



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

Państwowa służba geologiczna
Państwowa służba hydrogeologiczna

METODYKA OPRACOWANIA

Wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WORP) w zakresie powodzi od wód podziemnych (podtopień)

Nadzorujący:

Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej

Finansujący:

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej
ul. Konstruktorska 3A, 02-673 Warszawa

Wykonawca:

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa



Opracował zespół pod kierunkiem :

mgr Rafała Janicy

Warszawa, 2017

Tab. 1 Skład zespołu autorskiego

Imię i nazwisko	Uprawnienia	Podpis
mgr Rafał Janica (kierownik zadania)	upr. geol. V-1424, VI-1360	
dr Zbigniew Frankowski	upr. geol. 06 0295, certyfikat PKG nr 0105	
dr Krzysztof Józwiak	-	
dr Jacek Kocyła	-	
dr Edyta Majer	upr. geol. VI-0412	
dr Marta Sokołowska	upr. geol. VII-1485	
dr hab. Tetyana Solovey	-	
dr Małgorzata Woźnicka	upr. geol. V-1435	
mgr Marcin Honczaruk	upr. geol. V-1617, VIII-0147, X-0209	
mgr Magdalena Kucharska	upr. geol. VIII-0130	
mgr Krzysztof Majer	upr. geol. VI-0418	

Spis treści

Spis tabel	5
Spis rysunków	6
1 WPROWADZENIE I CEL PRACY	9
1.1 Słownik pojęć - definicje	10
2 PODSTAWY PRAWNE	15
3 ZAKRES PRAC	15
3.1 Cel projektu	15
3.2 Założenia metodyczne	15
4 IDENTYFIKACJA POWODZI	17
4.1 Klasyfikacja powodzi (podtopień)	17
4.2 Przyczyny podtopień (powodzi)	19
4.3 Negatywne skutki podtopień (powodzi)	21
5 PODSTAWA METODYKI	22
5.1 Założenia merytoryczne	22
5.2 Wymagane dane	23
5.3 Założenia analiz przestrzennych	25
6 ANALIZY GEOPRESTRZENNE GIS	28
6.1 Analiza występowania zagrożenia podtopieniem od wód podziemnych (WORP-WP)	28
6.1.1 Warunki brzegowe	28
6.1.2 Wielokryterialna analiza parametryczna	29
6.1.3 Ocena zagrożenia wystąpienia podtopień od wód podziemnych:	30
6.1.4 Kryteria oceny zagrożenia wystąpienia podtopienia od wód podziemnych	31
6.2 Analiza występowania zagrożenia podtopieniami od wód spływowych (WORP-WS)	32
6.2.1 Warunki brzegowe	32
6.2.2 Wielokryterialna analiza parametryczna	32
6.2.3 Ocena zagrożenia wystąpienia podtopień od wód spływowych:	33
6.2.4 Kryteria oceny stopnia zagrożenia	34
6.3 Analiza zagregowanego stopnia zagrożenia wystąpieniem podtopienia (WORP-SUM)	35
6.4 Analiza ryzyka wystąpienia podtopienia (WORP-RYZ)	36
6.4.1 Warunki brzegowe	36
6.4.2 Wielokryterialna analiza parametryczna	36
6.4.3 Ocena ryzyka wystąpienia podtopień	38
6.4.4 Kryteria oceny ryzyka wystąpienia podtopienia	39

6.5	Uwagi uzupełniające.....	40
7	MAPY	43
7.1	Zakres danych.....	43
8	PROJEKT/MODEL BAZY DANYCH	45
8.1	Dane wejściowe i obliczeniowe.....	45
8.2	Format bazy danych	47
8.3	Model bazy danych.....	48
8.4	Warstwy wynikowe bazy danych	48
8.5	Metadane	49
8.5.1	Profil metadanych	49
8.5.2	Opis struktury danych	49
8.6	Bazy danych dla Komisji Europejskiej.....	49
8.6.1	Lista produktów przewidzianych do wytworzenia	49
9	UWAGI KOŃCOWE.....	50
9.1	Teledetekcja	50
9.2	Zalecenia dla map zagrożenia powodziowego od wód podziemnych	51
10	LITERATURA.....	52

Spis tabel

Tab. 1 Skład zespołu autorskiego	2
Tab. 2 Skróty używane w tekście	7
Tab. 3 Typy powodzi ze względu na Źródło.....	17
Tab. 4 Typy powodzi ze względu na Mechanizm	18
Tab. 5 Typy powodzi ze względu na Charakterystykę	19
Tab. 6 Zagregowane formy pokrycia terenu według BDOT 10k.....	27
Tab. 7 Parametry oceny ryzyka wystąpienia podtopień od wód podziemnych - analiza WOPR-WP.....	29
Tab. 8 Dobór wag - analiza WOPR-WP (obszar testowy – Arkusz Warszawa Zachód 1:200 000).....	30
Tab. 9 Ocena stopnia zagrożenia wystąpienia podtopień od wód podziemnych - analiza WOPR-WP	32
Tab. 10 Parametry oceny zagrożenia wystąpieniem podtopienia od wód spływowych - analiza WOPR-WS.....	33
Tab. 11 Dobór wag - analiza WOPR-WS (obszar testowy – Arkusz Warszawa Zachód 1:200 000).....	34
Tab. 12 Ocena stopnia zagrożenia wystąpieniem podtopienia od wód spływowych - analiza WOPR-WS.....	35
Tab. 13 Kryteria oceny zagregowanych stopni zagrożenia (analiza jakościowa)	35
Tab. 14 Parametry oceny ryzyka podtopienia - analiza WOPR-RYZ	36
Tab. 15 Dobór wag dla gęstości zaludnienia- analiza WOPR-RYZ	38
Tab. 16 Dobór wag dla form zagospodarowania powierzchni terenu- analiza WOPR-RYZ	38
Tab. 17 Dobór wag dla obiektów dziedzictwa kulturowego - analiza WOPR-RYZ.....	39
Tab. 18 Dobór wag dla form obszarów chronionych- analiza WOPR-RYZ.....	39
Tab. 19 Ocena ryzyka wystąpienia podtopienia - analiza WOPR-RYZ	40
Tab. 20 Warstwy bazy danych obliczeniowych WOPR.....	46
Tab. 21 Warstwy wynikowe analiz WOPR.....	48

Spis rysunków

Fig. 1 Schemat blokowy postępowania przy opracowaniu wstępnej oceny zagrożenia powodzią od wód podziemnych i wód sphywowych	42
Fig. 2 Schematy organizacji danych.....	48

Tab. 2 Skrót używane w tekście

Skrót	Rozwinięcie
BDGI	Baza Danych Geologiczno-Inżynierskich
BDOT	Baza danych obiektów topograficznych
CBDG	Centralna Baza Danych Geologicznych
CBDH	Centralny Bank Danych Hydrogeologicznych
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DP	Dyrektywa powodziowa
MIDAS	Serwis o surowcach mineralnych Polski oraz ściśle z nimi związaną tematyką eksploatacji złóż
ONNP	Obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi
PPW-WH	Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 – „pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika”
SMGP	Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000
UE	Unia Europejska
WORP	Wstępna ocena ryzyka powodziowego

1 WPROWADZENIE I CEL PRACY

Niniejsza metodyka opracowana została na podstawie umowy nr 318/2017/Wn-07/FG-hg-dn/D o dofinansowanie w formie dotacji zawartej w Warszawie, w dniu 15.11.2017 r. pomiędzy Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) a Państwowym Instytutem Geologicznym – Państwowym Instytutem Badawczym (PIG-PIB). Umowa dotyczy realizacji przedsięwzięcia pn. „Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami - II etap prac obejmujący obszar poza dolinami rzeczny: opracowanie wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WORP) w zakresie powodzi od wód podziemnych”, realizowanego jako zadanie państwowej służby hydrogeologicznej w ramach programu priorytetowego nr 2.3.1 ‘Geologia i górnictwo Część 1: Poznanie budowy geologicznej kraju oraz gospodarka zasobami złóż kopalin i wód podziemnych’.. Zgodnie z ustawą Prawo wodne nadzór nad realizacją przedsięwzięcia sprawuje Prezes Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej.

