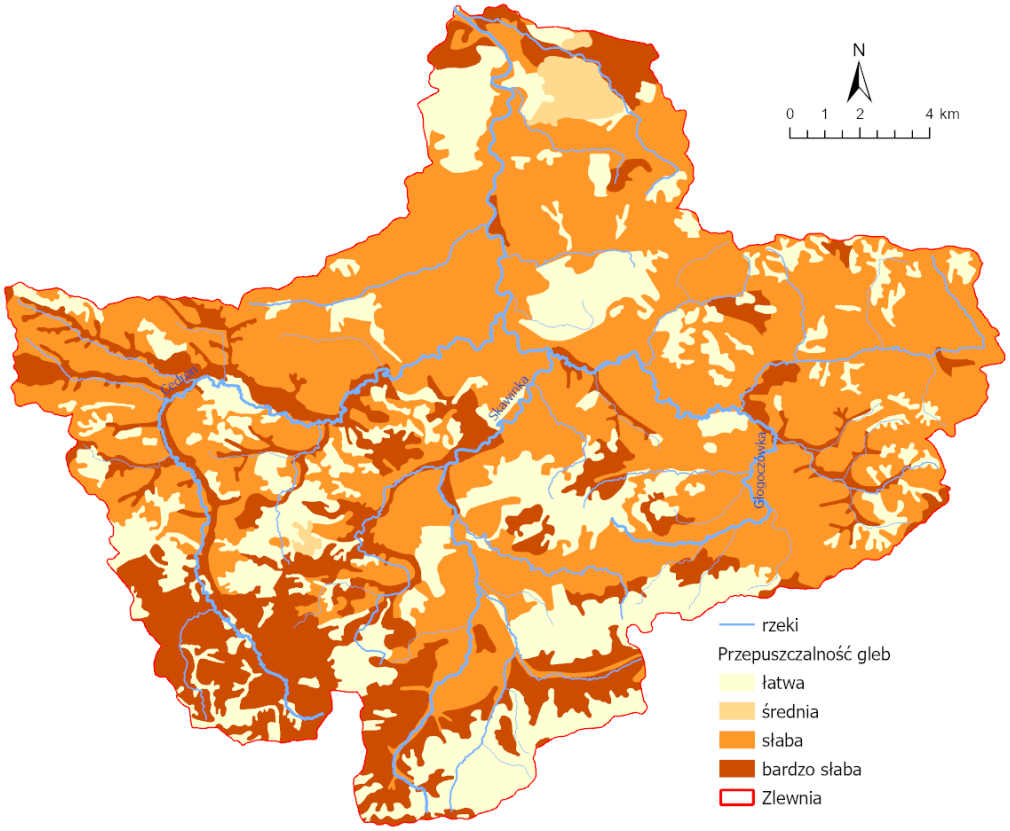
Na obszarze zlewni przeważają (ponad 50% powierzchni) gleby wytworzonej z lessów różnych rodzajów (Tab. 3). Kolejną powszechnie występującą grupą są inne gleby pylaste (32%). Wymienione gleby posiadają wysokie zdolności retencyjne, ale w warunkach dużego uwilgotnienia są podatne na erozję wodną. Jak pokazuje mapa na Rys. 17 łącznie gleby słabo i bardzo słabo przepuszczalne zajmują około 80% powierzchni zlewnie przy założeniu, że w lasach (gdzie nie udało się pozyskać informacji o glebach) są gleby o większej przepuszczalności.



Rys. 16 Mapa glebowo-rolnicza (źródło: https://geoportal.gov.pl)

Tab. 3 Rozmieszczenie gatunków gleb na obszarze zlewni

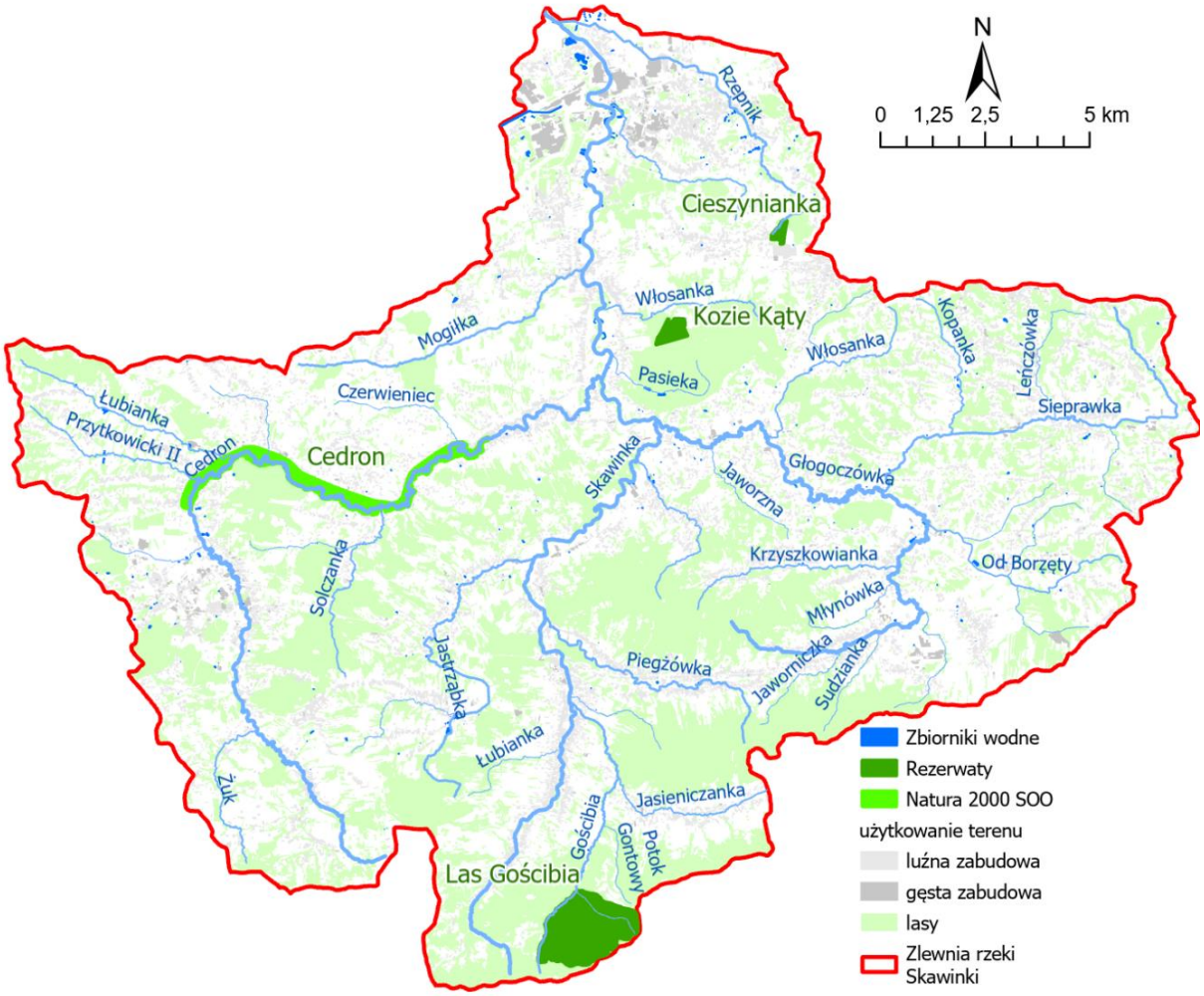
Lp.	gatunek gleby	udział w powierzchni zlewni
1	lessy i utwory lessowate lekkie i średnie	53,58%
2	glina średnia pylasta	18,31%
3	glina ciężka pylasta	7,16%
4	glina lekka pylasta	3,45%
5	pył zwykły	3,11%
6	glina średnia	2,96%
7	glina ciężka	2,40%
8	lessy i utwory lessowate ciężkie	1,79%
9	glina lekka	1,73%
10	pył ilasty	1,50%
11	piasek gliniasty mocny	1,38%
12	piasek gliniasty lekki	1,09%
13	piasek słabo gliniasty	1,02%
14	ił pylasty	0,33%
15	ił	0,16%
16	piasek słabo gliniasty pylasty	0,01%
17	żwir piaszczysty	0,005%
18	utwór bardzo silnie szkieletowy	0,004%
19	brak danych	10,48%



Rys. 17 Zgeneralizowana mapa przepuszczalności gleb (źródła: opracowanie własne)

2.7. Ochrona przyrody

Na terenie zlewnie jest trzy rezerwaty przyrody (Cieszynianka, Kozie Kąty, Las Gościbia) oraz jeden obszar specjalnej ochrony Natura 2000 o nazwie Cedron. Ich położenie przedstawiono na Rys. 18.



Rys. 18 Lokalizacja obszarów chronionych na terenie zlewnie Skalinki (źródło: własne)

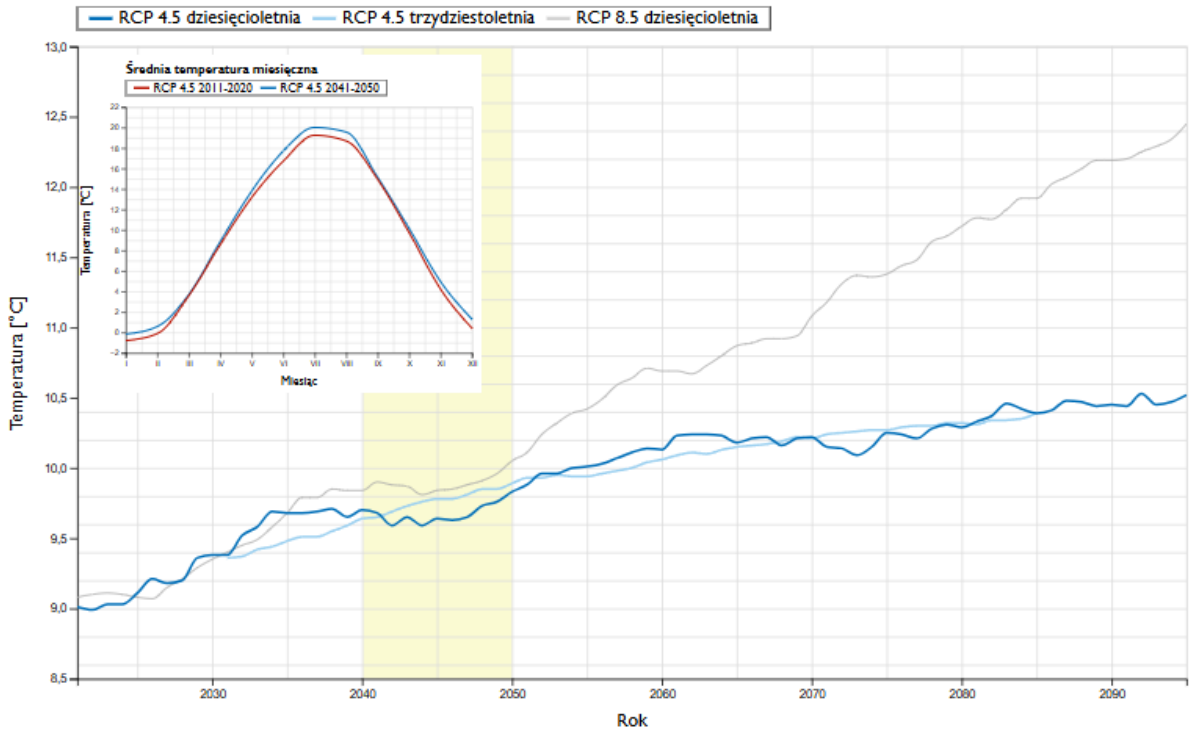
3. Zagrożenia

3.1. Zmiany klimatu

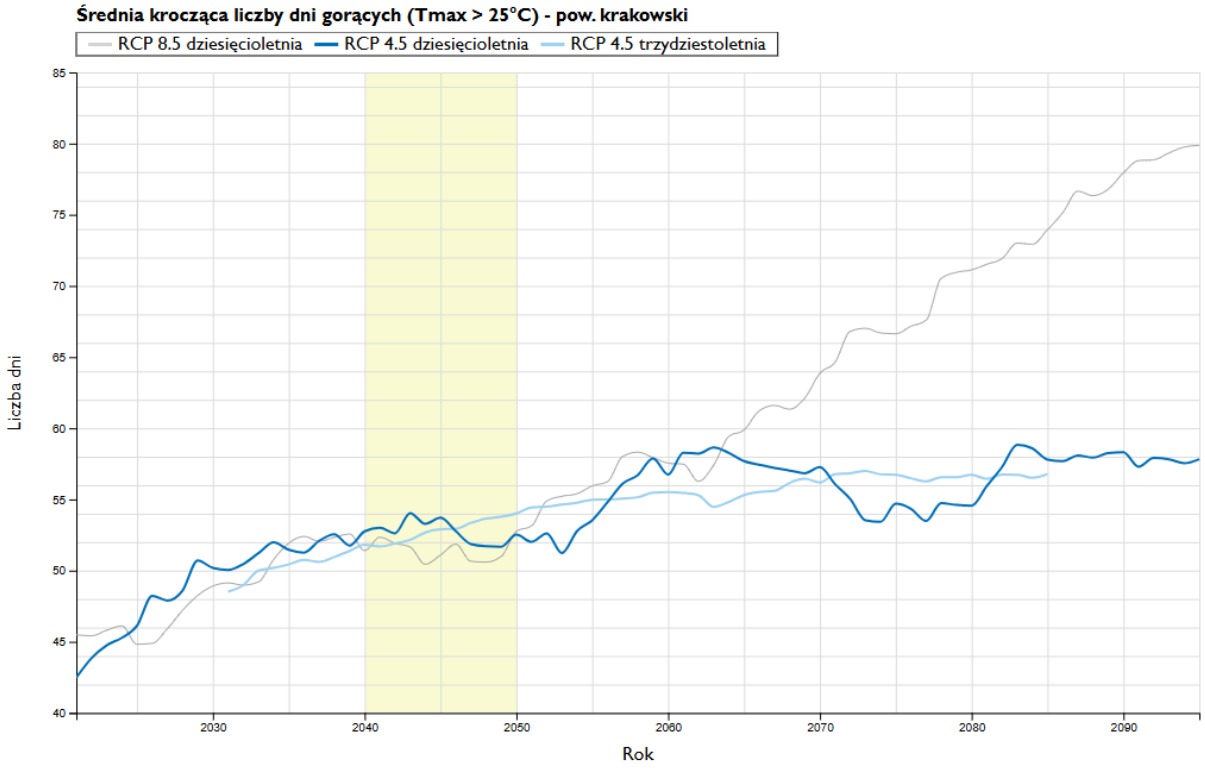
Zmiany klimatu wywierają coraz większy wpływ na różne sektory gospodarki, powodując wzrost kosztów produkcji, zakłócenia łańcuchów dostaw oraz zwiększone ryzyko związane z ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi. Sektory takie jak rolnictwo, energetyka, turystyka czy ubezpieczenia są szczególnie narażone na negatywne konsekwencje zmian klimatycznych. Częstsze i intensywniejsze opady deszczu, przyspieszające topnienie śniegu oraz zwiększają ryzyko powodzi błyskawicznych i długotrwałych podtopień. Z kolei susze, które są również skutkiem zmian klimatu, mogą prowadzić do osłabienia gleby i zwiększenia jej podatności na erozję, co dodatkowo przyczynia się do problemów z zalewami podczas intensywnych opadów. Ponadto nasilają problem podtopień terenów zurbanizowanych poprzez zwiększenie częstotliwości i intensywności ekstremalnych opadów deszczu. Skutkuje to przeładowaniem systemów kanalizacyjnych, powodując zalewanie ulic, piwnic i budynków, co prowadzi do znacznych strat materialnych i zakłóceń w funkcjonowaniu miast. Analizy wpływu zmian klimatu na wybrany obszar można wykonać korzystając z kilku portali internetowych opracowanych specjalnie dla warunków naszego kraju. W szczególności w tym opracowaniu, wykorzystane dwa z nich opracowane, odpowiednio, przez Instytut Ochrony Środowiska (https://klimada2.ios.gov.pl/klimat-scenariusze) oraz Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (https://climateimpact.sggw.pl/). Pierwszy z nich pokazuje predykcje rzeczywistych wartości wskaźników zmian klimatu w poszczególnych powiatach i cyklach 10 letnich, porównując je do średniej z lat 2011-2020. Drugi portal skupia się na zlewniach i stacjach klimatycznych, analizując zmiany w 30-letnich okresach i porównując je do średniej z lat 1970-2000. Dlatego trudno ich wyniki porównywać i często dostrzec zmiany, do których może dojść po 10 latach. Pierwszy portal umożliwia w prosty sposób przyjęcie konkretnej wartości np. temperatury do obliczeń np. projektowych w drugim są zmiany procentowe i wymaga to przeliczeń. Natomiast drugi portal jako jedyny przedstawia wpływ zmian klimatu na wskaźniki hydrologiczne konkretnie dla zlewni rzeki Skawinki. Dlatego w poniższej analizie przedstawiono wybiórce analizy z obu portali oraz dla scenariusza umiarkowanego (RCP45) i pesymistycznego (RCP85) zmian CO_2. Predykcje zmian średniej temperatury i liczy dni gorących i bardzo mroźnych przedstawiono na Rys. 19-Rys. 21. Wynika z nich, że w scenariuszu umiarkowanym zmian CO_2, który zakłada redukcję dotychczasowej emisji, średnio roczna temperatura powietrza będzie rosła i w roku 2100 podskoczy, aż o 1,5^{o}C (patrząc na krzywą jasno niebieską, która reprezentuje umiarkowany trend z krokiem 30 letnim). Jeżeli emisja CO_2 zostanie na tym samym poziomie co dotychczas temperatura wzrośnie o 3,5^{o}C, co może wywołać wywoła lawinę nieodwracalnych w skutkach katastrof. Konsekwencją umiarkowanego wzrostu temperatury będzie wzrost liczby dni gorących z 44 do 56 spadek dni bardzo mroźnych z 13,5 do 10 dla scenariusza umiarkowanego RCP4.5. Intensywne wzrosty lub spadki się załamują około roku 2060 po czym następuje stabilizacja. Natomiast w przypadku liczby dni mroźnych i TCP4.5 dziesięcioletniego pojawia się cykliczność raz na około 20 lat. Podobną cykliczność jednak dużo wyraźniejszą i przesuniętą w czasie widać w

przypadku predykcji rocznych sum opadów atmosferycznych (Rys. 22) i liczby dni w roku z opadem dziennym >20 mm. Opady atmosferyczne podobnie jak średnia temperatura wykazują trend rosnący od 810 do 850 mm. Konsekwencją tego jest wzrost wskaźnika intensywności opadów z 5,75 do 5,95 (Rys. 23) oraz liczby dni z opadem dziennym większym lub równym 20mm z 4,9 do 5,45 (Rys. 24). Zmiany miesięczne przedstawione na małych wykresach pokazują, że średnia temperatura i sumy opadów będą się podnosić głównie w miesiącach zimowych i letnich.

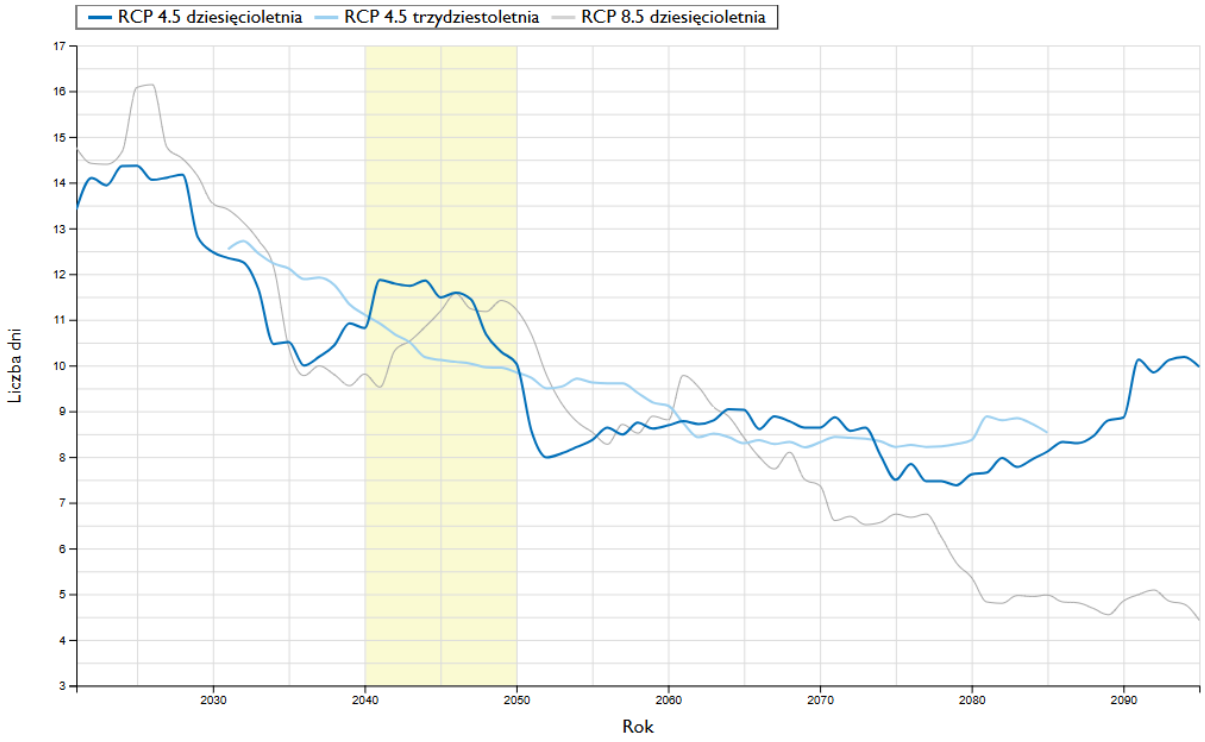
Na podstawie danych opublikowanych na portalu https://climateimpact.sggw.pl, przeanalizowano wpływ zmian klimatu na warunki hydrologiczne zlewni Skawinki. Pochodzą one ze scenariuszy obliczeniowych wykonanych na dynamicznym modelu opad odpływ o nazwie Soil and Water Assessment Tool (SWAT) zbudowanego w ramach projektu Chase-PL. Cały cykl budowy i obliczeń scenariuszowych modelu został opisany w kilku artykułach naukowych autorstwa między innymi dr hab. Mikołaja Piniewskiego z roku 2017, z których część zamieszczono w rozdziale literatura.