Celem opracowania jest określenie sposobu przeprowadzenia analizy i wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WORP) w zakresie powodzi od wód podziemnych (podtopień), w postaci opracowania metodycznego. Praca opisuje założenia metodyczne, według których są wyznaczane obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi od wód podziemnych. Opracowanie obejmuje tereny poza obszarami wyznaczonymi w pierwszym etapie prac, tzn. które objęły główne doliny rzeczne w Polsce, opracowane w latach 2005-2007 roku w ramach projektu Mapa Obszarów Zagrożonych Podtopieniami w Polsce (łącznie 607 arkuszy mapy w skali 1:50 000).

Zakłada się możliwość zmiany i uzupełnienia metodyki w miarę postępu prac nad opracowaniem map WORP, realizowanymi w ramach projektu w dalszym etapie. W końcowej fazie przedsięwzięcia przewiduje się przygotowanie ostatecznej wersji metodyki WORP, uwzględniającej wszystkie zmiany dokonane w trakcie realizacji projektu.

1.1 Słownik pojęć - definicje

Powódź od wód podziemnych spowodowana niekorzystnymi warunkami hydrogeologicznymi:

Zjawisko wywołane podniesieniem się poziomu wód podziemnych do lub ponad powierzchnię terenu, powodując negatywne konsekwencje dla: zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego, działalności gospodarczej, infrastruktury oraz upraw i przyrodniczo cennych ekosystemów (chronionych).

Powódź od spływu wód spowodowana niekorzystnymi warunkami geologiczno-morfologicznymi i antropogenicznymi:

Zalanie terenu wodami spływowymi na skutek utrudnionego odpływu powierzchniowego oraz niewielkiej chłonności strefy aeracji, powodujące negatywne konsekwencje dla: zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego, działalności gospodarczej, infrastruktury oraz upraw i przyrodniczo cennych ekosystemów (chronionych).

Blok dyskretyzacyjny – najmniejszy obszar siatki dzielący analizowany obszar. Przyjęte granice bloków są tożsame z międzynarodowym podziałem arkuszowym dla układu współrzędnych PL-1992 dla skali 1:5 000

Główne użytkowe piętro / poziom wodonośny (GUPW) - pierwsze od powierzchni terenu piętro użytkowe lub poziom użytkowy, stanowiące podstawowe źródło zaopatrzenia o dominującym zasięgu i zasobności w obszarze wydzielonej jednostki hydrogeologicznej Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000.

Lej depresji – antropogeniczna znacząca zmiana położenia zwierciadła wód podziemnych (tu pierwszego poziomu wodonośnego), interpretowana kartograficznie, obejmująca zmianę, której wielkość przekracza 2m lub sezonową amplitudę wahań naturalnych przed powstaniem tej zmiany, obszar objęty taką zmianą obejmuje powierzchnię co najmniej 2 km² i jest ona wywołana przez czynnik antropogeniczny działający co najmniej kilka lat.

Mokradła – ekosystemy pośrednie między typowo wodnymi i typowo lądowymi, często występujące na ich pograniczu, kształtujące się pod wpływem stałego lub okresowego przesylenia podłoża wodą, umożliwiającym występowanie w nich hydrofilnej roślinności oraz akumulację organicznych utworów glebowych.

Obszar o silnie zróżnicowanych warunkach występowania pierwszego poziomu wodonośnego – obszar obejmuje strefę występowania nieciągłych, zaburzonych warstw wodonośnych pierwszych od powierzchni terenu. Lokalnie warstwy te spełniają kryteria przyjęte dla PPW. Stopień przestrzennego zróżnicowania ich wykształcenia i własności, znaczna nieciągłość, mozaikowe zróżnicowanie miąższości i głębokości do zwierciadła - powodują, że hydroizohipsy i hydroizobaty tych warstw nie mogą być odwzorowane kartograficznie ze stopniem dokładności właściwym dla map w skali 1:50 000. Kartograficzną prezentację takich obszarów utrudnia także niewystarczające rozpoznanie ich hydrodynamiki. Takimi obszarami są przede wszystkim: [1] strefy regionalnych zaburzeń glacitektonicznych; [2] zawodnione pokrywy utworów glacialnych, zbudowane z nierozdzielonych piasków i żwirów zwałowych, piasków i mułków kemowych, spiaszczeń oraz przewarstwień i soczew piaszczystych w obrębie glin zwałowych; [3] nierozdzielone serie piaskowców i mułowców fliszowych, nierozdzielonych serii piasków, mułków i iłów jeziorno-zastoiskowych; [4] utwory fliszowe nierozdzielone - o nierozpoznanym z dokładnością skali 1:50 000 występowaniu serii wodonośnych i niewodonośnych; [5] masywy skał szczelinowych i szczelinowo-krasowych, wykazujące silnie zróżnicowaną wodonośność, lokalnie znaczną, w rejonie pojedynczych studni spełniającą kryteria poziomów użytkowych lub wykazujących strefową bezwodność.

Obszar bez warstw wodonośnych – obszar, w którym nie występują warstwy wodonośne o ciągłości, wykształceniu i zasobności, spełniającej wartości kryteriów przyjęte dla pierwszego poziomu wodonośnego. Na takim obszarze mogą występować zawodnione utwory wodoprzepuszczalne o niewielkiej miąższości, okresowo wysychające, o bardzo ograniczonym, ściśle lokalnym zasięgu, przez co nie mogą być rozpoznane i przedstawione z dokładnością kartograficznej schematyzacji warunków hydrogeologicznych mapy w skali 1:50 000.

Pojemność wodna – Zdolność warstwy do magazynowania wody, wyrażana stosunkiem objętości wody oddanej lub zmagazynowanej w prostopadłościanie warstwy o jednostkowej podstawie i wysokości równej miąższości, w wyniku zmiany stanu zwierciadła (wysokości hydraulicznej) o jednostkę, do objętości jednostkowego prostopadłościanu. W warstwie o zwierciadle napiętym oddawanie lub magazynowanie wody jest związane ze ściśliwością lub ekspansywnością wody i skały (współczynnik sprężystej pojemności wodnej SS). W warstwie o zwierciadle swobodnym ze zmianą stanu zwierciadła związane jest zjawisko nasycania (nawadniania) lub osuszania warstwy, a **p.w.** zbliża się do współczynnika odsączalności μ (w dynamice wód podziemnych zwanej współczynnikiem grawitacyjnej pojemności wodnej lub porowatością efektywną). Zachodzą przy tym następujące relacje: dla warstw o zwierciadle napiętym $S = SS'$; dla warstw o zwierciadle swobodnym $S = SS + \mu \approx \mu$; często przyjmuje się przy tym $\mu \approx n_e$.

Pierwszy poziom wodonośny (PPW) – pierwsza od powierzchni warstwa wodonośna lub zespół warstw wodonośnych wykazujących wzajemną dobrą łączność hydrauliczną. W schematyzacji warunków hydrogeologicznych, dokonywanej na potrzeby *Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000* – „pierwszy poziom wodonośny”, przyjmuje się, że warstwa lub zespół warstw wodonośnych, wchodzących w skład pierwszego poziomu wodonośnego, posiada: [1] średnią wodoprzepuszczalność $k \geq 3$ m/24godz. ($k \geq 3 \cdot 10^{-5}$ m/s); [2] łączną miąższość $M \geq 2$ m (przy średnim stanie retencji); [3] wykazuje ciągłość występowania (z dokładnością schematyzacji hydrogeologicznej właściwą dla mapy w skali 1:50 000) na obszarze $A > 20 \text{ km}^2$ (w warunkach dobrego rozpoznania i wyraźnego zróżnicowania przestrzennego warunków hydrogeologicznych dopuszcza się $A > 2 \text{ km}^2$).

Ryzyko (powodziowe) – kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia szkodliwych czynników (powodzi) i związanych z nimi potencjalnych negatywnych konsekwencji dla zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej.

Strefa aeracji – Obszar zawarty między powierzchnią ziemi a strefą wzniosu kapilarnego. W s.a. pustki skalne wypełniają powietrze i woda, występująca w postaci pary wodnej, wody związanej (woda higroskopijna, woda błonkowata) oraz wolnej (wody zawieszone i wsiątkowe).

Strefa saturacji – Strefa występowania skał, w których wolne przestrzenie (pory, szczeliny, próżnie krasowe) wypełnione są całkowicie wodą. Górna powierzchnia tej strefy (zwierciadło wód podziemnych) graniczy ze strefą aeracji.

Użytkowy poziom wodonośny (UPW) - warstwa lub zespół warstw wodonośnych, wykazujących dobrą łączność hydrauliczną, o parametrach kwalifikujących do eksploatacji komunalnej: miąższość utworów wodonośnych ponad 5 m, wodoprzewodność ponad 50 m²/24godz., wydajność potencjalna studni ponad 5 m³/godz.; w Karpatach i Sudetach parametry te mogą być odpowiednio niższe: miąższość ponad 2m, przewodność ponad 25 m²/24godz., wydajność potencjalna studni ponad 2m³/godz.

Wody podziemne naporowe (wody podziemne napięte) – Wody podziemne w warstwach wodonośnych przykrytych utworami słabo przepuszczalnymi lub nieprzepuszczalnymi, z ciśnieniem hydrostatycznym w stropie powyżej ciśnienia atmosferycznego. W przypadku, gdy ciśnienie to powoduje podniesienie się zwierciadła piezometrycznego powyżej rzędnej powierzchni terenu i może nastąpić samowypływ, mówimy o wodzie artezyjskiej (lub o warunkach artezyjskich), gdy zwierciadło piezometryczne nie sięga ponad powierzchnię – o wodzie subartezyjskiej. Zasilanie odbywa się na drodze infiltracji opadów atmosferycznych w obszarach wychodni wodonośców oraz poprzez przesiąkanie i kontakty hydrauliczne z innym zbiorowiskiem wód podziemnych. Wpływ czynników i procesów egzogenicznych na reżim hydrogeologiczny w.p.n. jest ograniczony.

Wody podziemne swobodne – wody podziemne o swobodnym zwierciadle. Wody podziemne ograniczone od góry (strop) swobodnym zwierciadłem i strefą aeracji, a od dołu (spąg) pierwszym poziomem słabo przepuszczalnym lub nieprzepuszczalnym. Podlegają zmianom termicznym, zmianom składu chemicznego, wahaniom zwierciadła wód podziemnych. Wraz z głębokością wpływ czynników atmosferycznych na w.p.s. słabnie.

Warstwa wodonośna – 1. W węższym znaczeniu zbiorowisko wód podziemnych (poziom wód podziemnych) związane z warstwowanymi utworami skalnymi o znacznym rozprzestrzenieniu i o określonej miąższości, ograniczone od góry nieprzepuszczalnym stropem (wody podziemne naporowe) lub zwierciadłem wód podziemnych (wody podziemne swobodne), a od dołu nieprzepuszczalnym spągkiem (lub podstawą) **w.w.** (spąg, podstawa poziomu wodonośnego). 2. W szerszym znaczeniu za **w.w.** uznaje się też niewarstwową strefę utworów przepuszczalnych nasyconych wodą, wykazującą przewodność dostateczną do powstania strumienia wód podziemnych i możliwość ujęcia wód studniami. W takim ujęciu **w.w.** to także wodonośna strefa spękań, np.: w obrębie margli i wapieni kredowych czy też piaskowcowo-łupkowych utworów fliszu karpackiego, strefa skrasowienia utworów węglanowych. Można wyróżnić **w.w.** o zwierciadle swobodnym i napiętym, a ze względu na charakter ośrodka hydrogeologicznego – **w.w.** jednorodną i niejednorodną, izotropową i anizotropową.

Zagrożenie to niebezpieczne zjawisko lub proces np.: podtopienie, powódź, osuwisko, trzęsienie ziemi, upłynnienie, osiadanie, które może spowodować utratę życia, zdrowia, zniszczenie mienia, infrastruktury, zakłócenie funkcjonowania społeczeństwa, degradację środowiska, straty materialne.

Zwierciadło swobodne – Powierzchnia fikcyjna oddzielająca strefę wód gruntowych od wstęgi wód kapilarnych. W punktach położonych na tej powierzchni ciśnienie jest równe ciśnieniu atmosferycznemu $p/\gamma = p_a/\gamma$, stąd w studni lub w piezometrze poziom wody ustala się dokładnie na wysokości z.s. Powierzchnię z.s. przedstawia się w postaci mapy hydroizohips metodą interpolacji pomiarów punktowych równoczesnych. Uwaga: z.s. nie jest powierzchnią rozgraniczającą strefę saturacji i strefę aeracji.

Zwierciadło napięte – Zwierciadło wody, którego położenie i kształt są wymuszone spągkiem wyżej leżącej warstwy nieprzepuszczalnej, nadległej do warstwy wodonośnej o zwierciadle napiętym.

Zwierciadło wód podziemnych – powierzchnia oddzielająca strefę saturacji od strefy aeracji. Woda podziemna występująca poniżej wypełnia pory, szczeliny, kawerny itp. I przenosi ciśnienie hydrostatyczne. Jeżeli zwierciadło pozostaje w spoczynku, a jedyną siłą nie działającą jest siła ciężkości, to jest ono poziome. Gdy woda porusza się, wówczas oprócz siły ciężkości działają na nią siły oporu przeciwnie skierowane do kierunku jej ruchu i jest nachylone i ułożone prostopadłe do wypadkowej obu sił.

2 PODSTAWY PRAWNE

Wstępna ocena ryzyka powodziowego (WORP) w zakresie powodzi od wód podziemnych (podtopień) jest dokumentem planistycznym wymaganym Dyrektywą 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (Dyrektywa Powodziowa - DP).