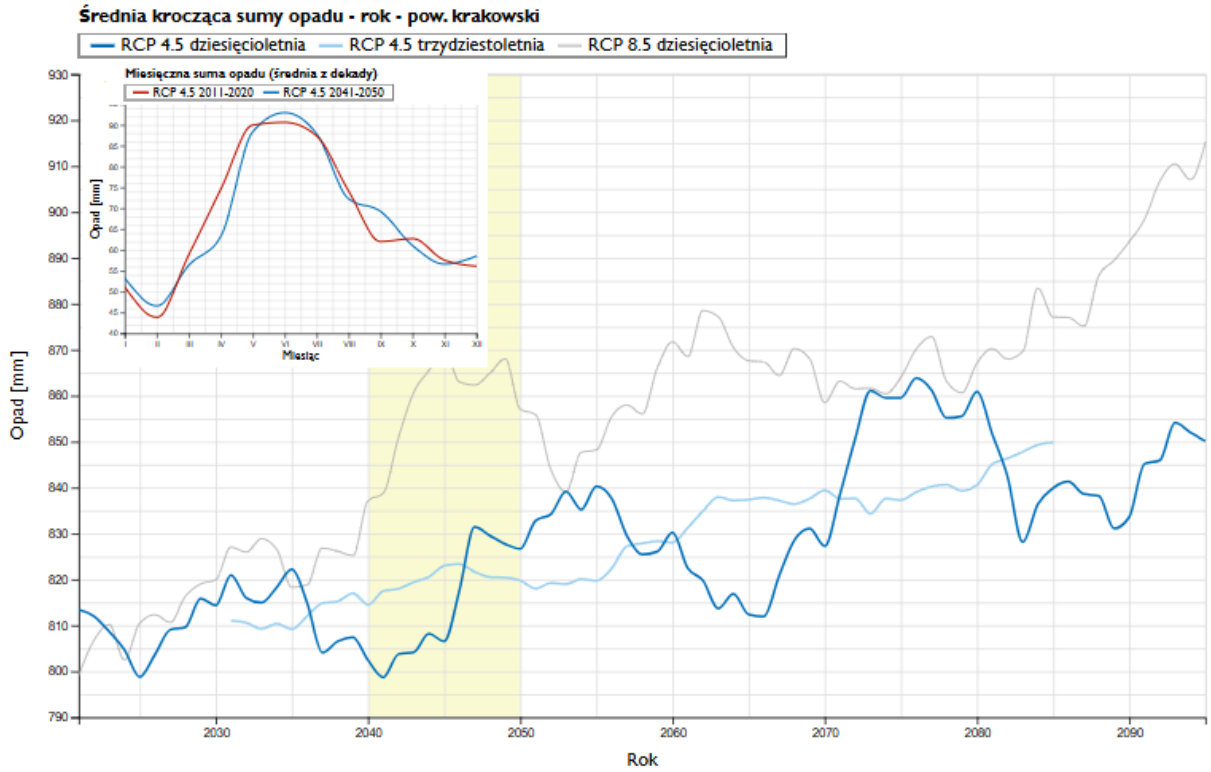
Rys. 19 Predykcje średniej kroczącej temperatury powietrza w roku i temperatury miesięcznej (mniejszy wykres) dla dwóch dziesięcioleci (2011-2020 vs 2041-2050) i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2)



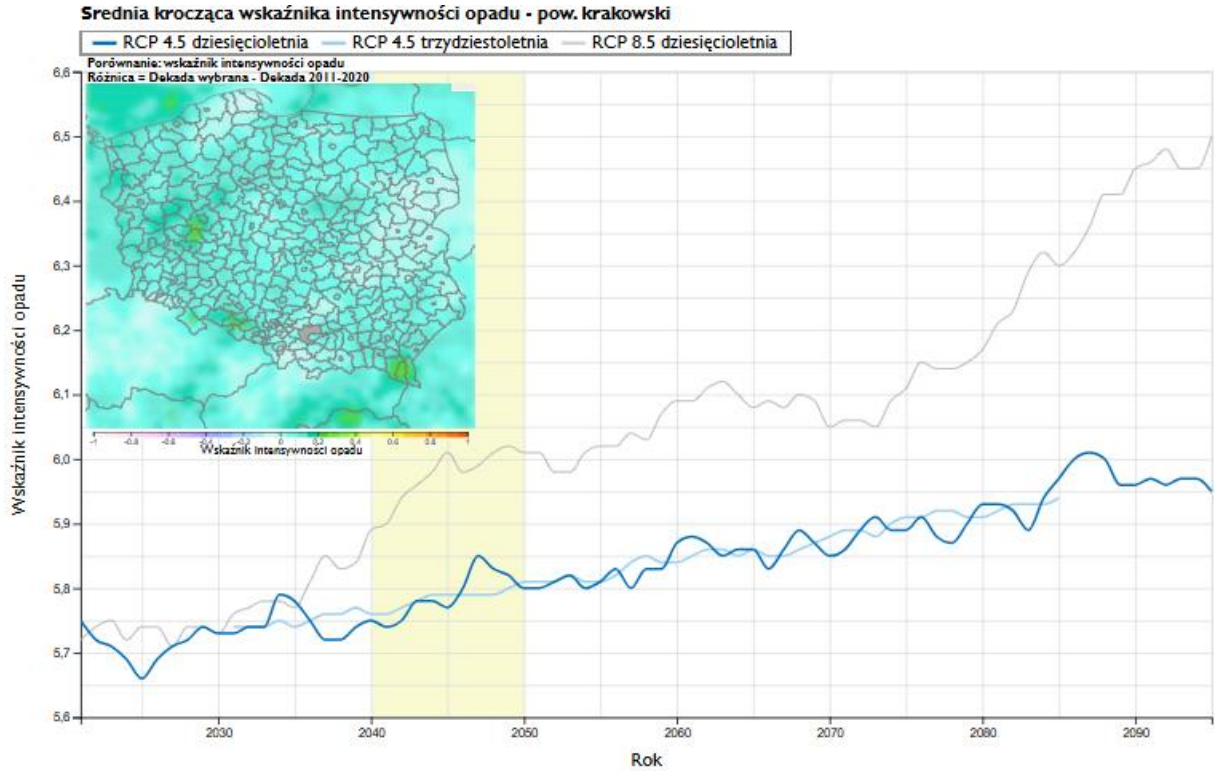
Rys. 20 Predykcje średniej kroczącej liczby dni gorących (Tmax>20°C) w roku i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2)



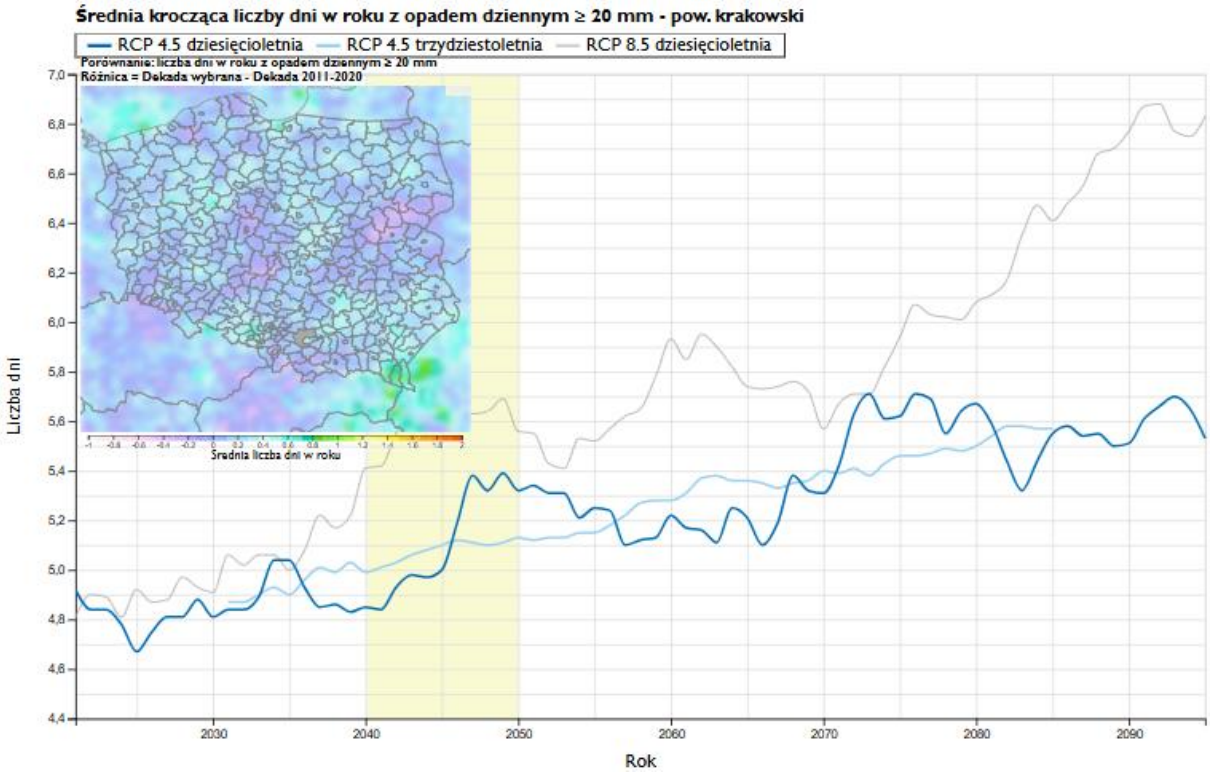
Rys. 21 Predykcje średniej kroczącej liczby dni bardzo mroźnych (Tmax<-10°C) w roku i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2)



Rys. 22 Predykcje średniej kroczącej sumy opadów w roku i miesięcznej (mniejszy wykres) dla dwóch dziesięcioleci (2011-2020 vs 2041-2050) i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2)



Rys. 23 Predykcje średniej kroczącej wskaźnika intensywności opadów w roku i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2)



Rys. 24 Predykcje średniej kroczącej liczby dni w roku z opadem dziennym > 20 mm i scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla pow. krakowskiego (źródło: portal Klimada 2)

W modelu zlewnia Skawinki jest podzielona na trzy podzlewnie (dolną i górną Skawinkę oraz Cedron) natomiast w Tab. 4 zestawiono uśrednione wyniki dla całej zlewni. Dane są podzielone jak w pierwszym portalu na dwa scenariusze zmian CO_2 (umiarkowany i pesymistyczny), sezony i rok oraz na dwa wielolecia: bliską (2021-2050) i daleką przyszłość (2071-2100). Wartości przedstawiają zmiany procentowe wskaźników hydrologicznych w stosunku do wielolecia 1971-2000. Ponieważ predykcje opadu i temperatury były liczone z dziewięciu modeli regionalnych wartości są podane jako mediana lub percentyl 5% lub 95% z ich wyników.

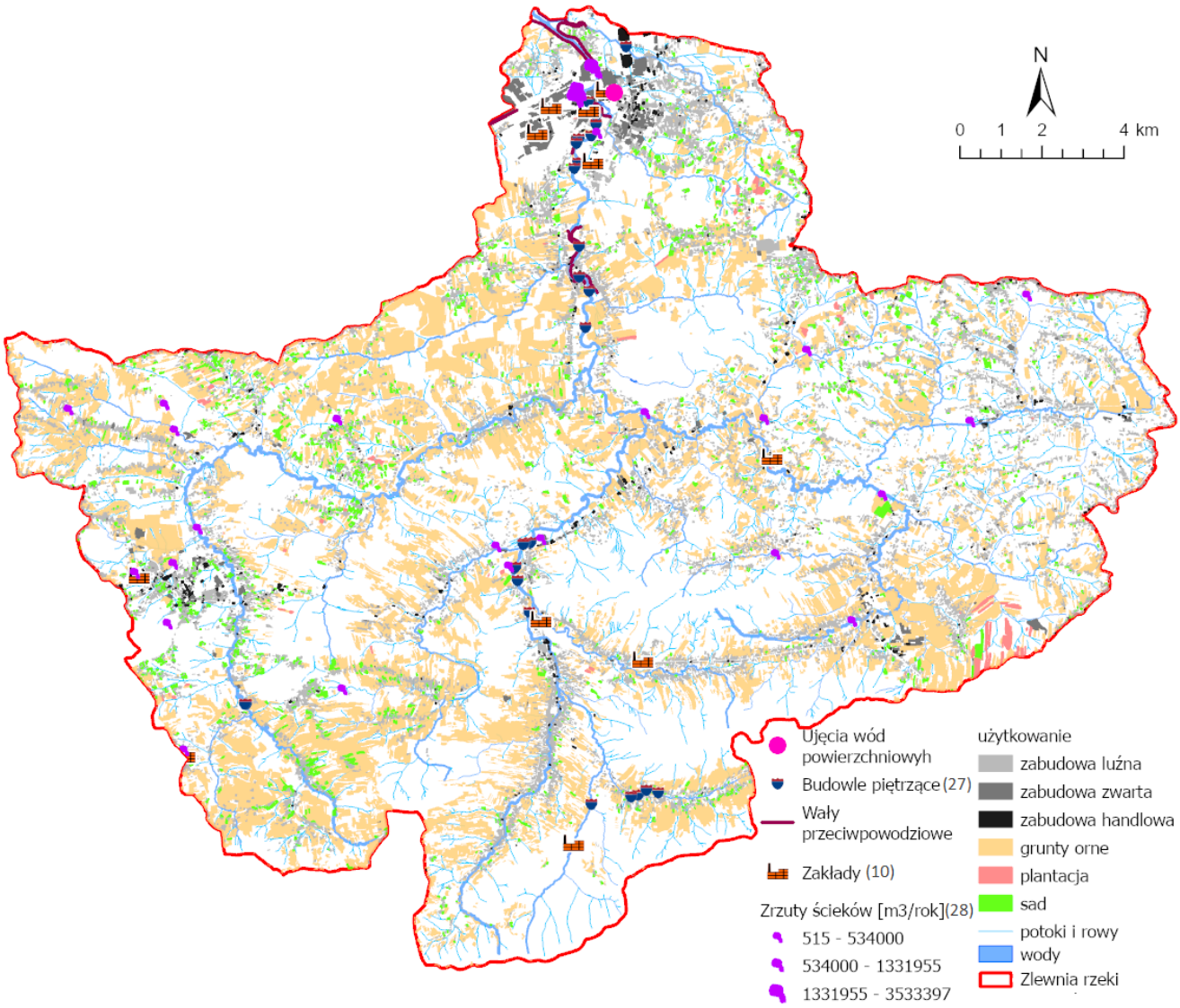
Generalnie można powiedzieć, że podane w Tab. 4 wartości dla scenariusza umiarkowanego są dwa razy mniejsze lub większe od scenariusza pesymistyczne w zależności od trendu. Podobnie jak zmiany pomiędzy bliską a daleką przyszłością. Analizując już tylko scenariusz umiarkowany i bliską przyszłość można stwierdzić, że największe zmiany zachodzą w zimę i na jesieni, na skutek na skutek wzrostu temperatury powietrza i zanikania retencji zimowej. Z punktu widzenia powodzi to następujące wskaźniki sygnalizują wzrost ryzyka: spływ powierzchniowy wzrośnie zimą o 22%, perkolacja zmaleje na wiosnę i lato (może ze względu na intensywność opadów), wysokie przepływy wzrosną w każdej porze roku o ponad 20%. Z punktu widzenia suszy to następujące wskaźniki sygnalizują wzrost jej intensywności, spadek perkolacji wiosną i latem, wzrost odpływu całkowitego w miesiącach wiosenno-letnich, pogłębienie niżówek w cieku (tj. przepływu niskiego Q10%). Dla podkreślenia niekorzystnych trendów dotyczących problemów z powodzią i suszą w Tab. 4 zaznaczono je kolorem czerwonym.

Tab. 4 Analiza wpływu zmian klimatu na hydrologię wg. wyników modelu SWAT Odry i Wisły opracowanego w projekcie CHASE-PL

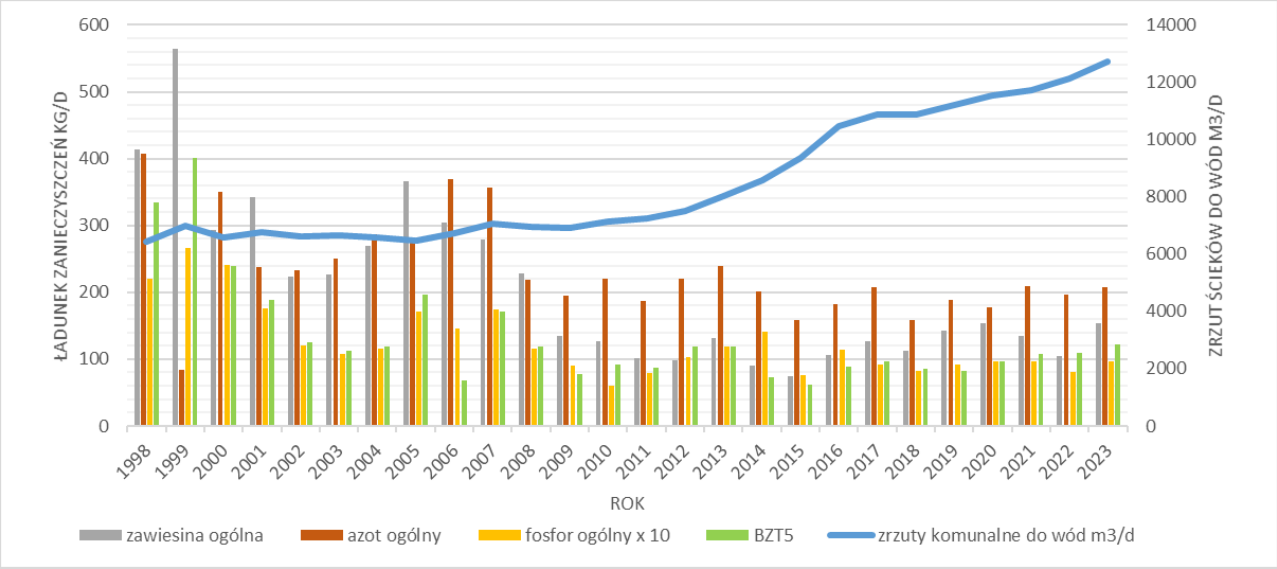
wskaźniki	1970-2000 vs. 2021-2050					1970-2000 vs. 2070-2100				
	rok	zima	wiosna	lato	jesień	rok	zima	wiosna	lato	jesień
	Model zmian CO_2 - umiarkowany RCP45									
Zmiana sumy opadów atmosferycznych [%] - mediana	3,7	12,8	7,1	1,0	0,1	7,4	14,7	18,9	1,8	4,0
Zmiana ewapotranspiracji aktualnej [%] - mediana	2,6	10,7	**7,8**	1,6	-3,1	5,8	28,8	17,7	-0,7	-5,7
Zmiana ewapotranspiracji potencjalnej [%] - opadów atmosferycznych [%] -mediana	3,0	7,1	2,5	2,4	3,5	5,1	15,7	4,6	4,1	6,2
Zmiana topnienia pokrywy śnieżnej [%] - mediana	-14,6	-7,7	-16,5		**-48,5**	**-35,8**	-7,0	**-57,5**		**-65,3**
Zmiana spływu powierzchniowego [%] - mediana	4,3	**22,0**	2,6	-1,2	-3,6	12,7	22,2	-0,5	11,2	4,1
Zmiana perkolacji [%] - mediana	7,1	**42,2**	**-8,2**	**-18,4**	**17,4**	22,5	**81,4**	-8,2	-14,5	23,7
Zmiana zawartości wody w glebie [%] - mediana	-0,1	1,2	-0,2	-1,6	-0,4	-0,7	1,2	-0,9	-2,9	0,1
Zmiana odpływu podziemnego [%] - mediana	7,2	**31,8**	8,3	-4,8	-2,6	20,4	**61,0**	17,0	3,1	4,8
Zmiana odpływu całkowitego [%] - percentyl 5%	-1,3	11,4	-14,0	-16,1	-10,4	-2,8	14,4	-17,4	-3,4	-10,2
Zmiana odpływu całkowitego [%] - mediana	**9,3**	**22,5**	**13,5**	**5,1**	-0,6	17,3	31,2	9,0	9,7	5,8
Zmiana odpływu całkowitego [%] - percentyl 95%	22,1	**41,8**	22,4	33,0	27,4	21,9	**55,4**	23,1	24,3	28,4
Zmiana przepływu niskiego Q10 [%] - mediana	-1,4	14,0	**-14,6**	**-17,4**	**-10,3**	-2,6	19,9	-18,5	-4,1	-10,0
Zmiana średniego przepływu [%] - mediana	9,0	24,3	11,4	5,4	8,7	17,0	41,0	6,8	12,5	3,6
Zmiana przepływu wysokiego Q90 [%] - mediana	**21,4**	**42,7**	**19,1**	**31,7**	**22,2**	20,7	**54,2**	19,8	21,7	26,9
	Model zmian CO_2 - pesymistyczny RCP85									
Zmiana sumy opadów atmosferycznych [%] - mediana	7,5	8,1	9,8	3,4	11,6	7,5	8,1	9,8	3,4	11,6
Zmiana ewapotranspiracji aktualnej [%] - mediana	3,2	15,6	11,1	0,1	0,1	3,2	15,6	11,1	0,1	0,1
Zmiana ewapotranspiracji potencjalnej [%] - mediana	3,3	9,4	3,7	2,8	4,4	3,3	9,4	3,7	2,8	4,4
Zmiana topnienia pokrywy śnieżnej [%] - mediana	-22,3	-5,1	**-50,0**		-28,4	-22,3	-5,1	**-50,0**		-28,4
Zmiana spływu powierzchniowego [%] - mediana	10,8	26,2	-13,8	12,9	27,7	10,8	26,2	-13,8	12,9	27,7
Zmiana perkolacji [%] - mediana	19,3	**82,8**	-10,8	-0,5	**50,9**	19,3	**82,8**	-10,8	-0,5	**50,9**
Zmiana zawartości wody w glebie [%] - mediana	1,1	2,3	-0,2	0,2	2,2	1,1	**2,3**	-0,2	0,2	2,2
Zmiana odpływu podziemnego [%] - mediana	20,5	**58,5**	21,8	6,5	5,8	20,5	**58,5**	21,8	6,5	5,8
Zmiana odpływu całkowitego [%] - percentyl 5%	0,1	19,0	-12,8	-6,3	-12,2	0,1	19,0	-12,8	-6,3	-12,2
Zmiana odpływu całkowitego [%] - mediana	16,8	**33,9**	2,9	11,5	23,4	16,8	33,9	2,9	11,5	23,4
Zmiana odpływu całkowitego [%] - percentyl 95%	27,2	**59,9**	21,9	31,7	**63,8**	27,2	**59,9**	21,9	31,7	**63,8**
Zmiana przepływu niskiego Q10 [%] - mediana	0,1	20,9	-12,0	-6,2	-6,5	0,1	20,9	-12,0	-6,2	-6,5
Zmiana średniego przepływu [%] - mediana	15,7	**45,4**	3,9	10,3	19,4	15,7	**45,4**	3,9	10,3	19,4
Zmiana przepływu wysokiego Q90 [%] - mediana	26,3	**54,0**	14,8	30,0	**64,5**	26,3	**54,0**	14,8	30,0	**64,5**