Zapisy DP w zakresie WORP implementuje w prawodawstwie polskim art. 167 ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne.

3 ZAKRES PRAC

3.1 Cel projektu

Celem tej części projektu WORP jest wyznaczenie obszarów zagrożonych powodzią od wód podziemnych (podtopień) oraz obszarów na których istnieje ryzyko powodzi od wód podziemnych (podtopienia).

Przewiduje się wykonanie analiz przestrzennych rozkładu czynników wpływających na występowanie podtopień oraz lokalizację obszarów narażonych na niebezpieczeństwo występowania strat (ryzyko). Wstępna ocena zostanie wykonana w oparciu o dostępne do pozyskania dane, takie jak m. in. : mapy geologiczne i hydrogeologiczne, cyfrowy model terenu, mapy topograficzne, dane dotyczące odwodnień itd.

3.2 Założenia metodyczne

Projekt obejmuje opracowanie procedury identyfikacji powodzi od wód podziemnych, które zapisały się w profilu litologicznym, bądź w cechach rzeźby analizowanych obszarów. Wskazanie takich stref będzie stanowiło podstawę do wyznaczenia obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi od wód podziemnych (podtopień) w skalach szczegółowych.

W pierwszej części zadania (1.1) zostaną opisane procesy pozyskania i opracowania danych oraz informacji niezbędnych do opracowania map WORP.

W kolejnej części zadania (1.2) zostaną opracowane mapy wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WORP) w zakresie powodzi od wód podziemnych.

W ramach zadania zostaną wykonane następujące rodzaje map:

1. mapy obszarów, na których wystąpienie podtopienia jest prawdopodobne (obszary zagrożone wystąpieniem analizowanych zjawisk)
2. mapy obszarów narażonych na niebezpieczeństwo wystąpienia podtopienia (obszary zagrożone wystąpieniem analizowanych zjawisk, na których występują elementy infrastruktury, cenne ekosystemy, obszary rolnicze itp., których podtopienie może powodować straty)

Opracowanie map wymaga przetworzenia dostępnych danych w celu wytworzenia syntetycznych warstw obejmujących informacje na temat:

- naturalnej podatności występowania zjawiska podtopień, (wskazanie obszarów quasi naturalnych, na których występuje uwarunkowana przyrodniczo podatność do powstawania zjawiska podtopień),
- występowania presji mogących powodować zjawiska podtopień, (wskazanie obszarów przekształconych antropogenicznie, na których występuje presja powodująca powstawania zjawiska podtopień),
- obszarów o zagospodarowaniu i występowaniu znacznego nagromadzenia obiektów wrażliwych na przedmiotowe zjawiska (istniejące i potencjalne wymuszenia).

Przeprowadzone zostaną następujące analizy:

- morfologiczna,
- litogenetyczna,
- hydrogeologiczna,
- sozologiczna,
- hydrologiczna.

4 IDENTYFIKACJA POWODZI

4.1 Klasyfikacja powodzi (podtopień)

Zgodnie z DP wydziela się typy powodzi ze względu na źródło (genezę powstawania), mechanizmy jej powstania i charakterystykę (cechy takie jak natężenie zjawiska). Ze względu na charakterystykę powodzi związanych z budową geologiczną i warunkami hydrogeologicznymi, niniejsze opracowanie obejmuje powódź od wód gruntowych i część zagadnień związanych z powodzią opadową (Tab. 3), spowodowane naturalnym lub sztucznym wezbraniem (Tab. 4) o różnej intensywności jej przebiegu (Tab. 5).

Tab. 3 Typy powodzi ze względu na Źródło

UE	PL	Definicja UE
PLUVIAL (A12)	Powódź opadowa	Powódź związana z zalaniem terenu wodami pochodzącymi bezpośrednio z opadów deszczu lub z topnienia śniegu, może obejmować <u>miejskie</u> powodzie burzowe lub nadmiar wody powstający na obszarach pozamiejskich (wynikający z niskiej wartości wskaźnika opadów atmosferycznych).
GROUND WATER (A13)	Powódź od wód podziemnych (podtopienia)	Powódź związana z zalaniem terenu na skutek podniesienia się poziomu wód powyżej poziomu gruntu, może obejmować podniesienie się wód podziemnych wynikające z wysokiego poziomu wód powierzchniowych.

W niniejszym opracowaniu, w oparciu o doświadczenia autorów oraz ze względu na złożoność zagadnień jakimi charakteryzują się uwarunkowania związane z budową geologiczną i warunkami hydrogeologicznymi przyjęto nieco odmienne definicje. Nie stoją one w sprzeczności z tymi przyjętymi w UE, uściślają samą definicję i uzupełniają ją o aspekty związane z geologią.

Powódź spowodowana niekorzystnymi warunkami hydrogeologicznymi (A13) -WP

Zjawisko wywołane podniesieniem się poziomu wód podziemnych powodujące negatywne konsekwencje dla: zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego, upraw, przyrodniczo cennych ekosystemów (chronionych), działalności gospodarczej oraz infrastruktury w tym infrastruktury podziemnej i podziemnych kondygnacji obiektów budowlanych. Powódź od wód podziemnych może być powodowana spiętrzeniem na skutek ograniczenia odpływu, wzrostem zasilania bądź podniesieniem bazy drenażu. Może być również spowodowana ustaniem działania czynnika obniżającego położenie zwierciadła wód podziemnych poniżej powierzchni terenu.

Powódź od spływu wód spowodowana niekorzystnymi warunkami geologiczno- morfologicznymi i antropogenicznymi (A12) - WS

Zalanie terenu wodami spływowymi na skutek utrudnionego odpływu powierzchniowego oraz niewielkiej chłonności strefy aeracji powodujący negatywne konsekwencje dla: zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego, działalności gospodarczej, infrastruktury oraz upraw i przyrodniczo cennych ekosystemów (chronionych)

Należy podkreślić, że oba zjawiska należy analizować rozłącznie, ponieważ za ich powstawanie odpowiedzialne są różne mechanizmy oraz inne czynniki naturalne.

Tab. 4 Typy powodzi ze względu na Mechanizm

UE	PL	Definicja UE
NATURAL EXCEEDANCE (A21)	Naturalne wezbranie	Zalanie terenu na skutek podniesienia się poziomu wody.
BLOCKAGE / RESTRICTION (A24)	Powódź zatorowa	Zalanie terenu na skutek powstania naturalnego lub sztucznego zatoru.
OTHER (A25)	Inny mechanizm	Zalanie terenu na skutek innych mechanizmów

W przypadku niniejszego opracowania, naturalne wezbranie (A21) w nawiązaniu do warunków hydrogeologicznych, związane jest z podniesieniem zwierciadła wód podziemnych, aż do wyjścia ponad powierzchnię terenu, zalania podziemnej infrastruktury lub podziemnych kondygnacji (piwnic) obiektów budowlanych.

Biorąc pod uwagę powódź na skutek sztucznego zatoru (A24) oraz innych mechanizmów powstawania powodzi (A25) (na przykład zmian przewodności hydraulicznej warstwy wodonośnej), wskazuje się elementy uniemożliwiające naturalny przepływ/odpływ wód podziemnych, w wyniku czego dochodzi do ich spiętrzenia, a w efekcie podniesienia zwierciadła wody podziemnej. Szczególną uwagę należy zwrócić na obszary, na których realizowane są inwestycje liniowe i kubaturowe mogące zmieniać stosunki wodne w sposób przyczyniający się do powstawania podtopień.