3.2. Antropopresja

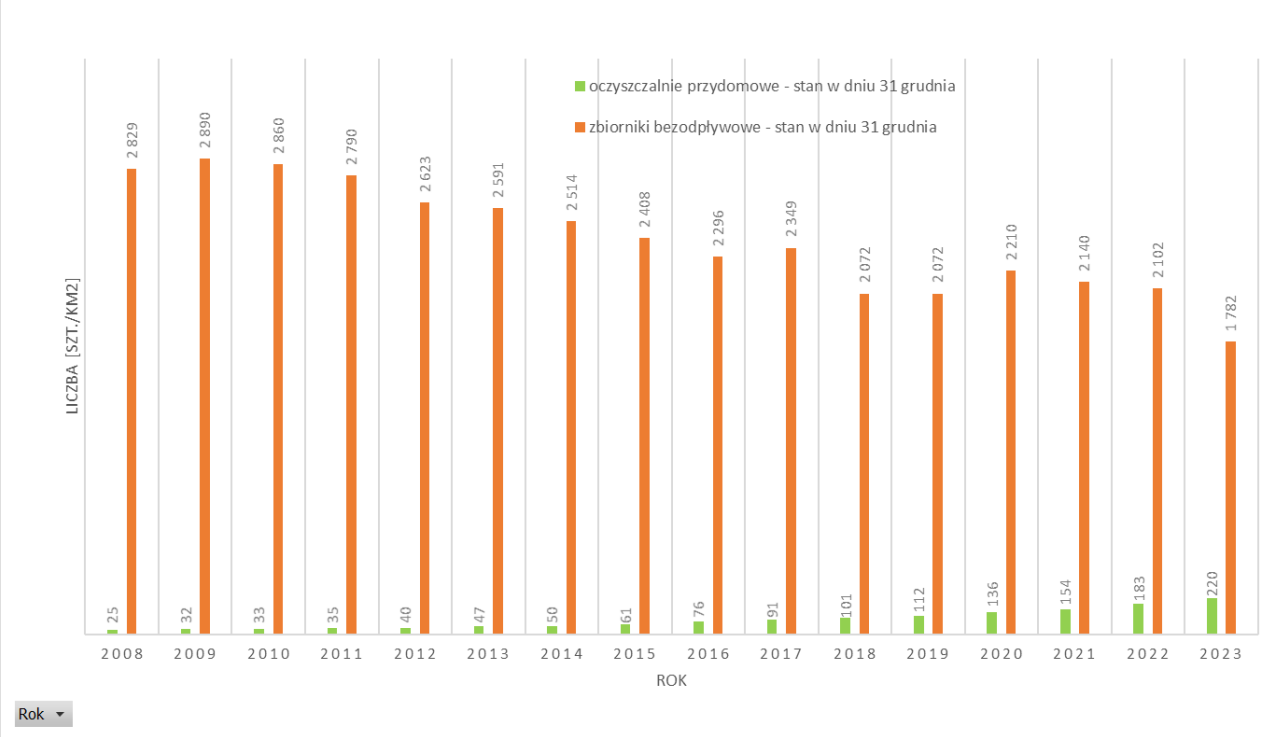
Antropopresja oraz niektóre naturalne cechy środoiwska są głównym czynnikiem złego stanu lub potenciału wód dlatego ich identyfikacja przestrzenna jest niezbędna dla prezcyzyjnego rozmieszczenie działań redukujących ich negatywne odziaływanie. Na Rys. 25 rozmieszczono punkowe, liniowe, obszarowe i rozproszone presje na wody podziemne i powierzchniowe. Wynika z niej, że największa antropopresja jest w ujściowym odcinku rzeki Skawinki z uwagi na to, że jest to teren najliczniej zaludniony. Występują na nim wszytkie rodzaje presji o największym zagęszczeniu. Są na jego terenie największe zrzuty komunalne i przemysłowe, ujęcia wód, liczne zakłady wywierające wpływ na wody, uregulowane i obwałowane odcinki rzek oraz duże powierzchnie zabudowy zawartej. Wyraźnie mniejsze skupiska terenów zurbanizowanych są w zachodniej (Kalwaria Zebrzydowska) i południowej (Sułkowice) części zlewni. Tereny z luźną zabudową położone są przeważnie bezpośrednio przy rzece Skawinice i jej głównych dopływach, co sprawia, że zanieczyszczenia rozproszone takie jak szamba lub spływy z ulic pogarszają stan wód. Największa presja rolnicza jest w zachoniej i południowo-wchodzniej części zlewni. Dużo odcinków rzek, potoków i rowów przylega do gruntów ornych co dodatkowo wprowadza ryzyko zanieczyszczenia bepośredniego tych cieków. Ryzyko to nie jest takie duże z uwagi na to, że nawożenie tych gruntów jest bardzo małe i nie przekracza 40 kg azotu/ha i 11 kg fosforu (P_2O_5)/ha. Rozmieszczenie przestrzenne nawożenia przedstawiono na Rys. 28 i Rys. 29. Widać na nim, że największe nawożenie azotem i fosforem występuje w gminie Kalwaria Zebrzydowska a nieco mniejsze w gminie Skawina i Mogilany. Jednka nadal w skali Kraju są to bardzo małe dawki, które nie powinny przy zachowaniu dobrych praktyk rolniczych i podczas normalnych warunków pogodowych zagrażać zanieczyszczeniu wod podziemnych lub powierzchniowym. Na terenie zlewnie jest 28 zrzutów ścieków, z których 13 jest pochodzenia komunalnych, 8 przemysłowego a 6 bytowo-gospodarczego. Największe zrzuty są w ujściowym odcinku rzeki Skawinki (i pochodzą z oczyszczalni komunalnej i Elektrowni wodnej) pozostałe – znacznie mniejsze rozproszone są po całej zlewni. Ich rozkład w wieloleciu 1998-2023 przedstawia Rys. 26, w którym przedstawiono wielkość zrzutu i ładunków zanieczyszczeń pochodzących ze zrzutów komunalnych. Widać na nim, że w okresie 25 lat wielkość zrzutów wzrosła o prawie 90%, natomiast ładunek biogenów, zawiesin i BZT_5 zmalała co świadczy o rosnącej sprawności tych oczyszczalni.


N
0 1 2 4 km
Ujęcia wód powierzchniowyh
Budowle piętrzące (27)
Wały przeciwpowodziowe
Zakłady (10)
Zrzuty ścieków [m3/rok](28)
515 - 534000
534000 - 1331955
1331955 - 3533397
użytkowanie
zabudowa luźna
zabudowa zwarta
zabudowa handlowa
grunty orne
plantacja
sad
potoki i rowy
wody
Zlewnia rzeki

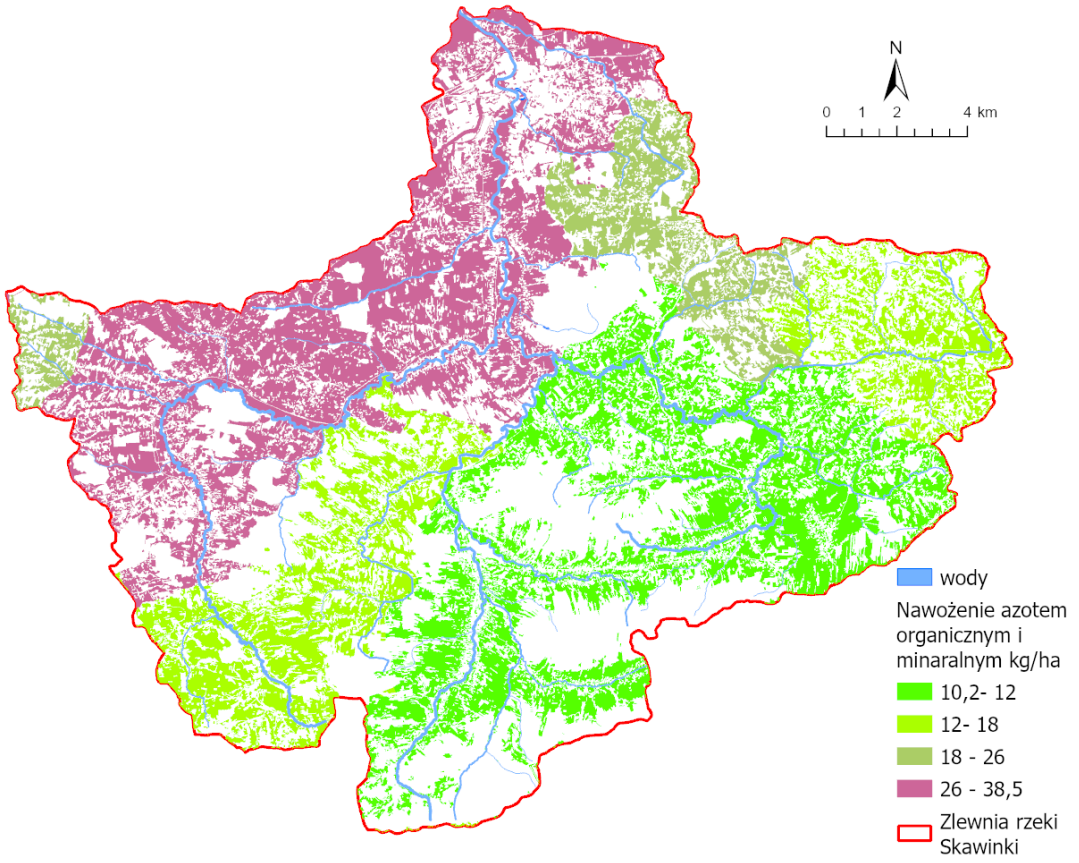
Rys. 25 Mapa antropopresji na wody powierzchniowe i podziemne



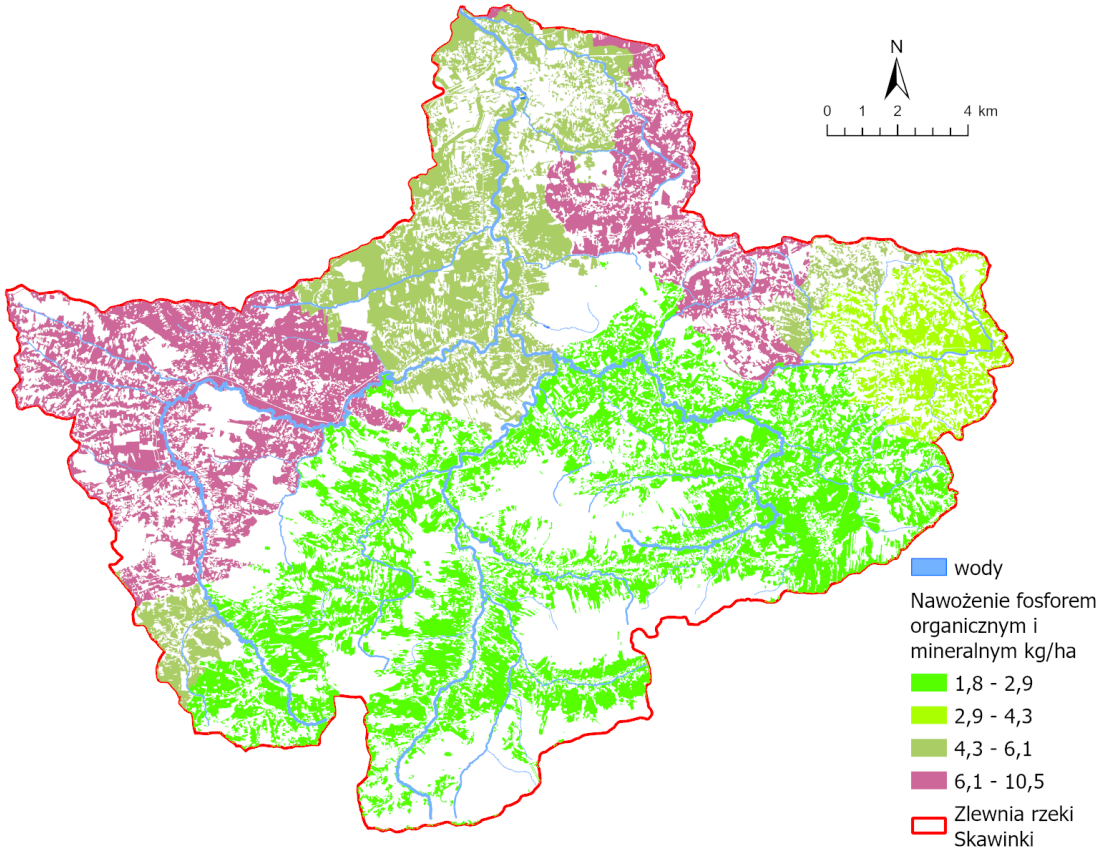
Rys. 26 Zmiany przepływu i ładunku zrzutów z oczyszczalni komunalnych w zlewni Skawinki (źródło GUS dla 7 gmin pokrywających powyżej 80% powierzchni zlewni)



Rys. 27 Zmiany liczby nieczystości ciekłych deponowanych lokalnie w zlewnie Skawinka (źródło GUS dla 7 gmin pokrywających powyżej 80% powierzchni zlewni)



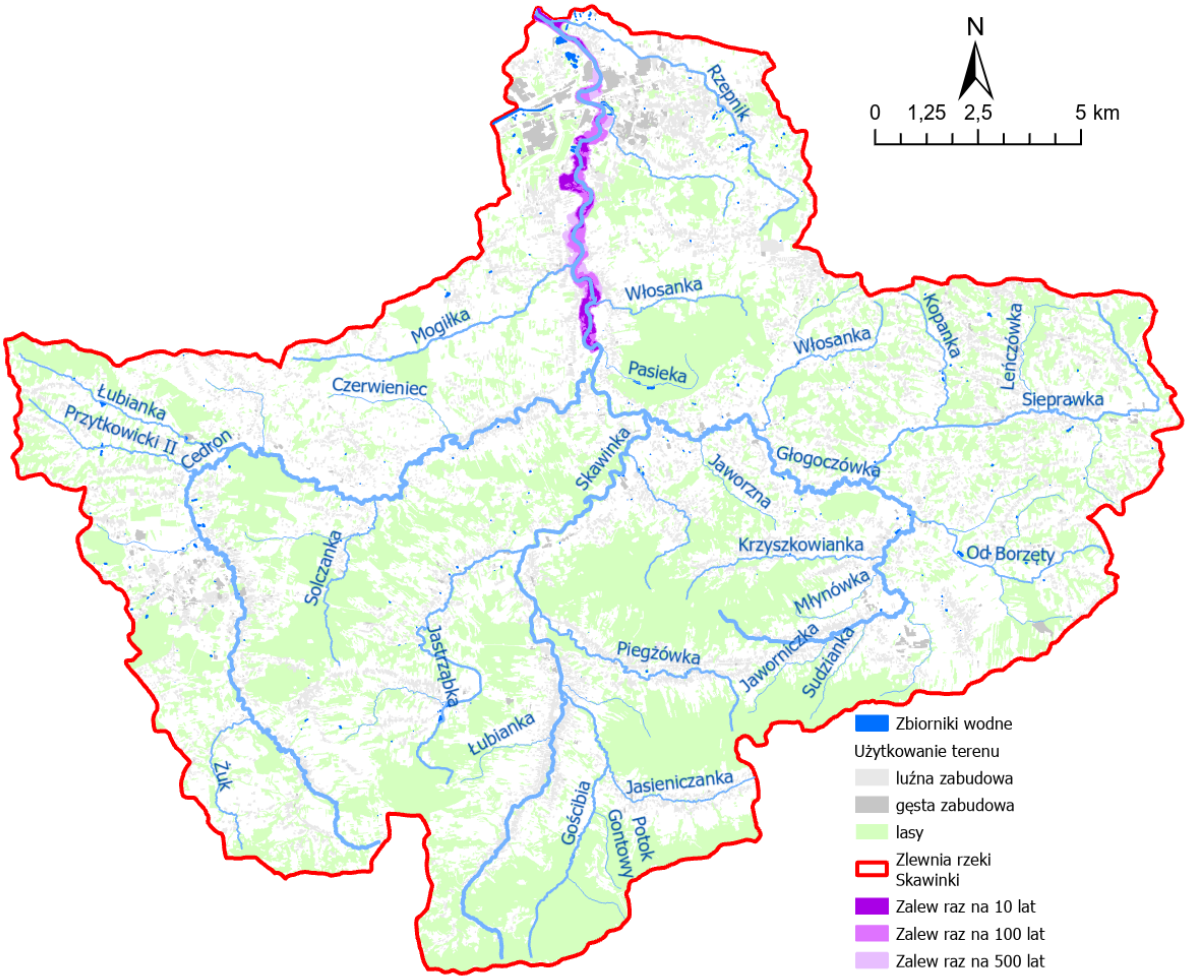
Rys. 28 Suma nawożenia użytków rolnych azotem organicznym i mineralnym (źródło GUS, Spis Powszechny 2020r)