Powodzie od wód podziemnych mogą mieć różną intensywność przebiegu. Zazwyczaj nie są one gwałtowne, natomiast bardzo często długotrwałe, gdyż prędkości przepływu w środowisku skalnym/gruntowym są znacznie mniejsze niż prędkości płynu powierzchniowego. Są one zatem bezpośrednio zależne od naturalnych warunków przyrodniczych.

Tab. 5 Typy powodzi ze względu na Charakterystykę

UE	PL	Definicja UE
FLASH FLOOD (A31)	Powódź gwałtowna	Powódź o bardzo szybkim przebiegu wywołana intensywnymi opadami deszczu na relatywnie małym obszarze.
OTHER RAPID ONSET FLOOD (A33)	–	Powódź o szybkim przebiegu, inna niż powódź gwałtowna.
MEDIUM ONSET FLOOD (A34)	–	Powódź o średnim przebiegu.
SLOW ONSET FLOOD (A35)	–	Powódź o powolnym przebiegu.

Niezwykle istotny jest tutaj czynnik meteorologiczny. I to zarówno w przypadku powodzi od wód podziemnych (WP) jak i wód spływowych (WS). Długotrwałe opady (niekoniecznie w miejscu wystąpienia podtopienia) doprowadzają do wzniesienia wód podziemnych, nawet długo po opadach. Natomiast nawet krótkie, ale intensywne opady, niejednokrotnie powodują gwałtowne powodzie od wód spływowych (WS). Często mają one charakter lokalny, niewielki zasięg, zmieniający się przestrzennie wraz z polem opadów i są zależne od morfologii i budowy powierzchniowej terenu.

4.2 Przyczyny podtopień (powodzi)

W ramach realizacji zadania jako zagrożone wskazywane są również te obszary, w których podtopienia od wód podziemnych występowały w przeszłości. Są one wyznaczone na podstawie występowania gruntów i gleb organicznych charakterystycznych dla środowiska wodnego (torfowe, ściółkowe, limnowe i murszowe).

Destrukcyjne skutki podtopień wymagają wprowadzenia odpowiednich zapisów i regulacji w dokumentach planistycznych dla stref, w których występują lub mogą wystąpić (np. konieczność wykonania odpowiednich ekspertyz przy uzyskiwaniu pozwolenia na budowę lub uwzględnienie tych zjawisk przy opracowywaniu planów zagospodarowania przestrzennego). Elementem przeciwdziałania skutkom podtopień są prace (WORP) prowadzące do wstępnego wyznaczenia terenów, na których takie zjawiska mogą wystąpić. Szczegółowe wyznaczenie obszarów zagrożonych tymi zjawiskami jest niezbędne dla wydawania ostrzeżeń o zagrożeniach hydrogeologicznych.

Przyczyny występowania podtopień można podzielić na:

1. związane z naturalną podatnością obszaru:

- a) uwarunkowania geomorfologiczne: występowanie obniżeń powierzchni terenu (niecki, zagłębienia bezodpływowe),
- b) uwarunkowania geologiczne: występowanie osadów o właściwościach decydujących o możliwości wystąpienia podtopień (przepuszczalność itp.),
- c) uwarunkowania hydrogeologiczne: piętrzenie wód podziemnych na skutek naturalnego podnoszenia się zwierciadła wód o charakterze długotrwałym (efekty obserwowane w skali wielolecia) lub na skutek naturalnego, intensywnego zasilania przez opady atmosferyczne i wypełnienia pojemności wodnej podłoża (ma to miejsce głównie na dużych płaskich powierzchniach, bagnach i nieckowatych zagłębieniach terenu, czynnikami są niewielkie spadki hydrauliczne lub płytkie występowanie warstwy izolującej)

2. związane z działalnością człowieka:

- a) na obszarach górniczych, w częściach terenu obniżonych przez zawał podziemnych wyrobisk górniczych,
- b) prowadzenie inwestycji, w tym w szczególności liniowych,
- c) w strefach wokół sztucznych zbiorników piętrzących wodę,
- d) w strefach przyległych do wałów przeciwpowodziowych, podczas i przez pewien okres po ustąpieniu wysokich stanów rzeki,
- e) w strefach „nieszczelnej” (z różnych powodów), zgrupowanej sieci wodociągowej i kanalizacyjnej,
- f) w strefach spiętrzenia wód gruntowych przez obiekty znajdujące się pod powierzchnią terenu (gęsto usytuowane fundamenty budynków, pozostałości starej infrastruktury),
- g) na obszarach gęstej zabudowy,
- h) zmniejszanie lub wygaśnięcie wymuszeń obniżających stan wód podziemnych (leje depresji) wywołanych odwodnieniami, drenażami lub eksploatacją.

Wstępna ocena ryzyka powodziowego w zakresie podtopień nie jest możliwa do określenia w skali szczegółowej, ponieważ pojedyncze, rozproszone przejawy takich zjawisk są możliwe do wystąpienia właściwie wszędzie, szczególnie jeśli przy projektowaniu obiektów zagrożonych popełniono błędy polegające na nieuwzględnieniu głębokości występowania wód podziemnych na danym rejonie, wielkości możliwych wahań poziomów wód podziemnych, czy doprowadzono do powstania lokalnego spiętrzenia tych wód.

Należy także podkreślić, że poza podtopieniami wywołanymi podniesieniem się stanu wód podziemnych możemy wyróżnić jeszcze podtopienia, których występowanie związane jest z występowaniem niekorzystnych warunków geologicznych i morfologicznych. Jest to inny rodzaj zjawiska niż podtopienia od wód podziemnych, ale w świadomości społecznej oba te rodzaje są silnie powiązane, ze względu na to, że trudno bez specjalistycznej wiedzy określić genezę zalania terenu.

Tego rodzaju zjawiska podtopień spowodowane są:

- a) występowaniem na powierzchni (lub na nieznaczej głębokości) gruntów nieprzepuszczalnych,
- b) wpływem powierzchniowym utrudnionym przez ukształtowanie powierzchni lub obiekty budowlane (głównie liniowe lub wielkogabarytowe),
- c) urbanizacją, a przede wszystkim uszczelnieniem powierzchni terenu, co dodatkowo zmniejsza możliwość infiltracji wód opadowych.

4.3 Negatywne skutki podtopień (powodzi)

Negatywne skutki podtopień wiążą się przeważnie z:

- długotrwałą stagnacją wody w obniżeniach terenu,
- występowaniem zwierciadła wody w gruncie blisko powierzchni terenu,

Mogą one powodować straty materialne i środowiskowe:

- zalewanie piwnic i innych elementów podziemnych infrastruktury przez wody gruntowe,
- w rolnictwie (obniżenie plonowania), leśnictwie oraz ekosystemach (straty w drzewostanie w wyniku nadmiernego nawilgocenia), osadnictwie (zagrzybienia budynków, straty materialne w magazynowanym mieniu itp.),
- uszkodzenie zbiorników asenizacyjnych oraz innych podziemnych instalacji,
- utratę funkcjonalności budowli hydrotechnicznych (rozmiękanie wałów, niszczenie przyczółków ziemnych itp.) przy długotrwałym utrzymywaniu się wysokich stanów wód powierzchniowych w rzekach i jeziorach w wyniku intensywnego ich zasilania wodami podziemnymi.

5 PODSTAWA METODYKI

5.1 Założenia merytoryczne

Analiza będzie prowadzona na obszarze kraju z wyłączeniem tych dolin rzecznych, dla których mapy obszarów zagrożonych podtopieniami zostały opracowane w I etapie prac (Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami w Polsce).

Opracowanie przewiduje wykonanie analiz przestrzennych rozkładu czynników wpływających na obecność zagrożenia i ryzyka występowania podtopień. Na ich podstawie powstaną:

1. mapy obszarów, na których wystąpienie podtopienia jest prawdopodobne
 - mapa obszarów zagrożonych wystąpieniem podtopień od wód podziemnych (WORP-WP),
 - mapa obszarów zagrożonych wystąpieniem podtopień od wód spływowych (WORP-WS),
2. mapa obszarów narażonych na niebezpieczeństwo wystąpienia podtopienia
 - mapa obszarów zagregowanego stopnia zagrożenia podtopieniem (WORP-SUM),
 - mapa ryzyka związanego z wystąpieniem podtopienia (WORP-RYZ),

Ad 1. Dla wyznaczenia obszarów, na których wystąpienie podtopienia jest prawdopodobne przyjęto rozwiązanie, w którym należy wykonać dwa oddzielne zadania obrazujące różne typy powodzi związanych z budową geologiczną i warunkami hydrogeologicznymi. Dwie rozłączne analizy oraz ich suma pozwolą na wykonanie map, obrazujących wykonanie map związanych z zagrożeniem wystąpienia podtopienia.

- a) obszary zagrożone wystąpieniem podtopień od wód podziemnych (WORP-WP). Zgodnie z definicją to ryzyko wystąpienia powodzi w wyniku podniesienia zwierciadła wód podziemnych. Podstawowym warunkiem występowania tego rodzaju zagrożenia podtopieniem jest płytkie występowanie zwierciadła wód podziemnych. Prawdopodobieństwo wystąpienia zwiększa współwystępowanie innych czynników, takich jak takich jak geneza, litologia i forma utworów przypowierzchniowych, występowanie negatywnych lub płaskich form morfologicznych, stałych mokradeł, lejów depresji, otworów hydrogeologicznych, terenów górniczych.
- b) obszary zagrożone wystąpieniem podtopienia od wód spływowych (WORP-WS). Tego rodzaju ryzyko występowania podtopień jest bezpośrednio zależne od warunków geologiczno-morfologicznych i antropogenicznych. Najważniejszymi czynnikami predysponującymi teren do występowania tego typu zjawisk jest współwystępowanie dwóch czynników – predysponowane do takich zjawisk formy morfologiczne terenu w postaci bezodpływowych zagłębień lub rozległych równin oraz budowa geologiczna, gdzie główną rolę odgrywa występowanie utworów nieprzepuszczalnych na powierzchni lub tuż pod powierzchnią terenu. Na ograniczanie powierzchni na której zachodzi infiltracja dodatkowo wpływa zabudowa, zagęszczanie gruntu, drogi itp.

Ad 2. Dla wyznaczenia obszarów narażonych na niebezpieczeństwo wystąpienia podtopienia przyjęto rozwiązanie, w którym należy wykonać zadania w oparciu o wyniki analiz dla WOPR-WP i WOPR-WS:

- a) Wyniki analiz WOPR-WP i WOPR-WS obrazują dwa różne mechanizmy powstawania zagrożeń wystąpienia podtopienia, jednakże obydwie są nierozdzielnie związane z budową geologiczną i warunkami hydrogeologicznymi. W związku z tym zdecydowano się na zabieg oparty na jakościowej analizie wyników analiz dla WOPR-WP i WOPR-WS. Agregacja obu wyników analiz daje obraz rzeczywistego, sumarycznego zagrożenia na danym obszarze (WOPR-SUM).
- b) Kolejnym etapem jest wydzielenie obszarów, na których istnieje ryzyko wystąpienia podtopienia (WOPR-RYZ). W oparciu o zlokalizowane obszary potencjalnie zagrożone wystąpieniem podtopienia (WOPR-SUM) oraz analizę występowania (rozkładu) odpowiednio dobranych kryteriów (rozdział 5.2) wyodrębnia się obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi (ONNP).

5.2 Wymagane dane

Podstawą założeń metodycznych jest przeprowadzenie analiz przestrzennych w odpowiednim oprogramowaniu umożliwiającym niezbędne operacje geoprzestrzenne. Takie analizy powinny być oparte o ogólnodostępne, ale specjalistyczne dane, jeśli to możliwe pokrywające obszar całego kraju. W identyfikacji obszarów predysponowanych do wystąpienia podtopień, czyli tych, na których wystąpienie podtopienia jest prawdopodobne bierze się pod uwagę następujące dane:

- głębokość do zwierciadła wody podziemnej; informacje te są pozyskiwane z mapy PPW-WH w skali 1:50 000 (obszary) lub (na obszarach na których nie wykonano tej mapy) z bazy CBDH Bank Hydro (otwory o zwierciadle swobodnym do 2 m p.p.t.),
- obszary sztucznego obniżenia zwierciadła wody podziemnej (na podstawie PPW-WH - 1:50 000),
- przepuszczalność osadów przypowierzchniowych (na podstawie SMGP - 1:50 000),
- formy rzeźby terenu - morfogenetyczne (na podstawie SMGP - 1:50 000),
- możliwe zmiany ukształtowania (głównie obniżenie) powierzchni terenu wskutek oddziaływań antropogenicznych - w tym górniczych (na podstawie bazy MIDAS),
- zmniejszenie przepuszczalności warstwy przypowierzchniowej i zmiany warunków odpływu wód wskutek zagospodarowania terenu (CORINE),
- udział obszarów podmokłych w obrębie jednostki obliczeniowej (GIS-Mokradła 1:100 000),
- wybrane obiekty inżynieryjne (BDOT 1:10 000),
- podział arkuszowy Polski dla skali 1:5 000 (PL-1992) jako przyjęta siatka dyskretyzacyjna.

Źródła danych: PIG-PIB, ITP, GDOŚ, CODGiK.

Natomiast dla zidentyfikowania obszarów narażonych na niebezpieczeństwo wystąpienia podtopienia, w celu wyznaczenia ryzyka, poza agregacją wyżej wymienionych danych bierze się pod uwagę następujące kryteria:

- bezpośredni wpływ podtopienia na życie i zdrowie ludzi,
- wpływ podtopienia na obszary działalności gospodarczej wraz z infrastrukturą,
- wpływ podtopienia na dziedzictwo kulturowe,
- wpływ podtopienia na środowisko przyrodnicze.