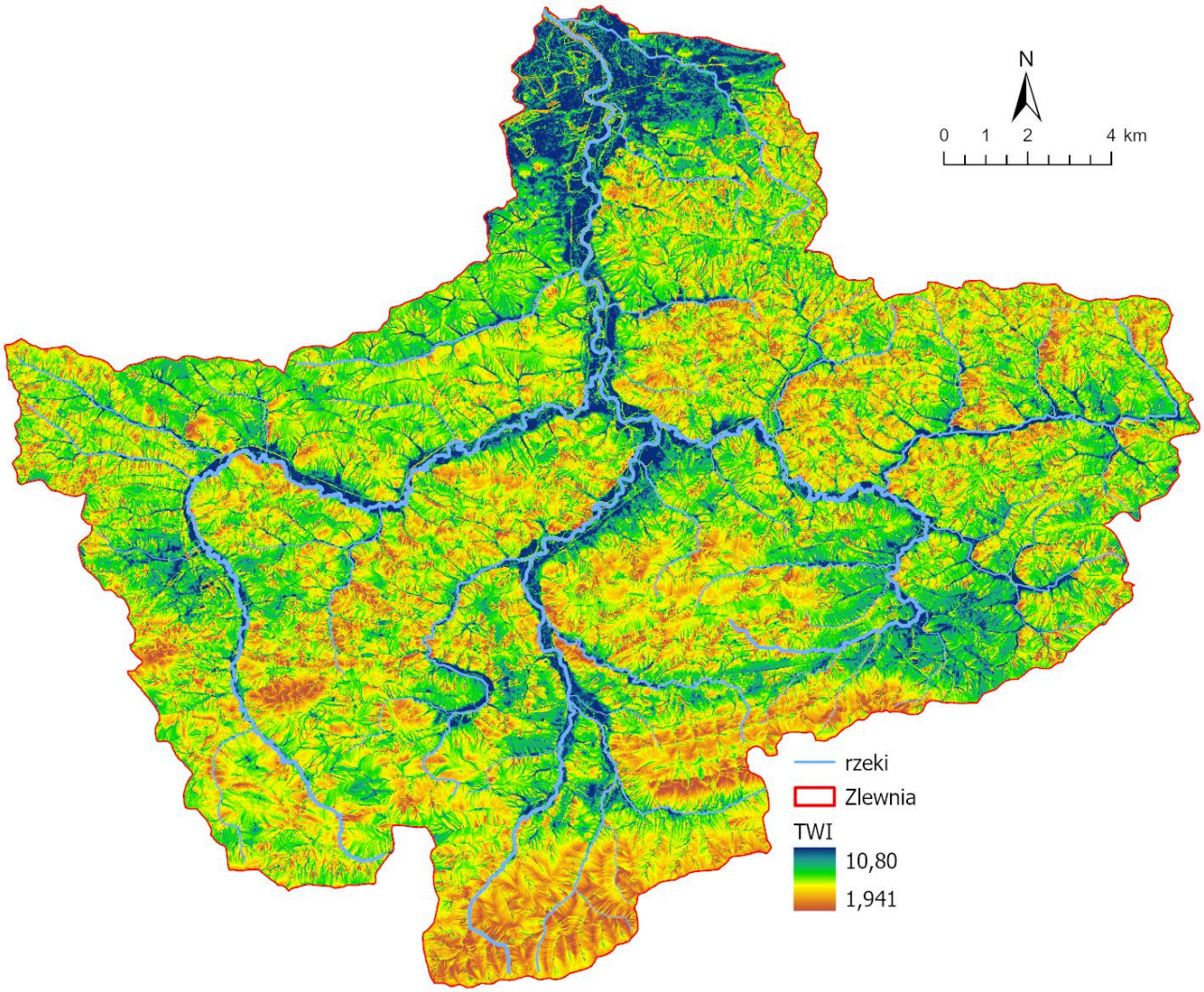
Rys. 29 Suma nawożenia użytków rolnych fosforem organicznym i mineralnym (źródło GUS, Spis Powszechny 2020r)

3.3. Zalewy i podtopienia

Zasięg zalewów o prawdopodobieństwie raz na 10, 100 i 500 lat został opracowany na podstawie analizy wieloletnich obserwacji poziomu i przepływu wody na wodowskazie Radziszów i obliczeń modelem hydraulicznym MIKE 11. Prace wykonano w ramach opracowania Mapy zagrożenia powodziowego opracowanej w ramach Informatycznego Systemu Osłony Kraju (ISOK) w latach 2020-2021 dla warunków, gdy zalew pochodzi od rzeki i sytuacji, gdy wały nie zostaną przerwane. Jak przedstawia Rys. 30 zalewy występują w dolnej części zlewni w pobliżu terenów zamieszkałych, co zwiększa ryzyko dużych strat w sytuacji, gdyby doszło do przerwania wałów. W celu zobrazowania dolin zalewowych i obszarów bezodpływowych zalewanych w okresie opadów nawalnych na Rys. 31 przedstawiono Topograficzny wskaźnik wilgotności (TWI) opracowany na podstawie Numerycznego Modelu Terenu o rozdzielczości 5m. Wskaźnik ten przedstawia potencjał gromadzenia się wody.



Rys. 30 Mapa zagrożenia powodziowego od rzeki Skawinki w sytuacji, gdy wały nie zostaną przerwane (źródło: https://wody.isok.gov.pl/imap_kzgw/?gpmap=gpMZP)



Rys. 31 Mapa potencjalnej koncentracji spływu wód opadowych wykonana wg. Topograficznego Wskaźnika Wilgotności (źródło: opracowanie własne)

Objętość spływu powierzchniowego z opadów nawalnych

Spodziewaną objętość spływu powierzchniowego (Tab. 6) z obszaru zlewni Skawinki obliczono dla trzech scenariuszy o różnych sumach opadów: 30, 40 i 50 mm. Sumy te według probabilistycznego modelu opadów PMAXTP (https://klimat.imgw.pl/opady-maksymalne/) odpowiadają wielkości opadów maksymalnych o następujących prawdopodobieństwach przewyższenia (p) i czasach trwania (t):

- P=30mm, p=2% i t=30 min. lub p=10% i t=60 min. p=20% i t=120 min lub p=50% i t=360 min.;
- P=40mm, p=2% i t=60 min. lub p=10% i t=180 min. p=20% i t=360 min lub p=50% i t=720 min.;
- P=50mm, p=2% i t=120 min. lub p=10% i t=360 min. p=20% i t=720 min lub p=50% i t= 2160 min.;

Obliczenia wykonano dla poszczególnych form pokrycia terenu występujących w bazie BDOT10K, z której pobrano wielkości ich powierzchni w zlewni Skawinki. Dla każdej formy użytkowania na podstawie literatury dobrano współczynnik spływu jednostkowego, odpowiedni dla przeciętnego nachylenia terenu jej występowania, wyznaczonego na podstawie cyfrowego modelu terenu zlewni o rozdzielczości 10 metrów.

Tab. 5 Analiza spodziewanej objętości spływu powierzchniowego z obszaru zlewni Skawinki dla różnych scenariuszy opadowych

użytkowanie /pokrycie terenu	klasa użytkowania	mediana spadku terenu [%]	powierzchnia [ha]	udział w pow. zlewni [%]	wsp. spływu	zlewnia zredukowana [ha]	objętość spływu dla deszczu p=30mm [m^3]	objętość spływu dla deszczu p=40mm [m^3]	objętość spływu dla deszczu p=50mm [m^3]
grunt orny	użytki rolne	10,5	8044,16	22,8%	0,25	2011,04	603 312	804 416	1 005 520
zabudowa handlowo-usługowa	teren zurbanizowany	4,6	96,22	0,3%	0,7	67,354	20 206	26 942	33 677
zabudowa jednorodzinna	teren zurbanizowany	8,2	3546,46	10,0%	0,5	1773,23	531 969	709 292	886 615
las	las	20,0	12960,06	36,7%	0,2	2592,012	777 604	1 036 805	1 296 006
ogródki działkowe	użytki rolne	4,9	30,77	0,1%	0,2	6,154	1 846	2 462	3 077
plantacja	użytki rolne	10,5	71,49	0,2%	0,2	14,298	4 289	5 719	7 149
pozostała zabudowa	teren zurbanizowany	6,6	229,76	0,7%	0,7	160,832	48 250	64 333	80 416
zabudowa przemysłowo-składowa	teren zurbanizowany	2,5	252,83	0,7%	0,65	164,3395	49 302	65 736	82 170
roślinność trawiasta	roślinność trawiasta	10,3	8835,05	25,0%	0,3	2650,515	795 155	1 060 206	1 325 258
sad	użytki rolne	12,7	562,51	1,6%	0,3	168,753	50 626	67 501	84 377
szkółka leśna	użytki rolne	3,0	0,06	0,0%	0,15	0,009	3	4	5
szkółka roślin ozdobnych	użytki rolne	4,4	8,98	0,0%	0,15	1,347	404	539	674
teren piaszczysty/ żwirowy	nieużytki	5,1	2,59	0,0%	0,1	0,259	78	104	130
teren pod drogą kołową	teren zurbanizowany	6,5	222,86	0,6%	0,9	200,574	60 172	80 230	100 287
Teren pod drogą kołową/ torowiskiem	teren zurbanizowany	4,3	0,74	0,0%	0,5	0,37	111	148	185
Teren pod torowiskiem	teren zurbanizowany	5,3	60,09	0,2%	0,5	30,045	9 014	12 018	15 023
teren pod urządzeniami technicznymi budowlami	teren zurbanizowany	6,2	39,53	0,1%	0,9	35,577	10 673	14 231	17 789
Teren przemysłowo-składowy	teren zurbanizowany	2,6	56,82	0,2%	0,65	36,933	11 080	14 773	18 467
teren składowania odpadów komunalnych	nieużytki	11,5	12,45	0,0%	0,1	1,245	374	498	623
zabudowa wielorodzinna	teren zurbanizowany	3,7	65,15	0,2%	0,6	39,09	11 727	15 636	19 545
wody płynące	wody powierzchniowe	6,2	59,23	0,2%	1	59,23	17 769	23 692	29 615
wody stojące	wody powierzchniowe	3,3	36,46	0,1%	0,1	3,646	1 094	1 458	1 823
wyrobisko	nieużytki	16,2	1,4	0,0%	0,5	0,7	210	280	350
zadrzewienie	las	8,6	68,15	0,2%	0,11	7,4965	2 249	2 999	3 748
zagajnik	las	15,9	54,01	0,2%	0,17	9,1817	2 755	3 673	4 591
zarośla krzewów	las	6,0	13,27	0,0%	0,07	0,9289	279	372	464
		razem	**35 331**		-	**10 035**	**3 010 548**	**4 014 064**	**5 017 580**

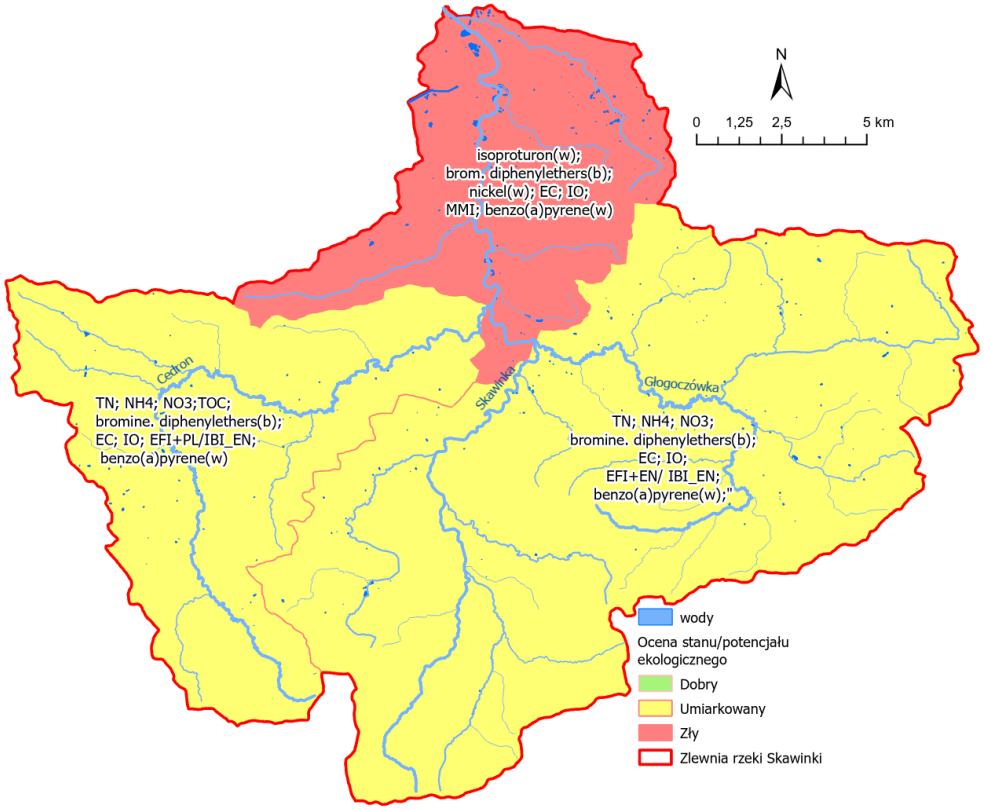
Następnie wyniki przedstawiono dla zgeneralizowanych klas użytkowania terenu w Tab. 6.

Tab. 6 Spodziewana objętość spływu powierzchniowego z obszaru zlewni Skawinki dla różnych scenariuszy opadowych – wyniki zgeneralizowane

zgeneralizowane /użytkowanie pokrycie terenu	powierzchnia [ha]	objętość odpływu dla opadu o sumie p=30mm [m^3]	objętość odpływu dla opadu o sumie p=40mm [m^3]	objętość odpływu dla opadu o sumie p=50mm [m^3]
Użytki rolne	8 718	660 480	880 640	1 100 801
Lasy i zadrzewienia	13 095	782 886	1 043 848	1 304 810
Zbiorowiska trawiaste	8 835	795 155	1 060 206	1 325 258
Obszary zurbanizowane	4 570	752 503	1 003 338	1 254 172
Nieużytki	16	661	882	1 102
Wody powierzchniowe	96	18 863	25 150	31 438
Razem	**35 331**	**3 010 548**	**4 014 064**	**5 017 580**

3.4. Jakość wód

Ocena stanu i potencjału wód powierzchniowych opracowano na podstawie danych GIOŚ i ich klasyfikacji wykonanej na potrzeby Planu Gospodarowania Wodami na obszarze Dorzecza Wisły opublikowanego w Dz.U. 2023 poz. 300. Klasyfikację wskaźników wykonano wg. aktualnie obowiązującego Dz.U. 2021 poz. 1475. Szczegółowe wyniki tych analiza dla każdej JCWP można znaleźć na Hydroportal - ISOK. W ocenie tej ważnym było czy dany odcinek rzeki ma status naturalny, sztuczny czy silnie zmieniony oraz jaki ma typ abiotyczny. Rzeka Skawinka w górnej części ma statut naturalnej a w dolnej silnie zmienionej. Od źródeł do ujścia rzeki Głogoczówki ma typ RWf_wap (Potok lub mała rzeka fliszowa o charakterze węglanowym), a pozostały odcinek ma typ PN (Potok lub strumień nizinny). Ponadto za jednolitą część wód powierzchniowych (JCWP) uznany jej największy dopływ Cedron, który ma typ RWf_wap (Potok lub mała rzeka fliszowa o charakterze węglanowym). Granice trzech JCPW składających się na zlewnię Skawinki wraz z klasyfikacją ich stanu i potencjału ekologicznego oraz listę przekroczonych wskaźników i oznaczeń przedstawiono na Rys. 32. Wynika z niego, że najgorszy potencjał ma dolny odcinek rzeki Skawinki od Głogoczówki do ujścia, natomiast górny odcinek oraz potok Cedron mają stan umiarkowany.



Rys. 32 Ocena stanu ekologicznego wód powierzchniowych w zlewnie Skawinki (wg. Planu Gospodarowania Wodami na obszarze Dorzecza Wisły (2aPGW) opublikowanego w Dz.U. 2023 poz. 300)

W Tab. 7 zestawiono pozostałe oceny oraz presje znaczące. Wynika z niej, że wszystkie trzy JCWP mają zły stan lub potencjał chemiczny oraz ogólny stan wód. Powodem tego są następujące presje znaczące, które szerzej przedstawiono w rozdziale 3.2:

- BIO_HM – na elementy biologiczne zależne od hydromorfologii.
- BIO_FIZ – na elementy biologiczne zależne od fizykochemii.
- FIZ – na elementy fizykochemiczne.
- CHEM – elementy chemiczne
- CHEM_B – na elementy chemiczne (biota)
- OCH – obszary chronione

Wymienione powyżej presje wraz ze wskazanymi dla nich źródłami lub czynnikami wpływającymi na pogarszających ten stan, zestawionymi w Tab. 8, umożliwiają wskazanie głównych przyczyn aktualnej sytuacji.

Tab. 7 Wyniki oceny stanu wód oraz presji znaczących

nr jcwp	nazwa jcwp	ocena stanu/potencjału ekologicznego	ocena stanu chemicznego	ocena stanu wód	presje znaczące	problemy decydujące o złym stanie (cele środowiskowe)
RW2000072135659	Skawinka do Głogoczówki	Umiarkowany stan ekologiczny	Poniżej dobrego	zły stan wód	BIO_HM, BIO_FIZ, FIZ, CHEM, CHEM_B, OCH	azot og., azot amonowy, azot azotanowy, brom. difenyloetery(b), przewod.el.wł, IO, EFI+PL/ IBI_PL, benzo(a)piren(w)
RW20000721356899	Cedron	Umiarkowany stan ekologiczny	Poniżej dobrego	zły stan wód	BIO_FIZ, FIZ, CHEM, CHEM_B, OCH	azot og., azot amonowy, azot azotanowy, OWO, brom. difenyloetery(b), przewod.el.wł, IO, EFI+PL/ IBI_PL, benzo(a)piren(w)
RW2000092135699	Skawinka od Głogoczówki do ujścia	Zły potencjał ekologiczny	Poniżej dobrego	zły stan wód	BIO_HM, BIO_FIZ, FIZ, CHEM, CHEM_B, OCH	izoproturon(w), brom. difenyloetery(b), nikiel(w), przewod.el.wł, IO, MMI, benzo(a)piren(w)

Tab. 8 Zestawienie wskaźników decydujących o złym stanie wody oraz ich źródeł lub czynników pogarszających ten stan

Grupa	Wskaźnik	1 czynnik sprawczy	2 czynnik sprawczy	3 czynnik sprawczy
Elementy biologiczne	Fitobentos - Indeks Okrzemkowy (IO)	**Temperatura wody:** Okrzemki najlepiej rozwijają się w wodach o temperaturze od 15 do 25 stopni Celsjusza. W wodach zimnych i ciepłych ich liczba jest znacznie mniejsza. **Nasłonecznienie:** Okrzemki potrzebują światła do fotosyntezy. W wodach dobrze nasłonecznionych ich liczba jest większa niż w wodach zacienionych. **Skład chemiczny wody:** Okrzemki wymagają do wzrostu dostępu do krzemu, który jest obecny w wodzie w postaci rozpuszczonych związków. W wodach o wysokim stężeniu krzemu okrzemki są bardziej liczne.	**Zasadowość wody:** Okrzemki preferują wody o neutralnym lub lekko zasadowym odczynie. W wodach kwaśnych ich liczba jest mniejsza. **Zasoby pokarmowe:** Okrzemki są organizmami autotroficznymi, czyli produkują własne pożywienie w procesie fotosyntezy. Do ich wzrostu potrzebne są więc pierwiastki niezbędne do fotosyntezy, takie jak azot, fosfor i żelazo.	**Inne czynniki biologiczne:** Okrzemki mogą być ograniczane przez konkurencję ze strony innych organizmów planktonicznych, takich jak glony. **Zmiany środowiskowe:** Okrzemki są wrażliwe na zmiany środowiskowe, takie jak zanieczyszczenia, podwyższona temperatura wody czy zmiany pH.
	Makrobezkręgowce bentosowe - Indeks MMI_PL	**Zmiany hydromorfologiczne,** które mogą prowadzić do utraty ich siedlisk.	**Eutrofizacja,** powodująca zahamowania ich rozwoju. **Skażenie substancjami toksycznymi**, powodujące zahamowanie ich rozwoju lub obumieranie.	**Zmiany klimatu**, niekorzystne czynniki antropogeniczne, takie jak hałas, wibracje czy zanieczyszczenie powietrza, które mogą negatywnie wpływać na rozwój bezkręgowców bentosowych.
	Ichtiofauna - Indeks EFI+PL1)	**Zmiany hydromorfologiczne,** takie jak regulacja koryta rzeki, budownictwo hydrotechniczne czy zanieczyszczenie brzegów, które mogą prowadzić do utraty siedlisk ryb.	**Eutrofizacja**, czyli nadmierne nawożenie wód substancjami organicznymi, które prowadzi do wzrostu biomasy glonów i zahamowania rozwoju ryb.	**Skażenie substancjami toksycznymi**, które może powodować zahamowanie wzrostu lub nawet śmierć ryb.
Warunki tlenowe	Ogólny węgiel organiczny	Ochrona przeciwpowodziowa (zbiorniki zaporowe)	Rolnictwo	Akwakultura
Zasolenie	Przewodność w 20 °C	Przemysł	Rolnictwo	Rozwój obszarów miejskich
Substancje biogenne	Azot amonowy	Przemysł	Rolnictwo	Akwakultura
	Azot azotanowy	Przemysł	Rolnictwo	Rozwój obszarów miejskich
	Azot ogólny	Rolnictwo	Przemysł	Rozwój obszarów miejskich
Substancje priorytetowe	Difenyloetery bromowane	Przemysł	Rozwój obszarów miejskich	
	Izoproturon - zabroniony od 01.10.2017r	Rolnictwo		
	Nikiel i jego związki	Przemysł	Rozwój obszarów miejskich	Rolnictwo
	Benzo(a)piren	Przemysł	Rozwój obszarów miejskich	