Przed rozpoczęciem prac analitycznych należy zebrać i uporządkować dane wejściowe. W tym celu do analizy należy przygotować warstwy informacyjne charakteryzujące:

1. naturalną podatność obszarów na wystąpienia powodzi od wód podziemnych obejmującą:
 - a) rozmieszczenie obszarów występowania swobodnego zwierciadła wód podziemnych na głębokości nie większej niż 2 m,
 - b) występowanie mokradł,
 - c) występowanie utworów o litologii, genezie i formie sprzyjającej występowaniu podtopień,
 - d) ukształtowanie powierzchni terenu - obszary bezodpływowe lub o odpływie utrudnionym.
2. antropogeniczne przyczyny występowania powodzi od wód podziemnych (występowanie presji mogących powodować takie zjawiska):
 - a) Występowanie Inwestycji mogących zmieniać stosunki wodne:
 - budowle podziemne (tunele, przejścia, przepusty),
 - budowle ziemne (nasypy, groble, wały),
 - hałdy i zwałowiska,
 - duże obszary przemysłowe, tereny intensywnej zabudowy mieszkalnej, wielkopowierzchniowe tereny utwardzone,
 - b) występowanie stref, gdzie rejestruje się długotrwałe, ustępujące obniżenia zwierciadła wód podziemnych w płytkich poziomach wodonośnych,
 - c) szkody górnicze (niecki osiadań),
 - odwadniane tereny górnicze,
 - ujęcia i studnie o dużym poborze,
 - d) istnienie systemów melioracyjnych,
 - e) piętrzenie wód powierzchniowych:
 - budowle wodne
 - zbiorniki retencyjne,

3. informacje o czynnikach/elementach, na które wystąpienie podtopienia wywołuje negatywne skutki:
- a) gęstość zaludnienia,
 - b) charakterystyka zagospodarowania przestrzennego:
 - Obszary zasiedlone,
 - Obszary przemysłowe,
 - Infrastruktura komunikacyjna, drogi, koleje,
 - Rolnictwo,
 - Lasy,
 - c) obiekty dziedzictwa kulturowego,
 - d) obszary chronione
 - Rezerваты przyrody
 - Parki narodowe,
 - Obszary Natura 2000.

5.3 Założenia analiz przestrzennych

1. Analiza warunków hydrogeologicznych sprzyjających występowaniu PWP powinna opierać się głębokości występowania pierwszego zwierciadła wód podziemnych według Mapy hydrogeologicznej Polski PPW-WH, w której autorzy poszczególnych arkuszy określili głębokość występowania pierwszego od powierzchni poziomu wodonośnego. Należy przyjąć, że obszary o głębokości występowania do głębokości 2m są zagrożone ryzykiem wystąpienia podtopień. Na terenach nie objętych jeszcze tym opracowaniem należy skorzystać z danych otworowych z CBDH i włączyć do analizy informację o poziomach wodonośnych w których nawiercono swobodne zwierciadło wód podziemnych na głębokości nie większej niż 2,0 m (nie należy korzystać w analizie GIS z danych otworowych na obszarach wykonanych arkuszy). Syntetyczne warstwy informacyjne mające charakter ciągły należy uznać za bardziej przydatne dla prowadzonej analizy niż dane punktowe wynikające z rozkładu przestrzennego otworów nie związanego z potrzebami badawczymi ale z zapotrzebowaniem na wodę (studnie w CBDH). Dlatego w miarę realizacji nowych arkuszy PPW-WH należy powtarzać analizę dla obejmowanych nimi obszarów (aktualizacja mapy).

Oprócz informacji o płytkim występowaniu zwierciadła wód podziemnych Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000 PPW-WH powinna być również źródłem informacji o występowaniu lejów depresji spowodowanych eksploatacją lub odwodnieniem a także pracami rekultywacyjnymi (odtworzeniem stosunków wodnych, zmianą morfologii terenu). Obszary zabudowy (itp.) zlokalizowane na obszarach o sztucznie obniżonym zwierciadle wód podziemnych (leje depresji) w rejonach płytkiego występowania wód podziemnych, w przypadku ustania pompowania, czyli czynnika obniżającego zwierciadło wód podziemnych, są obszarami szczególnie narażonymi na wystąpienie podtopień.

Leje depresji w rejonach płytkiego występowania wód podziemnych, w przypadku ustania pompowania, czyli czynnika obniżającego zwierciadło wód podziemnych, są obszarami szczególnie narażonymi na wystąpienie podtopień.

2. Analiza warunków geologicznych sprzyjających występowaniu PWP powinna opierać się przede wszystkim na kategoryzacji wydzielen z mapy SMGP pod kątem litologii osadów i morfologii terenu.

- a) Ryzyko występowania podtopień od wód podziemnych (WORP-WP)
Obszarami podatnymi na wystąpienie zjawiska powodzi są obszary, na których są spełnione dwa warunki:

Litologia: występowanie utworów luźnych różnego wieku: okruchowych, organicznych i mineralno-organicznych, a także węglanowych, w których możliwy jest swobodny przepływ wód podziemnych i szybka reakcja na zmianę stosunków wodnych, a w następstwie szybki wznios zwierciadła wód podziemnych.

Formy powierzchni terenu: występowanie obszarów, na których rodzaj gruntów/budowa geologiczna jest charakterystyczna dla niepozytywnych (niewypukłych) form terenu.

- b) Ryzyko występowania podtopień od wód spływowych (WORP-WS)
Obszarami podatnymi na wystąpienie zjawiska powodzi są obszary, na których są spełnione dwa warunki:

Litologia: występowanie utworów przepuszczalnych o małej miąższości (ok. 1 m), posiadających w spągu utwory o bardzo małej przepuszczalności lub występowanie od powierzchni utworów o bardzo małej przepuszczalności.

Formy powierzchni terenu: występowanie obszarów, na których brak pozytywnych (wypukłych) form terenu, a w szczególności miejsca, w których występują zagłębienia powierzchni terenu.

3. Analiza występowania stałych podmokłości opiera się na warstwie „GIS-Mokradła”. Należy przyjąć, że wszystkie obszary umieszczone na tej warstwie wskazują na stałe występowanie swobodnego zwierciadła wód podziemnych na głębokości nie większej niż 0,5 m, czyli kwalifikują się jako szczególnie zagrożone ryzykiem podtopienia.

4. Analiza występowania okresowych podmokłości wykonuje się na podstawie warstwy „GIS-Mokradła” o powierzchni ponad 10 ha z podziałem na typy siedlisk w celu wskazania obszarów, gdzie okresowo występuje podtopienie. Należy wytypować siedliska z określonymi warunkami wodnymi. W połączeniu z analizą współwystępowania wskazanych siedlisk oraz utworów

nieprzepuszczalnych na powierzchni lub tuż pod powierzchnią należy wyznaczyć obszary predysponowane do występowania podtopień zależnych od warunków geologiczno-morfologicznych.

5. Analiza zagospodarowania powierzchniowego terenu (CORIN) – obejmuje obszary zurbanizowane o bardzo prawdopodobnym ograniczeniu powierzchni infiltracji w wyniku zabudowania terenu.

6. Analiza występowania terenów górniczych (MIDAS) – podstawową jest zasięg wyznaczonych terenów górniczych, które według definicji obejmują obszar o możliwym negatywnym oddziaływaniu działań górniczych na powierzchnię terenu. Po uwzględnieniu rodzaju prowadzonej działalności górniczej przede wszystkim jest to osiadanie terenu w wyniku prowadzonej eksploatacji górniczej jak i rezygnacja z pompowań odwodnieniowych po zaprzestaniu eksploatacji górniczej. Obydwa z tych czynników najczęściej skutkują podniesieniem zwierciadła wód podziemnych względem powierzchni terenu.

7. Analiza gęstości zaludnienia jako kryterium dla określenia ryzyka wystąpienia podtopienia w zakresie bezpośredniego wpływu na życie i zdrowie ludzi – źródłem informacji w tym zakresie są dane GUS dotyczące rozmieszczenia ludności, pozyskane w trakcie Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań 2011.