4. Inwentaryzacja istniejących obiektów retencji wody

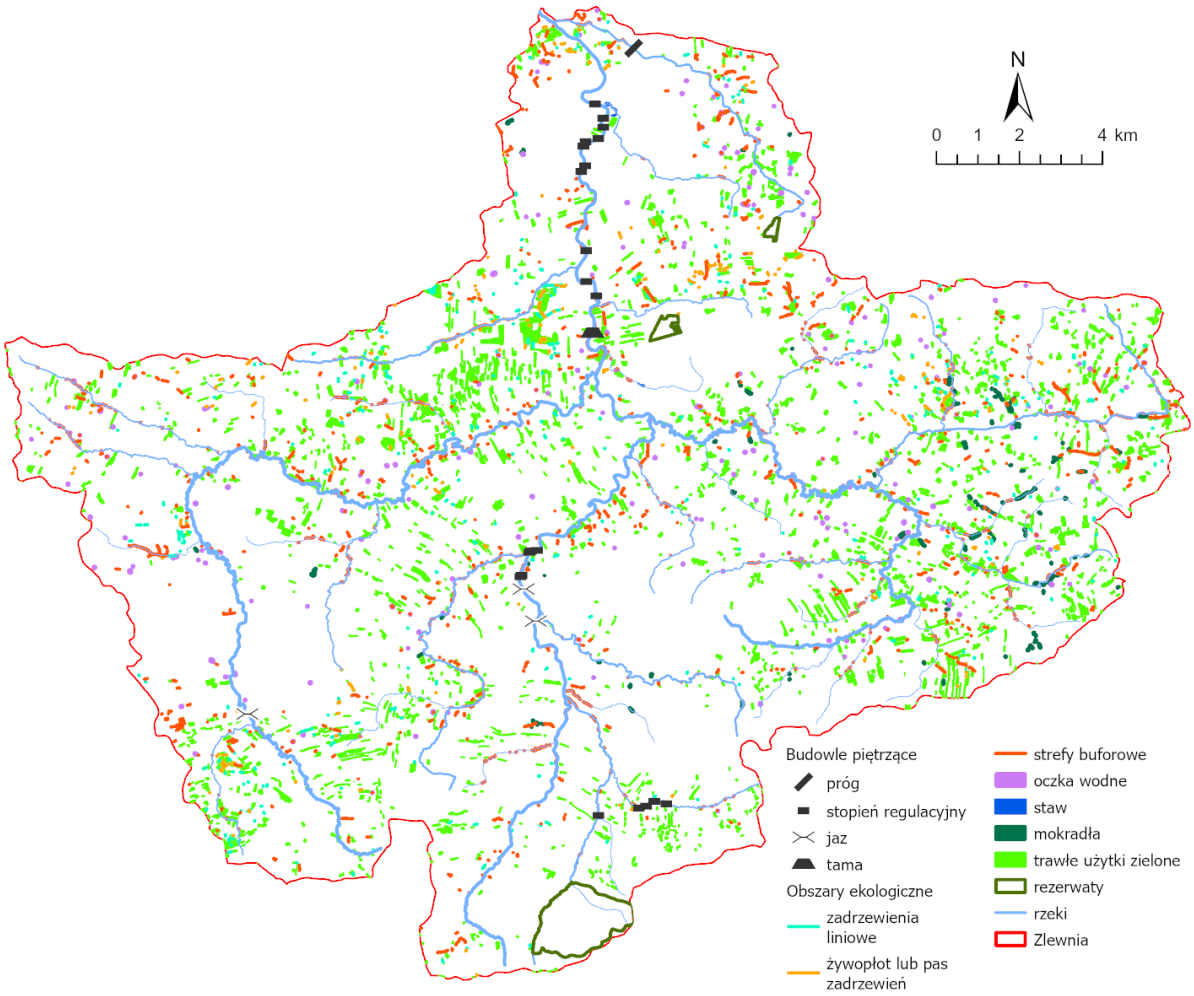
Zlewnia Skawinki charakteryzuje się stosunkowo znaczną liczbą obiektów które mogą być zaklasyfikowane jako służące do retencji wody bądź mogą być potencjalnie wykorzystane w tym celu. Wykaz zidentyfikowanych istniejących w zlewni obiektów retencji wody różnego typu, obiekty powierzchniowe (trwałe użytki zielone (TUZ), oczka wodne itp.), obiekty liniowe (zadrzewienia, rowy itp.) oraz budowle wodne (jazy, progi itp.), zebrano w Tab. 11. Obejmuje on liczbę obiektów danego typu wraz z ich sumarycznymi charakterystykami takimi jak powierzchnia w przypadku obiektów poligonowych oraz długość w przypadku obiektów liniowych. Natomiast na Rys. 22 przedstawiono przestrzenne rozmieszczenie zidentyfikowanych obiektów retencji wody na obszarze zlewni Skawinki. Do identyfikacji istniejących w zlewni obiektów retencji wody wykorzystano dane pochodzące z różnych źródeł takich jak: Geoportal (Geoportal.gov.pl – Geoportal Infrastruktury Informacji Przestrzennej), a w szczególności baza danych obiektów topograficznych (BDOT10k) – Geoportal.gov.pl), oraz mapa glebowo-rolnicza, a także Hydroportal (Hydroportal | ISOK).

Spośród obiektów powierzchniowych najistotniejszym typ są TUZ, które dominując zarówno pod względem liczby (ponad 3000 obiektów), jak i powierzchni (niemal 1300 ha). Obiekty tego typu zlokalizowane są generalnie na terenie całej zlewni. Przy czym ich rozmieszczenie nie jest równomierne. Do obszarów o największej powierzchni trwałych użytków zielonych należy górna i dolna część zlewni Cedronu, oraz górna część zlewni Głogoczówki. Wśród pozostałych obiektów powierzchniowych największą liczbę stanowią oczka wodne (ponad 200 obiektów), które zlokalizowane są głównie w dolinach cieków. Jednak ich sumaryczna powierzchnia sięga jedynie 5 ha. Pod względem powierzchni (niemal 350 ha) drugim typem obiektów są mokradła, których w zlewni jest nieco ponad 100. Poza trzema największymi jednolitymi obszarami mokradłowymi położonymi w górnej (rezerwat Las Gościbia) i dolnej (rezerwaty Cieszynianka i Kozie Kąty) częściach zlewni Skawinki, największą powierzchnię obszary mokradłowe zajmują w górnej części zlewni Głogoczówki.

W przypadku obiektów liniowych dominującym typem, zarówno pod względem liczby (ponad 2600 obiektów) jak i długości (niemal 600 km), są rowy o szerokości nieprzekraczającej 1,5 m, które rozmieszczone są dosyć równomiernie na terenie całej zlewni. Liczba rowów o większej szerokości (do 5 m) jest znacząco mniejsza (69 obiektów) i nie przekracza sumarycznie 20 km. Strefy buforowe stanowią drugi typ obiektów liniowych zarówno pod względem liczby (ponad 1700 obiektów) jak i długości (około 80 km). Te obiekty, wraz z zadrzewieniami liniowymi (niemal 550 obiektów o sumarycznej długości około 16 km) i żywopłotami lub pasami zadrzewionymi (ponad 440 obiektów o sumarycznej długości niemal 11 km), zlokalizowane są, w sposób oczywisty, wzdłuż większości cieków w zlewni. Przy czym większe nagromadzenie obiektów tego typu można zaobserwować wzdłuż lewostronnych dopływów Cedronu, prawostronnych dopływów Skawinki w jej dolnym biegu oraz dopływów Głogoczówki.

Sumaryczna liczba budowli wodnych w zlewni Skawinki jest stosunkowo nieznaczna i nie przekracza 30 obiektów. Wśród nich, znacząca jest jedynie liczba stopni wodnych (21 obiektów), podczas gdy w zlewni znajduje się tylko po jednej tamie i progu wodnym, oraz 4 jazy. Zdecydowana większość budowli wodnych zlokalizowana jest na rzece Skawince w jej

dolnym biegu, poniżej ujścia Cedronu. Po kilka budowli wodnych, głównie stopni regulacyjnych oraz dwa jazy, znajduje się w środkowym biegu Skawinki i na jej mniejszych dopływach w górnym biegu. Na większych dopływach Skawinki, Cedron i Głogoczówka, zlokalizowana jest tylko jedna budowla wodna, jaz, położony w górnym biegu Cedronu.



Rys. 33 Istniejące obiekty retencyjne (źródło: BDOT10k, hydroportal, geoportal, mapa glebowo-rolnicza, GDOŚ)

Tab. 9 Wykaz istniejących obiektów retencyjnych (źródło: opracowanie własne)

nazwa obiektu	liczba	suma powierzchni [ha]	suma długość [km]
trwały użytek zielony	3262	1281.96	
strefa buforowa	1732		80.48
zadrzewienie liniowe	538		15.81
żywopłot lub pas zadrzewiony	441		10.86
rów o szerokości poniżej 1,5 m	2611		583.86
rów szerokości 1,5 m - 5 m	69		16.47
oczko wodne	211	5.21	
staw	7	3.63	
mokradło	103	348.29	
jaz	4		
próg	1		
stopień	21		
tama	1		

5. Ocena aktualnych możliwości retencji wodnej

Ocenę aktualnych możliwości retencji przeprowadzono na podstawie bilansu zasobów wodnych opracowano na podstawie wyników wieloletnich symulacji dynamicznego modelu hydrologicznego opad odpływ SWAT, opisanego w publikacji Marcinkowskiego i Piniewskiego (https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103813). Model ten został opracowany na danych przestrzennych o dużej rozdzielczości i dokładności dostępnych na stronie http://geoportal.gov.pl (tj. NMT, mapa glebowo-rolnicza), danych z identyfikacji presji przeprowadzonej przez PGW WP oraz warunkach meteorologicznych z IMGW. Ponadto przeszedł on pozytywnie proces kalibracji i weryfikacji na przepływach dobowych z IMGW. Bilans opracowano na podstawie symulacji dobowych dla wielolecia 1992-2019, podzielonego na lata suche (percentyl 10%), mokre (percentyl 90%) oraz przeciętne obliczone na podstawie mediany i średniej. Uśrednione wartości dla całej zlewni zestawiono w Tab. 10. Wynika z nich, że charakter zlewni (w szczególności spadki, uszczelnienie i przepuszczalność gleby) wpływa na to, że stosunkowo mała ilość opadów (8%) infiltruje do wód podziemnych. Jednak przy tak dużych opadach jak na warunki polskie nawet w latach suchych jest małe ryzyko suszy hydrologicznej z uwagi na to, objętość zasobów dyspozycyjnych sięga niemal do 150k m^3/d, na co ma wpływ wysoka ilość opadów.

Tab. 10 Wyniki obliczeń bilansu wodnego dla zlewni Skawinki

składowe bilansu wodnego	wartości dla wielolecia 1992-2019			
	średnia	mediana	percentyl 10%	percentyl 90%
	Sumy roczne			
opad całkowity [mm]	827	816	627	997
topnienie śniegu [mm]	77	77	27	122
ewapotranspiracja wskaźnikowa [mm]	625	630	569	683
ewapotranspiracja rzeczywista [mm]	472	467	430	516
zawartość wody w glebie [mm]	178	176	161	197
perkolacja [mm]	48	50	20	78
spływ powierzchniowy [mm]	304	303	172	421
odpływ podziemny [mm]	3	1	0	8
	średnie roczne			
odpływ całkowity [m^3/s]	3,86	3,91	2,37	5,15
rzut ścieków [m^3/s]	0,37			
pobór wód powierzchniowych [m^3/s]	0,06			
przepływ nienaruszalny [m^3/s]	0,70			
przepływ dyspozycyjny [m^3/s]	3,17	3,18	1,70	4,46
objętość zasobów dyspozycyjnych [km^3/d]	273,81	275,17	146,50	385,38

6. Ocena możliwości retencji wód opadowych

W celu oceny możliwości retencji wód opadowych dokonano wyboru optymalnych typów działań i podano ich kryteria lokalizacji. Ze względu na specyfikę zlewni oraz wyniki oceny wpływu zmian klimatu, za główny cel ich wdrażania wybrano zmniejszenie ryzyka wystąpienia powodzi rzecznych i podtopień. Przy założeniu, że działania te nie powinny zwiększać ryzyka powstawania suszy hydrologicznej oraz pogarszać stanu wód powierzchniowych i podziemnych. Ze względu na to, że największe ryzyko powodzi występuje w dolnej części zlewni, oddziaływanie działań powinno mieć zasięg od miejsca realizacji, aż do ujścia rzeki Skawinki. Natomiast ich położenie powinno być w pobliżu lub na ciekach wodnych lub rowach. Natomiast w przypadku podtopień działania należy planować w skali mikrozlewni, a ich zasięg może mieć wręcz charakter lokalny np. pojedynczej posesji lub pola.

Podczas planowania działań przyjęto następujące założenia ogólne:

1. Działania powinny przede wszystkim zatrzymywać wodę lokalnie
2. Lokalizacja i wybór typu działań poprawy stanu wód powinien zależeć od:
    a. tego jakie źródło/czynnik sprawczy problemu ma likwidować
    b. położenia, typu i intensywności źródła problemu
    c. skali zamierzonego efektu działania (lokalne lub zlewnia)
    d. ukształtowania i zagospodarowania terenu w miejscu planowanej lokalizacji działania
3. Działania lokalne powinny się koncertować na terenach rolniczych i zabudowanych
4. Działania zlewniowe na brzegach i w korycie cieków (szczególnie w małych dopływach rzek oraz rowach),
5. Na terenach rolniczych powinno się stosować działania agrotechniczne połączone regulowanym odpływem na rowach. Przede wszystkim należy je lokalizować na gruntach ornych położonych na glebach słabo przepuszczalnych (np. gliniastych, ilastych i lessów, pokrywających łącznie około 80% zlewni), położonych na stokach w pobliżu cieków. Ponadto wykorzystywać tereny mokradłowe, nieużytki i gleby o niskiej przydatności rolniczej. Można ewentualnie planować je blisko intensywnych upraw takich jak kukurydza, rzepak lub pszenica o ile są one często zasiewane na tym samym polu. Największe szanse na wdrażanie mają typy działań, które są w wykazie ekoschematów (Nowak i Pikosz, 2024) lub stanowią normę - tj. wymóg do uzyskania finasowania z dotacji unijnych w ramach schematów na rzecz klimatu i środowiska.
6. Na terenach leśnych, z reguły położonych na obszarach górzystych i słabych glebach piaszczystych, należy blokować spływ powierzchniowy na rowach, wąwozach i drogach, używając do tego materiałów lokalnych takich jak kamienie i rumosz drzewny.
7. Na terenach zabudowanych należy dążyć do redukcji lub przynajmniej opóźnienia odpływu z powierzchni zabudowanych i uszczelnionych, retencjonując wody deszczowe możliwie blisko źródła ich spływu i, jeśli warunki temu sprzyjają, umożliwiając ich wsiąkanie, ewapotranspirację i oczyszczanie. W przypadku braku możliwości retencjonowania wody na miejscu opadu należy minimalizować potrzebę transportowania wody na duże odległości poprzez stosowanie rozwiązań podziemnych, rozproszonych rozwiązań o małej pojemności i włączanie istniejących

terenów zieleni do systemu retencji (np. zamiana przyulicznych trawników w trawiaste muldy infiltracyjne). Na obszarach o niedużej i średniej gęstości zabudowy wystarczającymi rozwiązaniami mogą być powszechnie stosowane ogrody deszczowe i płytkie niecki infiltracyjne. Na obszarach, gdzie planowana jest bardziej intensywna zabudowa należy przeznaczyć część dostępnego jeszcze terenu pod budowę zbiorników infiltracyjnych i retencyjnych wód opadowych.

6.1. Wybór typów działań

Szczegółowy dobór rozwiązań retencyjnych wspiera wiele narzędzi lub poradników publicznie dostępnych w Internecie w śród których na szczególną uwagę zasługują:

- Rainman (https://rainman-toolbox.eu/),
- PROLINE-CE (https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/PROLINE-CE.html),
- FramWat (https://planning.waterretention.sggw.pl/#/tools)
  Teacher-CE (teacher.apps.vokas.si)
- Podręcznik renaturyzacji wód powierzchniowych (PRWP)
- Waterprotect - Poradnik stosowania zasad dobrej praktyki rolniczej.

Na podstawie części tych narzędzi wybrano propozycje działań retencji wód opadowych do celów redukcji ryzyka powodzi rzecznych i podtopień, łagodzenia suszy hydrologicznej i nie pogarszania stanu ekologicznego wód. Działania zestawiono tabelarycznie w zależności od użytkowania terenu na którym planuje się je zastosować. Należy podkreślić, że propozycje działań sosowane w korycie lub dolinie zalewowej cieków i rowów (Tab. 11) można stosować na terenach rolniczych, leśnych i zurbanizowanych. Z uwagi na to, że zamieszczone w tabelach (Tab. 11-Tab. 14) działania mają charakter ogólnikowy i zawierają szereg działań strukturalnych w dalszej części podano szereg opisów i przykładów, które dedykowane są dla zlewni Skawinki.

Tab. 11 Wybrane propozycje działań sosowane w korycie lub dolinie zalewowej cieków i rowów (źródło: Rainman, PROLINE-CE, PRWP)

nazwa działania	opis
Zwiększenie pojemności retencyjnej istniejącego koryta i terenów zalewowych (zmiany w kierunku naturalności doliny cieku)	Działania te polegają na modyfikacjach terenu w obrębie koryta i terenów zalewowych, aby zwiększyć ich pojemność w celu spowolnienia odpływu i utworzenia lepszych warunków w strefach zalewowych, by na skutek tego zmniejszyć ewentualne następstwa spływu powierzchniowego. Mogą one obejmować poszczególne działania dostosowawcze, które ogólnie określa się, jako "zmiana warunków eksploatacji (utrzymania)". Konkretnie chodzi tutaj o zmianę przebiegu koryta, wprowadzenie wielotorowości, stabilizację koryta z użyciem naturalnych materiałów, odtworzenie starorzeczy i obecność roślinności brzegowej. Sam skutek zmian w obrębie cieku i jego bezpośredniej doliny nie jest w przypadku opadu nawalnego dla spływu powierzchniowego rozstrzygający. Jeżeli jednak modyfikacja ta stanowi część szeregu innych działań na określonym obszarze, może ona z pewnością odegrać pozytywną rolę przy spowalnianiu odpływu i zmniejszaniu wartości szczytowych odpływu (wypłaszczenie szczytu fali powodziowej). Ogólnie biorąc, celem jest doprowadzenie akwenu do stanu możliwie najbardziej naturalnego.
Przywracanie terenów zalewowych i lasów łęgowych, sukcesja naturalna. Określane osobno dla terenów rolniczych i miejskich. Tworzenie stref zalewowych.	Identyfikacja i przywracanie terenów zalewowych i obszarów osadniczych, na przykład poprzez usunięcie urządzeń ochronnych na terenach rolniczych, przyczynia się do retencji wody wzdłuż rzek, a tym samym do zmniejszenia skutków ryzyka opadu nawalnego. W przeszłości większość obszarów zalewowych została przejęta do innych celów; dawne lasy łęgowe są oddzielane od szlaków rzecznych i spływowych i przekształcane w lasy szczątkowe o niskiej gęstości bez naturalnej regeneracji. Użytkowanie gruntów na terenach zalewowych może być różnorodne. Największe zapotrzebowanie powierzchni wykazują samoistnie odnawiające się lasy łęgowe ("ekosystemy mobilne") - o wiele większe, niż łąki podmokłe, czy pas trzcin. Odtwarzanie tego rodzaju lasów jest procesem wymagającym i żmudnym, Odtworzenie takich lasów jest wymagającym i długotrwałym procesem i wymaga planowania; jest to jednak kluczowy środek służący adaptacji do zmiany klimatu i łagodzeniu tych zmian.
Renaturyzacja (remeandryzacja) i stabilizacja rzek	Ponowne meandrowanie, przywrócenie i ponowne podłączenie cieków sezonowych, usunięcie zapór i innych barier wzdłużnych, naturalna stabilizacja brzegów, likwidacja ochrony brzegów, meandrująca rzeka to specyficzna trasa - fragment koryta przypominający pętlę lub łuk, co pozwala na zmniejszenie prędkości wody. Kanalizacja jest jednym ze sposobów przystosowania cieku do potrzeb żeglugi i rolnictwa. Odtworzenie meandrowania rzeki polega na utworzeniu nowej trasy meandrującej cieku lub ponownym połączeniu rozciętych meandrów, co spowalnia przepływ wody. Nowa forma koryta rzeki stwarza nowe warunki przepływu i bardzo często ma pozytywny wpływ na sedymentację i bioróżnorodność. Nowo powstałe lub ponownie połączone meandry stanowią również siedliska dla szerokiej gamy wodnych i lądowych gatunków roślin i zwierząt.
Zbiorniki i rowy infiltracyjne	W zbiornikach i rowach woda deszczowa jest zatrzymywana i jednocześnie infiltrowana. Zbiornik posiada dno i ściany umożliwiające infiltrację wody. Objętość zbiornika jest tak zaprojektowana, aby zatrzymać całą ilość spływającej wody deszczowej.
Ochrona i rewitalizacja terenów podmokłych na terenach zalewowych	Równiny zalewowe to obszary bezpośrednio przylegające do cieku i okresowo zalewane wodą. Stanowią istotną część ekosystemu rzeki. Główną funkcją tych obszarów jest odprowadzanie nadmiaru wody w czasie powodzi, a co za tym idzie zmniejszenie potencjalnej energii wód powodziowych (w tym niszczącej energii). Poza tym funkcje tych obszarów to poprawa jakości wody, zmniejszenie odpływu i erozji, zapewnienie środowiska dla różnorodności życia roślinnego i zwierzęcego oraz pomoc w utrzymaniu podstawowego przepływu sąsiednich cieków podczas suszy. Równiny zalewowe są również ważnymi regulatorami przepływu energii skumulowanej w wodzie i materii przemieszczanej w kierunku rzeki oraz wody spływającej z okolicznych wzgórz i przez równinę zalewową.
Sztuczne mokradła na rowach	Sztuczne mokradła działają na zasadzie ograniczenia naturalnych procesów samooczyszczania lub oczyszczania. Efektywnie skonstruowany teren podmokły składa się z odpowiednio dobranych roślin i substratów glebowych oraz odpowiedniego przepływu wody. Składniki pokarmowe przedostają się na tereny podmokłe ze spływów burzowych, z miejsc, gdzie stosowano nawozy lub obornik, a także z nieszczelnych szamb. Nadmiar substancji odżywczych jest często absorbowany przez glebę na terenach podmokłych i pobierany przez rośliny i mikroorganizmy, zmniejszając ich stężenie w wodzie odprowadzanej przed przedostaniem się do strumieni. Liczne badania i działania na całym świecie dowiodły, że sztuczne mokradła są bardzo skutecznym rozwiązaniem dla redukcji ilości składników odżywczych w środowisku.
Odtwarzanie terenów podmokłych (przywracanie hydrologii, roślinności i gleby na dawnych lub zdegradowanych terenach podmokłych)	Odtworzenie istniejących ekosystemów morałowych i ich usług jest wymagane, ponieważ ulegają one coraz większej degradacji zarówno w wyniku działalności człowieka, jak i przyrody. Pod względem ochrony przeciwpowodziowej i jakości wody, główna korzyść z odtworzenia terenów podmokłych związana jest z ich funkcją działania jako "strefy buforowej", poprawiającej ochronę przeciwpowodziową i erozyjną poprzez redukcję energii fal i pływów. Rekultywacja i zarządzanie terenami podmokłymi może obejmować: działania techniczne, przestrzenne na dużą skalę (w tym instalację rowów do odwadniania lub likwidację wałów umożliwiających zalewanie); działania techniczne na małą skalę, takie jak wycinka drzew; zmiany w użytkowaniu gruntów i działania rolnicze, takie jak adaptacja praktyk uprawowych na terenach podmokłych. Działania te mogą poprawić reżim hydrologiczny zdegradowanych terenów podmokłych i ogólnie poprawić jakość siedlisk.
Inne działania spowalniające odpływ wód w korycie	Wszystkie działania zwiększające szorstkość koryta i nie wpływające na pogorszenie stanu ekologicznego wód takie jak rumosz drzewny i skalny, zaniechanie konserwacji koryta oraz małych suchych zbiorników przeciwpowodziowe, stosowanych na rowach i dopływach rzecznych

Tab. 12 Wybrane propozycje działań stosowanych na użytkach rolnych (źródło: Rainman, PROLINE-CE, FramWat)

nazwa działania	opis
Stabilizacja przez obsadzanie roślinami zagrożonych erozją ścieżek odpływu	Ścieżki, którymi odbywa się skoncentrowany odpływ wód opadowych powinny być stabilizowane przez trwałe zazielenianie w celu zapobiegania erozji. Można je wzmocnić przy pomocy kamieni, dzięki czemu skoncentrowany spływ powierzchniowy przebiega bez zjawisk erozji. Powszechnie przyjętą formą zielonych ścieżek odpływu jest parabola o niewielkiej głębokości, która odpowiada naturalnie ukształtowanym kanałom odwadniającym. Działanie to wymaga skorzystania z terenów użytkowanych rolniczo. Powinno ono być wykonywane zawsze wtedy, gdy działania ochronne są niewystarczające dla ochrony gleby przed erozją. Jeżeli zazielenionym ścieżkom odpływu towarzyszy odpowiednia roślinność mogą one stanowić część systemu ekologicznego danego obszaru. Ich skuteczność ulegnie wzmocnieniu, jeżeli na danym obszarze wykonane będą inne działania zmniejszające ryzyko. Konieczna może okazać się zmiana stosunków własnościowych.
Zalesione pasy buforowe wzdłuż strumieni, dolin lub zapadlisk	Pasy buforowe wzdłuż potoków, dolin i zapadlisk ograniczają procesy erozyjne i są bardzo skutecznym sposobem zapobiegania przedostawaniu się różnych substancji do zbiorników wodnych. Zalesione pasy buforowe wzdłuż strumieni i jezior muszą być tworzone w celu ochrony otwartych zbiorników wodnych przed bezpośrednią infiltracją substancji odżywczych lub osadów, która może być spowodowana silnymi opadami atmosferycznymi, procesami erozyjnymi lub działaniami związanymi z wycinką drzew. Strumienie są sektorami wrażliwymi, także w wielu strefach ochrony wód, i dlatego muszą być chronione z najwyższym priorytetem. Pasy buforowe z gęstą i żywotną pokrywą leśną mogą chronić strumienie przed bezpośrednią infiltracją osadów lub ładunków składników odżywczych i są ochroną przed procesami erozji bocznej. Roślinność leśna musi być stabilna w strefach buforowych, a zabiegi gospodarcze muszą być prowadzone bardzo ostrożnie. Doliny i zapadliska są obiektami krasowymi i zasługują na taką samą uwagę jak potoki, w tym przypadku również odpowiednim rozwiązaniem są strefy buforowe. Zamierzonym celem tego działania jest stabilizacja obszarów nadrzecznych w celu złagodzenia lub uniknięcia procesów erozji bocznej. Drugim istotnym celem jest ochrona strumieni przed bezpośrednim wnoszeniem osadów lub biogenów, co ma wpływ na ochronę wody pitnej i działalność połowową.
Przekształcanie gruntów ornych na użytki zielone/las liściasty lub plantacje drzew o krótkiej rotacji	Ryzyko opadów nawalnych może być wyraźnie zmniejszone poprzez przekształcanie gruntów ornych na użytki zielone, lasy liściaste lub plantacje roślin drzewiastych o krótkiej rotacji. Działanie to w sposób długotrwały zwiększa nierówność powierzchni (efekt: zmniejszenie prędkości przepływu) oraz zmniejsza erozję gleby (efekt: zmniejszenie zamulania). Działanie to jest bardzo odpowiednie w przypadku stromych zboczy na glebach lekkich, w przypadku ścieżek przepływu, pól zagrożonych zalaniem oraz terenów osuszonych w pobliżu cieków wodnych.
Strefy buforowe i żywopłoty	Strefy buforowe to obszary z naturalną pokrywą roślinną (trawą, krzewami lub drzewami) na obrzeżach pól, gruntów ornych, infrastruktury transportowej i cieków wodnych. Mogą one mieć kilka różnych konfiguracji roślinności, od zwykłej trawy po kombinacje trawy, drzew i krzewów.
Poplony (okrywa zielona)	Poplony (w tym rośliny okrywowe lub międzyplony) odnosi się do roślin sadzonych późnym latem lub jesienią, zazwyczaj na gruntach ornych, w celu ochrony gleby, która w przeciwnym razie leżałaby odłogiem w zimie. Przyczynia się to do ochrony gleby przed erozją, przegrzaniem, utratą wilgoci i do poprawy struktury gleby oraz ograniczają utratę rozpuszczalnych składników odżywczych.
Pułapki osadów	Pułapki osadów to zazwyczaj skonstruowana "niecka", zagłębienie lub zapora na wylocie z pola, w której osadza się i gromadzi osad, umożliwiając jego usunięcie. Regularna usuwanie nagromadzonych osadów jest niezbędna do zapewnienia ich prawidłowego działania.
Miedze	Miedze to pasy nieuprawianej ziemi, które oddzielają od siebie pola uprawne. Jeśli przebiegają wzdłuż poziomic, mogą spowalniać spływ powierzchniowy i zwiększać infiltrację. Największa efektywność jest osiągana w połączeniu z pasem infiltracyjnym położonym powyżej i bruzdą znajdującą się poniżej miedzy. Wdrożenie tego działania jest zalecane, jeżeli inne rodzaje działań strukturalnych są nieskuteczne lub nie mogą być wykonane.
Ochrona i utrzymanie istniejących łąk i pastwisk	Spływ powierzchniowy na łąkach i pastwiskach jest mniejszy w porównaniu do spływu na gruntach ornych. Tak więc wysoki odsetek łąk i pastwisk zwiększa zdolność retencyjną użytków rolnych i zmniejsza spływ powierzchniowy. Utrzymanie i ochrona istniejących łąk przed uprawą lub działalnością budowlaną, zwłaszcza na obszarach źródliskowych, na zboczach, ścieżkach spływu i wzdłuż cieków wodnych, przyczynia się do zmniejszenia ryzyka skutków deszczy nawalnych.
Stosowanie ekoschematów	Utrzymanie wody na podtapianych Trwałych Użytkach Rolnych. Stosowanie innych ekoschematów, których warunkiem uzyskania dopłat jest szereg norm GEAC i sposobów zarządzania SMR, do których należą między innymi ochrona terenów podmokłych, ustanowienie stref buforowych wzdłuż cieków wodnych, zarządzanie orką w celu zmniejszenia ryzyka degradacji i erozji gleb na stokach, minimalna pokrywa glebowa w okresach pozawegetacyjnych.

Tab. 13 Tab. Wybrane propozycje działań stosowanych w lasach (źródło: Rainman, PROLINE-CE)

nazwa działania	opis
Stawy wychwytujące osady	Stawy wychwytujące osady to stawy zlokalizowane w sieciach rowów leśnych w celu spowolnienia prędkości wody i spowodowania osiadania zawiesin. Stawy wychwytujące osady są najbardziej przydatne do zarządzania skutkami budowy i konserwacji rowów oraz robót drogowych. Chociaż są one stosowane głównie w lasach, mogą być użytecznym środkiem tymczasowym, służącym zachowaniu jakości wody na placach budowy lub w pobliżu kopalni. Mogą być one również przydatne do wychwytywania osadów w odpływach rolniczych. Stawy zbierające osad mają ograniczoną żywotność, w zależności od ilości zawieszonego materiału w dopływającej wodzie. Jednakże, stawy mogą być utrzymywane poprzez usuwanie nagromadzonych osadów.
Obszary przepływu powierzchniowego w lasach torfowiskowych	Rozlewiska w rejonie rowów leśnych - tereny przeznaczone do zalewania wiosną przy wysokim poziomie wody, co poprawia zdolności retencyjne obszaru i bioróżnorodność.
Stabilna pokrywa roślinna na terenach rowów (roślinność leśna i gruntowa)	Rowy w zlewniach górskich narażone są na procesy erozyjne, gdyż koncentrują się tam spływy powierzchniowe podczas silnych opadów atmosferycznych. Te silne opady i związany z nimi przepływ powierzchniowy mogą prowadzić do znacznej dynamiki erozji w miejscach rowów. Może wystąpić erozja boczna gleby oraz erozja wgłębna w kształcie litery V, transportująca mineralne i organiczne substancje glebowe do strumieni i zbiorników wód gruntowych. W celu uniknięcia lub złagodzenia wspomnianych procesów erozyjnych, gęstą i stabilną pokrywę roślinną w miejscach rowów jest tworzenie stabilnej pokrywy roślinnej w miejscach rowów obejmującą zarówno roślinność gruntową, jak i leśną. Pokrywa roślinna musi być zapewniona w czasie i przestrzeni, a tym samym zapobiega lub łagodzi wspomnianą dynamikę erozji poprzez stabilizację mineralnych i organicznych substancji glebowych za pomocą sieci korzeniowej.

Tab. 14 Wybrane propozycje działań stosowanych zurbanizowanych (źródło: Rainman, PROLINE-CE)

nazwa działania	opis
Tworzenie i utrzymanie „niebiesko-zielonych" obszarów retencyjnych na obszarach miejskich (centralne, zdecentralizowane)	Wodę należy zatrzymywać (retencjonować), powinna ona infiltrować na terenach miejskich w celu ograniczenia spływu powierzchniowego (retencja) i zwiększenie jej dostępności w gruncie (infiltracja). Obejmuje to centralne lub zdecentralizowane obiekty retencyjne na obszarach mieszkaniowych i przemysłowych. Najkorzystniejsze są przyjazne naturze stawy połączone z rowami i studniami infiltracyjnymi lub tereny wielofunkcyjne (np. parki, ogrody, place zabaw itp. o funkcjach retencyjnych). Drenaż powierzchniowy musi zapewniać odprowadzenie wody w kierunku tych obszarów – najlepiej na powierzchni (zagłębienia, ulice itp.). Obszary retencyjne muszą być chronione przed zanieczyszczeniem. Retencja wymaga odpowiedniej przestrzeni i odpowiednich warunków topograficznych, co często ogranicza możliwości realizacji. Obszary retencyjne muszą być wydzielone i chronione w dokumentach planistycznych.
Techniczne sposoby retencji w postaci stawów i zbiorników podziemnych	Zbiorniki podziemne funkcjonują jak zbiorniki retencyjne. Podobnie, jak garaże podziemne, mogą one być włączane w proces planowania infrastruktury miejskiej.
Wielofunkcyjne tereny komunikacyjne i parkingowe, które służą jako drogi odwadniania awaryjnego lub tymczasowe obszary retencyjne dla spływającej wody opadowej	Tereny publiczne i prywatne, takie jak: ulice lub parkingi, place zabaw i boiska sportowe mogą, w razie wystąpienia deszczu nawalnego, być tymczasowo przekształcane w awaryjne drogi odpływu i/lub tymczasowe obszary retencyjne, pomagając w ten sposób w odprowadzaniu i/lub wyhamowaniu spływającej wody. Tymczasowe tereny zalewowe lub "place wodne" są to powierzchnie otwarte w przestrzeni miejskim, które przyjmują miejską wodę opadową (np. z odpływów dachowych). Wpływająca woda jest najpierw filtrowana i po okresie retencji, wynoszącym ok. 48 godzin, odprowadzana jest do strumieni lub kanalizacji.
Nawierzchnie infiltrujące / powierzchnie przepuszczalne; rozszczelnienie	Nawierzchnie przepuszczalne są tak zaprojektowane, by woda opadowa albo przesączała się przez nią do niżej położonych warstw (gruntu i wód podziemnych), albo może być gromadzona pod ziemią i oddawana do cieków (z opóźnieniem) z kontrolowaną prędkością. Powierzchnie zasklepione (utwardzone) moga być zastąpione przez różne materiały, jak np. warstwę żwirową, trawnik w geokracie, ażurową kostkę betonową lub beton jamisty (beton o strukturze otwartej, porowatej). Nadają się one na parkingi, ścieżki rowerowe i chodniki, jak również drogi dojazdowe, tarasy i podwórza.
Obiekty infiltracyjne (rowy, studnie, stawy)	Obiekty infiltracyjne są ważnymi elementami systemów zarządzania wodą deszczową, często w połączeniu z obiektami retencyjnymi. Rowy i ścieki żwirowe (z leżącym nad nimi wałem, jako głębokie złoże lub dół do sadzenia drzew), studnie infiltracyjne lub stawy infiltracyjne, które są przeznaczone do filtrowania i odprowadzania wody do podziemi, zmniejszania spływu i zwiększania zasilania wód gruntowych. Należy zapewnić filtrację zanieczyszczeń przez podłoża w wykopach i odcinkach żwirowych wokół studni. Takie obiekty powinny być wkomponowane w tereny zielone w przestrzeni miejskiej, takie jak ogrody, parki, tereny rekreacyjno-sportowe, a tym samym tworzyć pozytywne synergie z atrakcyjnością miasta.
Obszary/stawy przechwytujące wodę opadową	Retencja w rzekach łagodząca ryzyko powodzi odrzecznych jest głównie działaniem, które powinno być realizowany powyżej obszarów miejskich, poza obszarami miejskimi. Jeśli to możliwe i efektywne obszary retencyjne wzdłuż rzek i potoków mogą być budowane na obszarach miejskich. Efekt łagodzący na obszarze miejskim będzie ograniczony i przyniesie korzyści w dół rzeki od zastosowanego działania. Działanie może koncentrować się na poszerzeniu koryta rzeki, zwiększeniu równiny zalewowej jako obszaru retencyjnego oraz na budowlach zatrzymujących wodę w sztucznych stawach z kontrolowanymi wlotami i wylotami.
Optymalizacja ścieżki przepływu wód powierzchniowych	Predefiniowane (wskazanie, wyprofilowanie) trasy przepływu mające na celu odprowadzenie wód powierzchniowych z dala od budynków można budować w przestrzeni publicznej i na nieruchomościach (np. poprzez zmiany nachylenia, progi, tworzenie zagłębień lub budowanie elementów konstrukcyjnych odprowadzających wodę, takich jak ściany). Obszary na działce, takie jak baseny lub rowy, mogą być budowane w celu gromadzenia wody i zapewnienia kontrolowanej infiltracji gleby. Możliwe jest zdefiniowanie wymagań przez gminę.
Zielone dachy i zielone fasady	Połączenie wegetacji roślinnej i substratu glebowego na dachach umożliwia zatrzymywanie wody podczas opadu i rozciągnięte w czasie parowanie (transpirację z roślin) po opadzie. Można wyróżnić dwa systemy zielonych dachów, różniących się poziomem pielęgnacji: dachy zielone ekstensywne i intensywne.
Uszczelnianie podziemnych części budynków	Środek służy do uszczelniania budynków przed wilgocią gruntową i wodą przesiąkową w podziemnych elementach konstrukcyjnych, takich jak ściany. Istnieją poziome lub pionowe metody uszczelniania. Poziome warstwy uszczelniające zapobiegają wzrostowi wilgoci. Warstwy uszczelniające pionowe zapobiegają przedostawaniu się wilgoci do budynku z boków. Dostępnych jest kilka rozwiązań z bitumem (czarny zbiornik) i materiałami syntetycznymi. Ważne jest, aby warstwy uszczelniające pionowe sięgały do 30 cm nad ziemią przy co najmniej jednej uszczelce poziomej. Alternatywnie, płyta fundamentowa i ściany zewnętrzne nowych budynków mogą być wykonane jako zbiornik zamknięty przy użyciu betonu o wysokiej wodoodporności („białe zbiorniki", ponieważ nie jest potrzebny bitum). Białe zbiorniki są stosunkowo drogie.
Budynki przystosowane do zagrożenia powodziowego (wodoodporne)	Budynki na obszarach zagrożonych powodziami powinny zostać ocenione pod kątem ryzyka i dostosowane za pomocą środków konstrukcyjnych lub organizacyjnych. Ponieważ środki na poziomie obiektu zależą głównie od konkretnej sytuacji ryzyka, odpowiednie środki muszą być szczegółowo oparte na indywidualnych ocenach ryzyka. Jako przykłady można wymienić następujące środki: dostosowane poziomy budynków (piwnica powyżej skrajnego poziomu powodzi / wód gruntowych; dla nowych konstrukcji), stałe lub ruchome systemy zapór przeciwpowodziowych i konstrukcje ochronne, zawory zwrotne i wodoszczelne wyloty rur, systemy podnoszenia wody kanalizacyjnej , odporne na zalanie okna, drzwi lub osłony okienne itp.). Szczegółowe koncepcje ochrony można znaleźć w szczegółowych wytycznych.

W dalszej części opisano szerzej konkretne działania strukturalne szczególnie dedykowane dla zlewnie Skawinki.

- **Wykorzystanie rowów melioracyjnych jako przestrzeni do gromadzenia nadmiaru wody opadowej**

Działanie przywraca pierwotną rolę rowów melioracyjnych jako narzędzia nie tylko powszechnie kojarzonych z odprowadzaniem nadmiaru wody, ale również do prawidłowego jej zarządzania w przypadku jej braku. W dostępnym terenie rowy zostaną poszerzone do maksymalnej szerokości wynikającej z nieruchomości oraz lokalnych warunków technicznych. Zostanie w nich posadzona roślinność hydrofitowa – im bliżej nieruchomości zamieszkałych tym gatunki roślin będą dopierane adekwatnie do roli estetycznej otoczenia. Takie podejście spowoduje większą akceptację na podejmowanie niestandardowych działań w świadomości mieszkańców. Rowy zostaną wyposażone w zastawni ograniczające odpływ wody w stanach poniżej normalnego a jednocześnie umożliwiające odpływ wody w stanach zarażających niezaplanowanych podtopieniom. System kaskad zastawek będzie powodował zwiększenie możliwości retencji na całej długości rowu.

Rys. 34. Budowle wodne wykorzystywane do zwiększania retencji w rowach melioracyjnych

Deregulacja – remeandryzacja rzeki

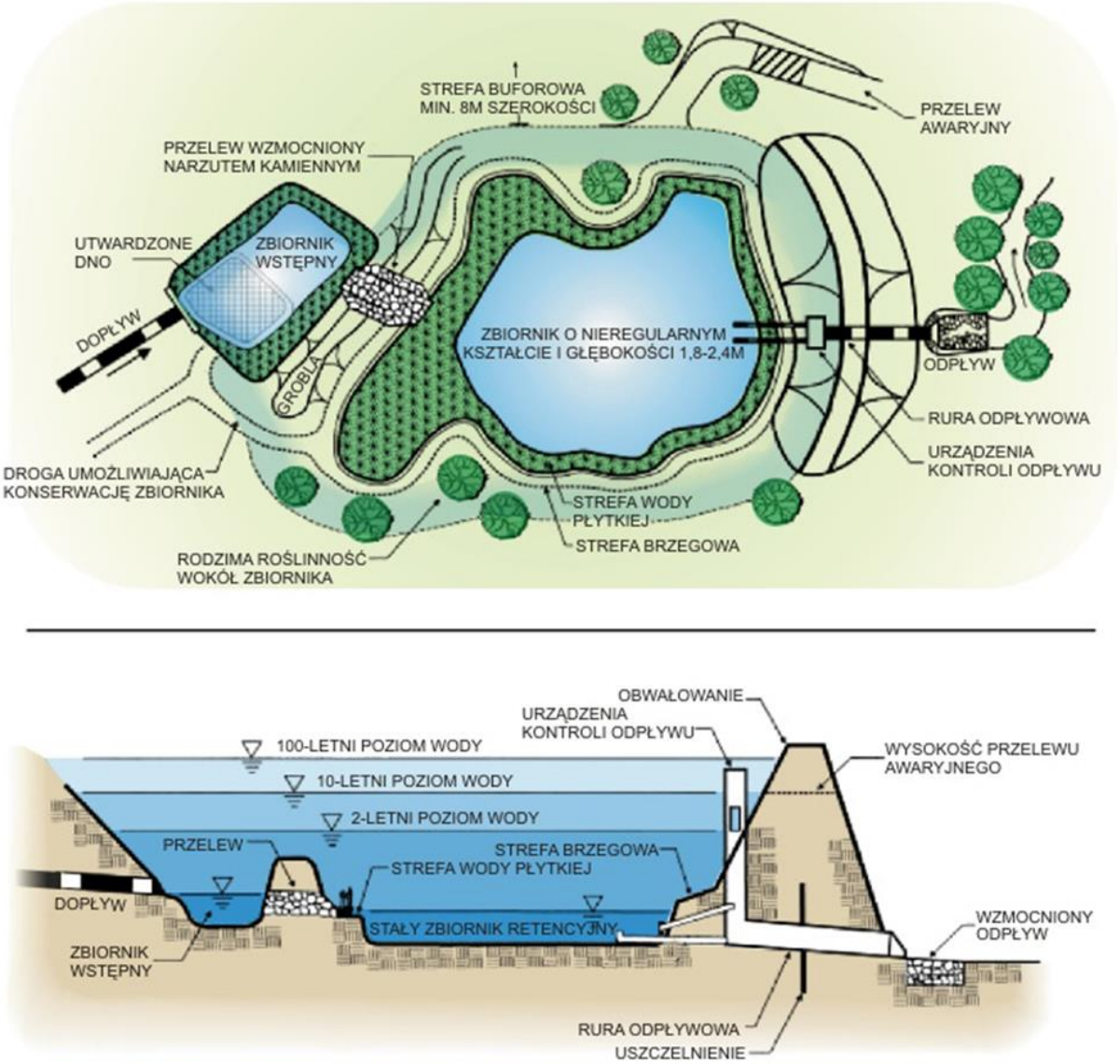
Deregulacja i remendryzacja zostaną przeprowadzone na odcinku rzeki Skawinki o długości do 200 metrów w miejscu, gdzie swobodne kształtowanie koryta rzeki nie będzie powodowało konfliktów.

Dodatkowo zostaną przeprowadzone prace mające na celu odtworzenie dawnego koryta rzeki w ekologicznie optymalnej formie - zostanie wybudowane przyległe, meandrujące koryto o mniejszym przepływie wody. W korycie posadzone zostaną tu rośliny hydrofitowe, a na brzegu

zostaną także drzewa, które zacienią lustro wody w celu obniżenia temperatury wody i poprawy warunków środowiskowych dla ryb w rzece. W wyniku rezygnacji z regulacji koryta nurt ulegnie samoistnej renaturyzacji. Zostaną tu przywrócone zasoby martwych drzew i szczątków drzewnych, jako ważne elementy mikrosiedliskowe dla ekosystemu i dodatkowo inicjujące różnicowanie morfologii koryta rzeki. Oczekuje się, że z czasem krzywizna cieku wzrośnie, pojawią się brzegowe lub śródkorytowe obszary akumulacji rumowiska, a w korycie utworzy się naturalna mozaika roślinności wodnej. Ponadto procesy te doprowadzą do zwiększenia szorstkości dna i oporu przepływu, co jest pozytywne z punktu widzenia retencji, ograniczenia skutków suszy i zmniejszenia ryzyka powodzi w dół rzeki.
Efektem działania będzie nie tylko odnowa samego potoku, ale także jego doliny, dzięki uruchomieniu bocznej migracji boczną koryta, renaturyzacji stosunków wodnych, w tym odnowie terenów podmokłych wzdłuż potoku poprzez okresowe zalewanie doliny. Na wyznaczonym obszarze nie przewiduje się kolizji ze względu na brak terenów mieszkalnych i gospodarczych w pobliżu. Nowe meandrujące koryto rzeki będzie zasilane wodą z obecnego koryta Skawinki. Woda ta opuszczając meandrujące koryto przepłynie przez zakole z roślinnością hydrofitową i spłynie z powrotem do Skawinki.

Zbiorniki retencyjne wód opadowych

Zbiorniki wód deszczowych rozwiązania posiadające stały (nie okresowy) zbiornik retencyjny bądź złożony system składający się z rozszerzonej przestrzeni detencyjnej, płytkiej strefy bagiennej i zbiornika stale wypełnionego wodą. Przestrzeń stale wypełniona wodą o głębokości, co najmniej 65 cm (głębokość maksymalna 3m), stanowi zasadniczą część zbiorników wód deszczowych odpowiadającą za retencjonowanie i oczyszczanie wody. Umożliwia ona sedymentację zawiesin i usuwanie zanieczyszczeń rozpuszczonych. Dopływ wód opadowych powoduje wymianę wody zajmującej tą przestrzeń.
Położona wyżej część objętości zbiornika nazwana „przestrzenią detencyjną" umożliwia okresowe zatrzymanie (detencję) szczytowych napływów wód pochodzących z intensywnych opadów. Budowle piętrzące stosowane na odpływie ze zbiornika umożliwiają stopniowe odprowadzenie tych wód w ciągu 2-5 dni, zapobiegając podnoszeniu osadów oraz erozji koryt cieków i zalewaniu terenów położonych poniżej zbiornika.
W zależności od sytuacji terenowej zbiorniki wód deszczowych buduje się usypując obwałowania i groble lub kopiąc zagłębienia w ziemi. Na glebach przepuszczalnych i przy niskim poziomie wód gruntowych wymagane jest uszczelnienie dna zapobiegające całkowitemu wysychaniu zbiornika.



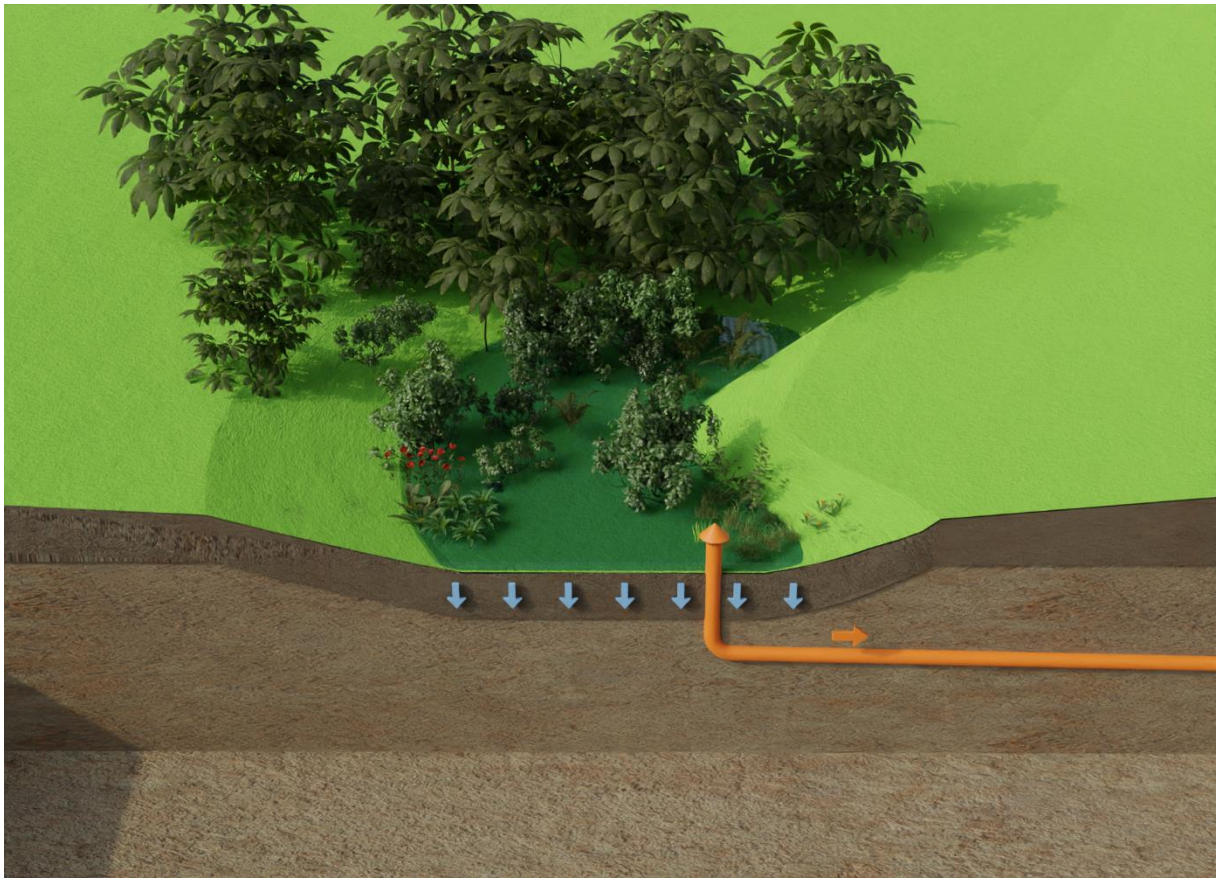
Rys. 35 Zbiornik retencyjny wód opadowych (źródło: 2000 Maryland Stormwater Design Manual, 1999 – zmienione)

- **Ogrody deszczowe / niecki infiltracyjne**

Ogrody deszczowe, czyli nasadzenia w gruncie roślin o zwiększonej przepuszczalności, które zbierają wodę deszczową z powierzchni znacznie większej niż powierzchnia samego ogrodu, zostaną zrealizowane przez gminę w ramach projektu dla mieszkańców zlewni. Dzięki ogrodom deszczowym mniej wody spływa z nieprzepuszczalnych powierzchni (chodników, ulic, parkingów, placów) do kanalizacji, co przyczynia się do zwiększenia ilości wody w krajobrazie i zapobiega obniżaniu się poziomu wód gruntowych i lokalnym podtopieniom podczas intensywnych opadów. Mimo że ogród deszczowy przypomina zwykły ogród, obsadzany jest specyficznymi roślinami łąkowymi. Ich korzenie lub kłącza pomagają oczyszczać wodę z zanieczyszczeń wypłukiwanych z utwardzonej powierzchni, takich jak metale ciężkie i substancje ropopochodne. Dobrze dobrane podłoże, na którym rozwija się film bakteryjny, znacznie obniża poziom zanieczyszczeń w płynącej wodzie.

W projekcie zostaną wykorzystane dwa rodzaje ogrodów deszczowych: ogród infiltracyjny i ogród z uszczelnieniem. Ogród deszczowy wyłożony folią zostanie zastosowany tam, gdzie

konieczne będzie zapewnienie skutecznej izolacji przeciwwilgociowej (np. w pobliżu budynków). Jeśli miejsce ogrodu deszczowego będzie oddalone od budynku o co najmniej 5 m, zostanie wykonany ogród infiltracyjny. W przypadku ogrodu infiltracyjnego woda deszczowa zazwyczaj w większym stopniu zasila wody gruntowe niż w przypadku ogrodu wyłożonego folią. Zarówno w przypadku ogrodu infiltracyjnego, jak i ogrodu uszczelnionego folią, nadmiar wody odprowadzany jest rurą drenażową do stawu lub do studni chłonnej.



Rys. 36 Ogród deszczowy w wersji nieuszczelnionej - infiltracyjnej (źródło: opracowanie własne).

Po ustaleniu lokalizacji i wielkości ogrodu zostaną wykonane wykopy o głębokości 95 cm. Ziemia z wykopu zostanie wykorzystana do ukształtowania terenu wokół ogrodu. Następnie dno zostanie uszczelnione geomembraną. Wykop zostanie wypełniony ok. 20 cm kruszywa dolomitowego (frakcja 2-16 mm), następnie zostanie ułożona rura drenażowa podłączona do rury przelewowej. Wykop zostanie zasypany kruszywem w warstwie 30 cm, następnie warstwą gruboziarnistego piasku płukanego o grubości ok. 45 cm. Następnie zostaną posadzone rośliny hydrofitowe.

Ogród deszczowy może zostać wykonany także bezwykopowo w kontenerach ustawionych na nawierzchni uszczelnionej. Kontenery wypełnione będą porowatym kruszywem budującym warstwę drenażowo-retencyjną oraz substrat, w którym posadzone zostaną rośliny odporne na okresowe zalewanie przez wodę.

Rys. 37 Ogród deszczowy w pojemniku zintegrowany z wolnostojącym zbiornikiem na deszczówkę (źródło: opracowanie własne).

Łącznie w ramach projektu powstanie około 200 ogrodów deszczowych o łącznej pojemności około 630 m^3.

W ramach zadania powstaną także ogrody deszczowe przy obiektach oświatowych i użyteczności publicznej, umożliwiające retencję wody deszczowej oraz edukację społeczności lokalnej. Sposób budowy planowanych ogrodów jest podobny omówionego powyżej. Ogrody deszczowe przy budynkach użyteczności publicznej będą miały proporcjonalnie większą pojemność niż te przy budynkach jednorodzinnych. Ze względu na edukacyjny charakter ogrodów i ich ekspozycję w przestrzeni publicznej, każdy ogród będzie projektowany indywidualnie, a projekt poprzedzony będzie konsultacjami z użytkownikami danego terenu. Wybrana lokalizacja, najczęściej w pobliżu placówek oświatowych, pomoże zapoznać mieszkańców zlewni z nowymi sposobami retencji wody. Miejsca te są przez nich najczęściej odwiedzane w okolicy, w której mieszkają. Całkowita retencja przy tego typu operacji wyniesie około 180 m^3.

- **Beczki i zbiorniki na deszczówkę**

Beczki jak również, większe od beczek, naziemne zbiorniki na deszczówkę są prostym i efektywnym rozwiązaniem do gromadzenia wody opadowej. Beczki są zazwyczaj umieszczane w pobliżu rur spustowych i przechwytują z nich wodę odprowadzaną z dachów budynków. Mogą być one wyposażone w proste systemy filtracyjne usuwające liście i inne zanieczyszczenia mechaniczne, co minimalizuje ryzyko namnażania się bakterii. Zgromadzoną wodę można wykorzystać do różnych celów, takich jak podlewanie ogrodu, prace porządkowe. Planuje się montaż beczek przyrynnowych o pojemności 400, 800 i 1000 litrów.

Podziemne zbiorniki na deszczówkę są zakopywane w ziemi co chroni je przed wpływem czynników atmosferycznych (promieniowanie ultrafioletowe, ujemne temperatury) i pozwala zaoszczędzić miejsce na powierzchni terenu. Mogą one osiągać znacznie większą pojemność niż zbiorniki stojące na powierzchni, w związku z czym zaplanowano budowę zbiorników o pojemności do 10 do 100m^3.

- **Budowa retencyjnych terenów rekreacyjnych (placów zabaw)**

Retencyjne tereny rekreacyjne to wklęsłe formy terenu wyposażone w infrastrukturą rekreacyjną pełniące rolę suchych zbiorników retencyjnych lub infiltracyjnych. Podczas opadów są one zalewane wodami deszczowymi spływającymi z terenów sąsiednich, które mogą być doprowadzane także lokalną kanalizacją deszczową. Gromadząca się tam woda jest zatrzymywana do momentu ustąpienia zagrożenia powodzią i zazwyczaj w ciągu maksymalnie kilkudziesięciu godzin cały teren zagłębienia jest odwadniany do odbiornika, czyli ekosystemu wodnego lub systemu kanalizacyjnego. Zaleca się pokrycie najgłębszej części dna niecki żwirem i drobnymi otoczakami ze względu na możliwość dłuższego zalegania wody.

Rys. 38 Retencyjny plac zabaw w Parku Rataje w Poznaniu

Tereny utworzone w ten sposób oferują (oprócz pojemności retencyjnej) atrakcyjne i otwarte przestrzenie publiczne w okresach bezdeszczowych. Służą one wówczas jako tereny zielone do rekreacji i sportu - np. stadion w Liourat à Vitrolles we Francji. Mogą być również łączone z

architekturą miejską. Ciekawym i odważnym przykładem jest plac wodny Benthemplein w Rotterdamie.

Z uwagi na fakt, że zadanie dotyczy obszaru, który będzie wykorzystywany do rekreacji mieszkańców, mieszkańcy okolicznych terenów zostaną zaproszeni do współprojektowania, a ich rekomendacje zostaną uwzględnione w projekcie, jeśli będzie to możliwe. Proces współprojektowania zostanie wykorzystany w celach indukcyjnych i budowania społeczności wokół budowanych obiektów.

- **Rewitalizacja starorzeczy i stawów**

Dorzecze rzeki Skawinki W granicach zlewni Skawinki znajdują się naturalne zbiorniki wodne powstałe jako starorzecza. W wyniku regulacji rzeki zostały one od niej odcięte.

Występują tu także stawy, zazwyczaj sztuczne zbiorniki użytkowane dawniej lub obecnie przez człowieka, jako stawy młyńskie lub hodowlane.

Starorzecza są często narażone na zagrożenia antropogeniczne, takie jak nienaturalne, szybkie wypłycenie i eutrofizację w wyniku spływów powierzchniowych. Podobnie jest ze stawami antropogenicznymi. W ramach planowanych prac w istniejących stawach zostaną usunięte osady antropogeniczne, ale zwiększona zostanie ich pojemność retencyjna i funkcje biologiczne. Odtworzone zostaną urządzenia wodne stabilizujące poziom wody. Po zakończeniu robót ziemnych rewitalizowane zbiorniki powinny zostać obsadzone roślinnością wodną. Zostaną zainstalowane urządzenia ograniczające napływ osadów antropogenicznych. Prace nad zbiornikami powinny być prowadzone w sposób, który nie doprowadzi do zniszczenia flory i fauny (np. prowadzenie większości prac poza sezonem lęgowym, stosowanie płotków zapobiegających przedostawaniu się płazów do obszaru pracy ciężkiego sprzętu)

- **Rewitalizacja terenów podmokłych**

Celem podejmowanych działań powinno być odtworzenie retencyjnej roli terenów podmokłych i zwiększenie ich znaczenia w wychwytywaniu substancji odżywczych i zawiesin, a tym samym modyfikacja zasilania rzeki. Zadanie to będzie dotyczyć obszaru poza brzegami i strefy zalewowej cieku. Działania będą koncentrować się przede wszystkim na retencji wody poprzez blokowanie lub likwidację rowów melioracyjnych terenów podmokłych i tym samym przywrócenie naturalnych stosunków wodnych. Nawet mocno zarośnięte i zaniedbane rowy, które pozornie nie transportują wody, muszą zostać spiętrzone, ponieważ całoroczny bilans wodny ma istotne znaczenie dla stanu terenów podmokłych, a nawet takie rowy często okazują się aktywne w okresie zimowo-wiosennym. W przypadku torfowisk celem jest zatrzymanie murszenia torfu i, w miarę możliwości, przywrócenie procesu torfotwórczego, który wymaga, aby cały profil torfowy był nasycony wodą przez większą część roku. Czasami konieczne jest podjęcie działań ingerujących w roślinność porastającą tereny podmokłe. Konieczne jest usuwanie zarośli drzew i krzewów, aby przerwać związek między parowaniem, przesuszeniem i zarastaniem, a także przywrócenie roślinności typowej dla terenów podmokłych, ewentualnie koszenie lub wypas w celu utrzymania typowej roślinności. Dodatkową korzyścią z renaturyzacji terenów podmokłych jest zachowanie lub przywrócenie ich unikalnych walorów przyrodniczych, a w torfowiskach również utrzymanie i przywrócenie

procesu torfotwórczego (łagodzenie zmian klimatycznych poprzez pochłanianie CO_2 przez roślinność torfotwórczą i ograniczenie lub całkowite wyeliminowanie jego emisji w wyniku mineralizacji przesuszonego torfu).

Bardzo ważną korzyścią z renaturyzacji terenów podmokłych jest zwiększenie retencji wody w zlewni, przyczyniające się do łagodzenia skutków suszy i przywracania zaburzonych mechanizmów regeneracji zasobów wód podziemnych. Renaturyzacja poprawia retencję zlewni, opóźnia odpływ wody zmniejszając zagrożenie powodziowe na terenach położonych poniżej, zmniejsza niekorzystny spływ substancji (próchnicznych, biogennych) z degradujących terenów podmokłych do wód.

Jednakże odtworzenie terenów podmokłych oznacza odtworzenie bagiennych warunków wodnych, co w przypadku gospodarczego wykorzystania terenu wymaga dostosowania metod gospodarowania do warunków bagiennych. Rolnicze lub leśne użytkowanie odtworzonych terenów podmokłych jest nadal możliwe w wielu przypadkach, ale wymaga technologii pracy specyficznej dla warunków bagiennych.

Działanie wymaga posiadania terenu podmokłego lub zgody jego właściciela. Zestaw niezbędnych pozwoleń zależy od szczegółowej formy podejmowanych działań. W realizacji zadania wykorzystano praktyki rekomendowane w podręczniku dobrych praktyk ochrony terenów podmokłych (Makles M., Pawlaczyk P., Stańko R. 2014, Centrum Koordynacji Projektów Środowiskowych Lasów Państwowych, Warszawa).

- **Budowa okresowo wysychających stawów**

Okresowo wysychające stawy to akweny, które gromadzą wodę głównie w wyniku opadów deszczu. Ich głównym celem jest zatrzymywanie nadmiaru wody, co pozwala na spowolnienie jej odpływu i zmniejszenie ryzyka powodzi. Zbiorniki tego typu występują w naturze, ale mogą być też budowane jako oparte na naturze rozwiązania retencyjne. Mogą mieć różnorodne formy, od prostych zagłębień w terenie (najczęściej stosowane na terenach zalewowych i w lasach) po bardziej złożone konstrukcje wyposażone w budowle techniczne (najczęściej w miejskich systemach retencji wód opadowych). Ich bardzo prosta budowa ma minimalny wpływ na środowisko, a dzięki obsadzeniu roślinnością znoszącą zarówno okresowe zalewanie jak i niedobór wody, mogą sprawnie funkcjonować w zmiennych warunkach wodnych, tworząc specyficzne mikrosiedliska i zwiększając bioróżnorodność.

- **Budowa suchych zbiorników przeciwpowodziowych**

są to zbiorniki gromadzący wodę tylko w okresie powodzi; poza wezbraniami ich czasze wykorzystuje się rolniczo jako łąki i pastwiska lub rekreacyjnie jak na zdjęciu Rys. 39

Rys. 39 Mały suchy zbiornik zrobiony powyżej przepustu drogowego (źródło: własne)

Ponadto należy mieć na uwadze następujące działania zapobiegawcze:

1. Uwzględnienie ryzyka wystąpienia opadu nawalnego przy opracowywaniu lub adaptacji planów zagospodarowania przestrzennego
2. Środki ostrożności przy wydawaniu pozwoleń na budowę (unikanie zabudowy w strefach zagrożenia)
3. Promowanie i egzekwowanie środków ochrony mienia
4. Koncepcje i plany oparte na podziale zlewniowym; współpraca międzygminna
5. Przesiedlenia i dostosowanie realokacji
6. Opracowanie przepisów eksploatacyjnych dla zagrożonych powodzią obiektów działalności gospodarczej i przemysłowej
7. Certyfikaty ochrony / profilaktyki przeciwpowodziowej dla budynków
8. Monitorowanie wody i środowiska w odniesieniu do terenów podmokłych

6.2. Rozmieszczenie działań

Proponowane lokalizacje działań uzyskano na podstawie analiz eksperckich oraz z wyników ankiety przeprowadzonej wśród lokalnych samorządów. Analizy eksperckie polegały na przeglądzie aktualnych i historycznych planów działań tj.:

- Planu zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Wisły z roku 2022
- Planu przeciwdziałania skutkom suszy z roku 2021
- Planu gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Wisły z roku 2022
- Program Małej Retencji Województwa Małopolskiego z roku 2024

Dodatkowo zebrano następujące zbiory danych przestrzennych i przeprowadzono na nich analizy typujące potencjalną lokalizację działań rolniczych i leśnych (tzw. niestrukturalnych):

- BDOT10k,
- Mapę glebowo-rolniczą,
- Numeryczny Model Terenu,
- Numeryczny Model Pokrycia Terenu,
- Mapy Zagrożenia Powodziowego,

W wyniku przeglądu obowiązujących Planów działań dostępnych między innymi na hydroportalu ustalono wdrażanie następujących działań z zakresu:

1. Zrządzania ryzykiem powodziowym
    a. *Budowa 4 zbiorników wodnych (Gościbia, Jastrzgbka, Głogoczówka, Cedron)*
    b. Budowa bulwarów i obwałowań dolinie rzeki Skawinka
    c. Budowa polderu Kopanka na ujściu rzeki Skawinki poniżej miejscowości Skawina
2. Przeciwdziałania skutkom suszy
    a. *Renaturyzacja doliny Cedronu oraz Skawinki, w tym przywrócenie drożności korytarza ekologicznego tych strumieni / rzek, a przez to zwiększenie ich możliwości retencyjnych w terenie zalewowym*
    b. *Budowa zbiornika retencyjnego o pojemności około 1 650 tys. m³ na potoku Gościbia w m. Sułkowice*
3. Gospodarowania wodami
    a. *Ograniczenie zanieczyszczenia wód związkami biogennymi pochodzącymi z rolnictwa oraz ograniczenie zanieczyszczenia pestycydami*
    b. Rozpoznanie zasadności realizacji działań naprawczych dla obszarów chronionych w zakresie utrzymania naturalnego charakteru koryta (chodzi o dolną zlewnie JCWP rzeki Skawinka od Głogoczówki do ujścia).
    c. Uporządkowanie i poprawa infrastruktury związanej z gospodarką ściekową na obszarze gminy poza aglomeracjami
    d. Analizy techniczno-ekonomiczne gospodarowania ściekami w obszarze gminy poza aglomeracjami
    e. Aktualizacja programu ochrony środowiska pod kątem poprawy efektywności dotyczącej ograniczania dopływu zanieczyszczeń do jcwp
    f. Realizacja KPOŚK (modernizacja lub rozbudowa oczyszczalni ścieków Skawina, Myślenice, Mogilany-Włosań, Sułkowice, Kalwaria Zebrzydowska)
    g. Kontrole dotyczące stosowania programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu przez podmioty prowadzące produkcję rolną i działalność

W Planie małej retencji nie podano konkretnych propozycji działań strukturalnych dla zlewnie Skawinki jedynie podano ogólne zalecenia dotyczące form małej retencji proponowanych głównie przez profesora W.Mioduszewskiego.

Z uwagi na to, że opracowanie ma charakter konceptualny nie planistycznych analizy eksperckie skupiły się jedynie na działaniach niestrukturalnych położonych na terenach rolniczych i leśnych, na których dochodzi do intensywnych spływów powierzchniowych i podtopień. Planowanie działań na tych terenach powinno mieć największy efekt w łagodzeniu ryzyka powodzi w dolnych częściach zlewnie. W wyniku analiz przestrzennych wytypowano następujące obszary:

1. Grunty orne położne na stokach o nachylenie >14% położone na glebach słabo przepuszczalnych w odległości 150m od rzek i 50m od rowów, na których istnieje potrzeba zaniechania lub stosowania odpowiedniej orki i utrzymywanie zielonej pokrywy roślin w okresach poza wegetacyjnych,
2. Trwałe użytki zielone, położone w odległości 150m od rzek i 50m od rowów oraz w miejscach potencjalnie podtapianych (TWI>5), co sprzyja zwiększeniu pojemności retencyjnej i spowalnianiu odpływu z wysoczyzny w wyniku utrzymania okresowego zalewu lub podtopienia,
3. W korycie i na brzegach leśnych cieków i ich źródlisk mających formę wąwozu, parowu, debrzy, wądołu i rozłogu poprzez utrzymanie gęstej roślinności, rumoszu drzewnego i skalnego co sprzyja stabilizacji brzegów i ma wpływ na spowolnienie odpływu.

W Tab. 17 zamieszczono wymiary w/w działań niestrukturalnych, a ich lokalizację przedstawiono na Rys. 40.

Tab. 15 Wymiary wybranych działań niestrukturalnych (źródło: opracowanie własne)

nazwa działania	powierzchnia/ długość	jednostka
zarządzanie orką na stokach i minimalna pokrywa glebowa (warunki uzyskania dopłat z ekoschematów)	1669.45	ha
utrzymanie wody na podtapianych trwałych użytkach rolnych (ekoschemat)	375.86	ha
spowolnienie odpływu wody leśnymi ciekami i wąwozami (trwała pokrywa roślinna, rumosz skalny i drzewny)	636.95	km

6.3. Szacowana objętość retencji wód

Szacunkami objęto jedynie działania strukturalne szczególnie dedykowane dla zlewnie i zaproponowane przez samorządy. Pojemność retencyjna wybranych typów działań została obliczona na podstawie wzorów empirycznych przy założeniu typowych dla danych obiektów wartości piętrzenia wody.

Tab. 16 Szacowana pojemność retencyjna wybranych działań (źródło: opracowanie własne)

Lp.	nazwa działania	pojemność retencyjna [m^3]
1	rewitalizacja rowu melioracyjnego	10 500
2	deregulacja rzeki	10 629
3	zbiornik/beczka na deszczówkę lub zbiornik podziemny	14 160
4	ogród deszczowy	1 748
5	renaturyzacja mokradeł, budowa okresowo wysychających stawów	109 360
6	retencyjny plac zabaw	2 270
7	odtworzenie starorzecza lub stawu, budowa zbiornika	176 650
8	zbiornik suchy na cieku	411 687
9	zbiornik retencyjny na cieku	643 189
	Suma końcowa	**1 386 553**

Efektywność retencyjna beczek i zbiorników na deszczówkę

Należy zauważyć, że rzeczywista efektywność retencyjna beczek i zbiorników na deszczówkę umożliwiających wykorzystanie zgromadzonej wody do podlewania zieleni lub celów gospodarczych, w ujęciu rocznym będzie w wielokrotnie wyższa od ich niewielkiej chwilowej pojemności retencyjnej.

Analiza przewidywanej efektywności proponowanych beczek i podziemnych zbiorników na deszczówkę objęła bilans wodny obliczony z krokiem dobowym dla obiektu retencyjnego i nawadnianej części ogrodu. Bilans oparto na danych IMGW-PIB o dobowych sumach opadów dla stacji Radziszów (położonej w zlewni Skawinki) w dziesięcioleciu 2004-2014, obejmującym lata zaklasyfikowane jako stosunkowo suche, umiarkowane i jeden rok zdecydowanie mokry. Dla różnych typów i pojemności zbiorników przyjęto różne wielkości powierzchni dachu lub nawierzchni utwardzonych. Założono typowe wartości ewapotranspiracji dobowej dla terenów zieleni, założono nawadnianie co 2 dni (lub rzadziej w przypadku wystąpienia deszczu). Dla okresu stosowania nawodnień (od 1 kwietnia do 30 września) obliczono ilość łącznie zgromadzonej wody deszczowej, stopień redukcji odpływu powierzchniowego.

Tab. 17 Analiza przewidywanej średniej efektywności proponowanych beczek i podziemnych zbiorników na deszczówkę (źródło: opracowanie własne)

typ	Pojemność [l]	Pojemność [m^3]	założona powierzchnia fragmentu dachu [m^2]	założona nawadniana powierzchnia ogrodu [m^2]	prognozowana objętość wody zretencjonowana i wykorzystana do nawodnień [m^3]	prognozowana równoważna liczba napełnień zbiornika [-]	prognozowana redukcja odpływu z odwadnianej części dachu
beczka przyrynnowa	400	0,4	50	30	7,0	17,6	29%
	800	0,8	70	40	11,0	13,8	33%
	1000	1	70	50	13,1	13,1	39%
zbiornik podziemny	3000	3	120	200	35,0	11,7	59%
	5000	5	150	250	48,4	9,7	65%
	7000	7	150	300	55,4	7,9	74%

Analiza wykazała możliwość zretencjonowania i wykorzystania w okresie wegetacyjnym od 7 do ponad 55m^3 wody w zależności od wielkości zastosowanej beczki lub zbiornika, co można przeliczyć na odpowiednio ponad 17 lub 7 napełnień zbiornika. Pozwoli to także na zmniejszenie w tym okresie odpływu powierzchniowego z fragmentu lub całości dachu podłączonego do zbiornika o 29 do 74%.

W zależności od warunków lokalnych (szczególnie wielkość odwadnianego dachu i nawadnianego ogrodu, częstotliwość nawadniania) sposób funkcjonowania zbiornika retencyjnego może się różnić od wartości średnich przedstawionych w analizie.

7. Podsumowanie

1. Należy podkreślić, że opracowanie to samo w sobie jest już jednym z typów działań przeciwdziałania powodzi nazwanym “koncepcje i plany oparte na podziale zlewniowym i współpracy między gminami”
2. Zlewnia rzeki Skawinki ze względu na słabą i bardzo słabą przepuszczalność gleb, duże nachylenie terenu, rosnącą urbanizację oraz przewidywany wzrost intensywności opadów atmosferycznych jest i będzie szczególnie zagrożona powodziami rzecznymi i podtopieniami.
3. Pomimo niskiego nawożenia gruntów rolnych w górnej części zlewnie Skawinki i w zlewnie Cedronu są przekroczenia związków azotu i fosforu, które między innymi mają wpływ na zły stan ekologiczny wód.
4. Niskie nawożenie gruntów rolnych i koncentracja zabudowy wzdłuż cieków wodnych może sugerować, że źródłem przekroczeń dopuszczalnych norm stężeń biogenów (szczególnie w górnej części zlewnie) i substancji priorytetowych są nieczystości z szamb i przydomowych oczyszczalni oraz z kanalizacji deszczowej lub bezpośrednich spływów z dróg przyległych do terenów miejskich lub wiejskich.
5. Na terenach zabudowanych zaleca się zwiększanie (przywracanie) zdolności retencyjnych poprzez budowę obiektów błękitno-zielonej infrastruktury to jest rozwiązań opartych na naturze w postaci zagłębień terenowych, o zwiększonej przepuszczalności podłoża, porośniętych roślinnością oraz rozwiązań technicznych w postaci beczek oraz naziemnych i podziemnych zbiorników na deszczówkę. Obiekty te będą stanowić lokalne odbiorniki wód opadowych umożliwiające odwodnienie zabudowy i nawierzchni utwardzonych, zmniejszenie lub opóźnienie odpływu połączone z jego oczyszczaniem, zasilanie wód podziemnych lub magazynowanie wody do nawodnień zieleni, zwiększanie bioróżnorodności i tworzące przestrzeń rekreacyjną.
6. Realizacja zakładanych celów działania wielofunkcyjnych obiektów błękitno-zielonej infrastruktury będzie tym pełniejsza im powszechniej będą one stosowane, dlatego zaplanowane obiekty powinny być wykorzystywane w edukacji społeczności lokalnej, co poza zrozumieniem potrzeby retencji może skutkować popularyzacją ich stosowania i zwiększeniem kompetencji w zakresie ich projektowania i wykonawstwa.
7. Należy też pamiętać, że rozwój kanalizacji deszczowej bez osadników i zbiorników retencyjnych zwiększy ryzyko powodziowe i pogorszy stan ekologiczny wód
8. Należy również podjąć ścisłą współpracę z gminami położonymi na terenie zlewni, Państwowym Gospodarstwem Wodnym Wody Polskie, ODR, GIOŚ i innymi instytucjami i stowarzyszeniami, którym zależy na bezpieczeństwie powodziowym i dobrym stanie ekologicznym i dostępności wód podziemnych i powierzchniowych. Takie grono interesariuszy przeprowadza spotkania w ramach Lokalnych Partnerstw dla Wody.
9. Ponieważ niniejsza ekspertyza ma charakter rozpoznawczy i nie zawiera szczegółowych informacji o lokalizacji i parametrach większości działań, kosztorysu, oceny efektywności lokalnej i zbiorczej oraz analiz wariantowych (do której raczej

należałoby użyć dynamicznego modelu hydrologicznego) zaleca się w dalszym etapie prac opracować szczegółowy plan działań z tego zakresu a w dalszym kroku projekty wybranych działań co ułatwi składnie wniosków o dotacje finansowe.

10. Podstawą tego typu planów działań powinny być plany zagospodarowania przestrzennego i wspomniane wcześniej programy oraz strategie ochrony środowiska i zmian klimatu, które powinny być opracowane w skali powiatu lub gminy.

8. Literatura

Dz.U. 2021 poz. 1615, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 15 lipca 2021 r. w sprawie przyjęcia Planu przeciwdziałania skutkom suszy

Dz.U.2022 Poz. 2739, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 18 października 2022 r. w sprawie przyjęcia Planu zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Wisły

Dz.U. 2023 poz. 300, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 4 listopada 2022 r. w sprawie Planu gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Wisły

Makles M., Pawlaczyk P., Stańko R. 2014, Podręcznik najlepszych praktyk ochrony mokradeł. Centrum Koordynacji Projektów Środowiskowych Lasów Państwowych, Warszawa

Marcinkowski P., Piniewski M., 2024: Future changes in crop yield over Poland driven by climate change, increasing atmospheric CO2 and nitrogen stress, Agricultural Systems, Vol. 213, 2024, doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103813.

Nowak D., Pikosz M., 2024. Ekoschematy. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie. ISBN: 978-83-66823-28-0.

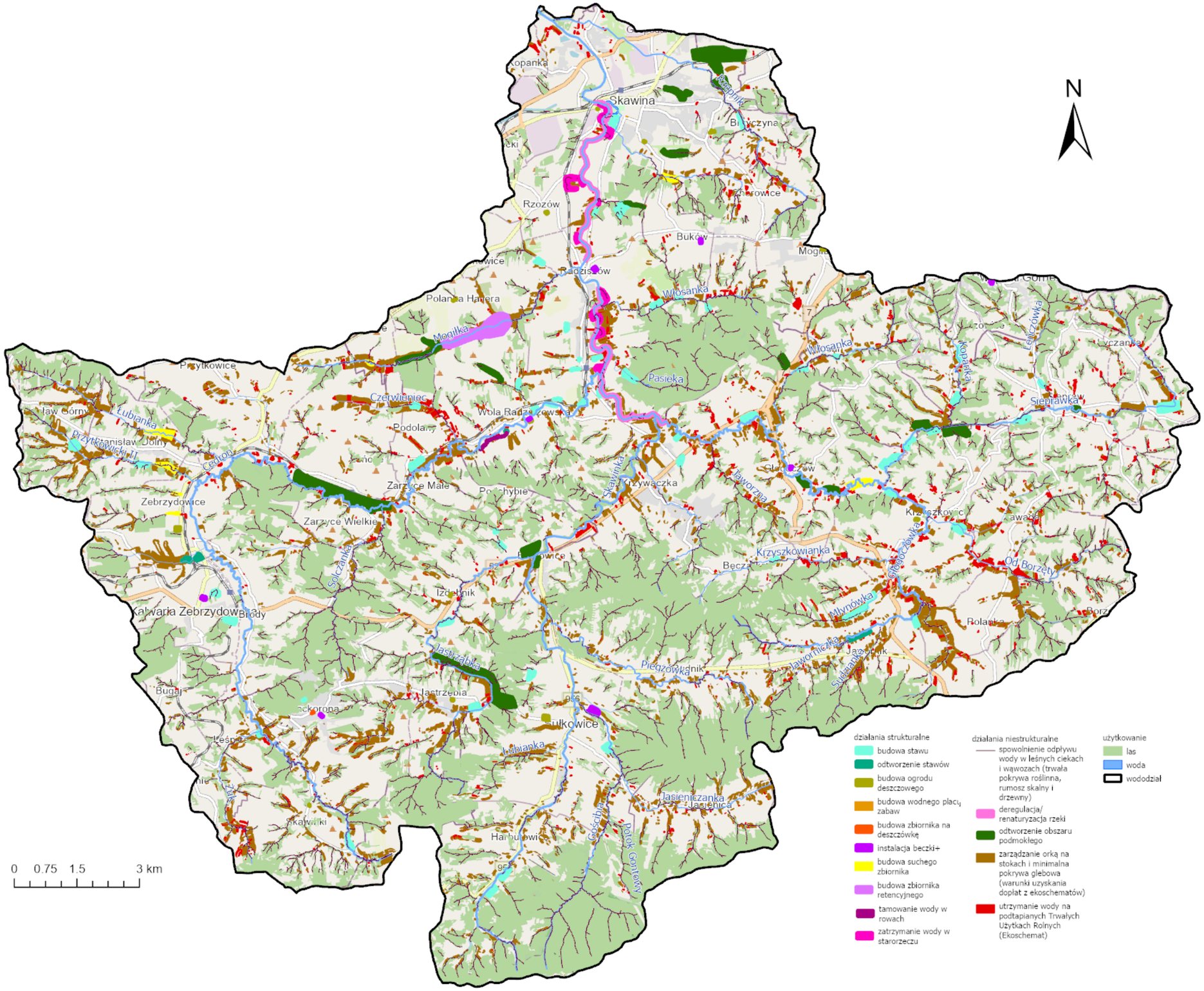
Piniewski, M., Szcześniak., M., Kardel., I., Berezowski, T., Okruszko, T., Srinivasan, R., Vikhamar-Schuler., D., Kundzewicz., Z.W., 2017. Hydrological modelling of the Vistula and Odra river basins using SWAT. Hydrol. Sci. J. 62(8), 1266-1289. doi: 10.1080/02626667.2017.1321842.

Piniewski, M., Szcześniak, M., Kardel, I., 2017. CHASE-PL—Future Hydrology Data Set: Projections of Water Balance and Streamflow for the Vistula and Odra Basins, Poland. Data, 2(2), 14, d. oi:10.3390/data2020014.

Program Małej Retencji Województwa Małopolskiego, 2024. Załącznik nr 1 do Uchwały nr XXV/344/04, Sejmiku Województwa Małopolskiego Z dnia 25 października 2004 r

Venegas-Cordero N., Mediero L. & Piniewski M., 2024: Urbanization vs. climate drivers: investigating changes in fluvial floods in Poland. Stoch Environ Res Risk Assess 38, 2841–2857 (2024). doi.org/10.1007/s00477-024-02717-z

Waterprotect, 2020. Poradnik stosowania zasad dobrej praktyki rolniczej.



Rys. 40 Mapa potencjalnych lokalizacji działań retencji wód opadowych w zlewnie Skawinki