8. Analiza zagospodarowania powierzchni terenu jako kryterium dla określenia ryzyka wystąpienia podtopienia w zakresie wpływu na obszary działalności gospodarczej wraz z infrastrukturą – źródło informacji o formach pokrycia stanowi baza danych obiektów topograficznych BDOT w skali 1:10 000, jednakże dla umożliwienia wykonania analizy, dokonuje się agregacji klasyfikacji obiektów na obszary zasiedlone, przemysłowe, zalesione, rolnicze, infrastruktury komunikacyjnej i inne (Tab. 6).

Tab. 6 Zagregowane formy pokrycia terenu według BDOT 10k

Formy pokrycia terenu	BDOT 10k			
	Poziom 2		Poziom 3	
Obszary zasiedlone	PTZB	zabudowa	PTZB01	zabudowa wielorodzinna
			PTZB02	zabudowa jednorodzinna
			PTZB04	zabudowa handlowo-usługowa
			PTZB05	pozostała zabudowa
Obszary przemysłowe	PTZB	zabudowa	PTZB03	zabudowa przemysłowo-składowa
	PTNZ	pozostały teren niezabudowany	PTNZ02	teren przemysłowo-składowy
Infrastruktura komunikacyjna, drogi, koleje	PTKM	teren pod drogami kołowymi, szynowymi i lotniskowymi	PTKM01	teren pod drogą kołową
			PTKM02	teren pod torowiskiem
			PTKM03	teren pod drogą kołową i torowiskiem
			PTKM04	teren pod drogą lotniskową
Rolnictwo	PTTR	roślinność trawiasta i uprawa rolna	PTTR02	uprawa na gruntach ornych
	PTUT	uprawa trwała	PTUT02	plantacja
			PTUT03	sad
Lasy	PTLZ	teren leśny i zadrzewiony	PTLZ01	las
			PTLZ02	zagajnik
			PTLZ03	zadrzewienie
Inne	PTUT	uprawa trwała	PTUT01	ogród działkowy
			PTUT04	szkółka leśna

Formy pokrycia terenu	BDOT 10k			
	Poziom 2		Poziom 3	
			PTUT05	szkółka roślin ozdobnych
PTRK	roślinność krzewiasta	PTRK01	kosodrzewina	
		PTRK02	krzewy	
PTTR	roślinność trawiasta i uprawa rolna	PTTR01	roślinność trawiasta	
PTPL	plac	PTPL01	plac	
PTSO	składowisko odpadów	PTSO01	teren składowania odpadów komunalnych	
		PTSO01	teren składowania odpadów komunalnych	
PTWZ	wzrost i zwałowisko	PTWZ01	wzrost	
		PTWZ02	zwałowisko	
PTNZ	pozostały teren niezabudowany	PTNZ01	teren pod urządzeniami technicznymi lub budowlami	

9. Analiza obiektów dziedzictwa kulturowego jako kryterium dla określenia ryzyka wystąpienia podtopienia w zakresie wpływu na te obiekty – zakłada się analizę na podstawie bazy danych Narodowego Instytutu Dziedzictwa, a dokładniej, lokalizacji obiektów wpisanych na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO,

10. Analiza lokalizacji obszarów chronionych jako kryterium dla określenia ryzyka wystąpienia podtopienia w zakresie wpływu podtopienia na środowisko – źródłem informacji są dane pozyskane z Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska i są to granice rezerwatów przyrody, oraz obszarów Natura 2000,

6 ANALIZY GEOPRESTRZENNE GIS

Bazą dla analiz są arkusze w blokach dyskretyzacyjnych. Przyjęte granice bloków są tożsame z międzynarodowym podziałem arkuszowym dla układu współrzędnych PL-1992 dla skali 1:5 000. Prezentacja wyników zostanie wykonana na arkuszach w skali 1:300 000 obejmujących każde województwo. Przeciętna powierzchnia bloku wynosi 4 km².

Analizy powinny być przeprowadzane z uwzględnieniem regionów o zbliżonych warunkach hydrogeologiczno-morfologicznych. Zaleca się zastosowanie regionalizacji hydrogeologicznej wg. Paczyńskiego (red 1995) na poziomie prowincji (nizinna, wyżynna i górską). Dla każdej z prowincji autorzy analizy powinni ustalić odpowiednie wartości wag. Będą one ustalane empirycznie podczas prowadzenia analiz w różnych obszarach. Nie wyklucza się również różnicowania wartości wag dla poszczególnych arkuszy map skali 1:300 000.

6.1 Analiza występowania zagrożenia podtopieniem od wód podziemnych (WORP-WP)

6.1.1 Warunki brzegowe

Warunkiem koniecznym dla wystąpienia podtopień od wód podziemnych jest występowanie zwierciadła wód podziemnych na niewielkiej głębokości (do 2m).

Analizie podlegają arkusze, w obrębie których stwierdzono obszary o płytkim występowaniu zwierciadła wód gruntowych. Jest to warunek konieczny.

Za arkusze, w których stwierdzono obszary o płytkim występowaniu wód podziemnych uznaje się:

- a) arkusze, dla których wykonano mapę PPW-WH, i w których autor wydzielił obszary o głębokości zwierciadła wody 0-1 i 1-2m (źródło danych: MhP - pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika 1:50 000, PIG-PIB),
- b) arkusze, na których stwierdzono otwory hydrogeologiczne ze swobodnym zwierciadłem wody, położonym w przedziale 0-2m p.p.t. oraz arkusze z nimi sąsiadujące (źródło danych: Otwory hydrogeologiczne z Banku Hydro PIG-PIB).

Pozostałe arkusze, niespełniające warunku występowania obszarów o płytkim występowaniu zwierciadła wód gruntowych nie zostały uwzględnione w dalszych analizach wielokryterialnych. Te arkusze można definiować jako obszary, na których brak jest zagrożenia wystąpienia podtopień od wód podziemnych.

Zgodnie z założeniami, z analizy wyłączono także arkusze w całości objęte opracowaniem „Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami (Podtopienia)” wykonanych w PIG-PIB w latach 2003-2006.

6.1.2 Wielokryterialna analiza parametryczna

Dla wyznaczenia zagrożenia podtopieniami od wód podziemnych podstawę stanowi analiza współwystępowania parametrów wpływających na ocenę tego zagrożenia w blokach dyskretyzacyjnych opartych o siatkę arkuszy skali 1:5000.

W blokach obliczeniowych wzięto pod uwagę miarę analizowanych parametrów i przedstawiono w formie graficznej.

Tab. 7 Parametry oceny ryzyka wystąpienia podtopień od wód podziemnych - analiza WGRP-WP

Numer	Parametr	Warstwa	Opis	Źródło danych
1	SMGP	<i>smgp_zagr_wp</i>	otwory przepuszczalne w formach wklęsłych lub płaskich	Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 50k PIG-PIB
2	LDEP	<i>leje_dep</i>	Leje depresji wywołane poborem wód podziemnych	MhP - pierwszy poziomu wodonośny - występowanie i hydrodynamika 1:50 000 oraz aktualizacja z MHP, PIG-PIB
3	MOK	<i>mok_stl</i>	Mokradła stałe	Mapa występowania mokradel 1:50 000 KZGW w zasobach PIG-PIB

4	TGRN	teren_gr	Wybrane tereny górnicze	MIDAS PIG-PIB
---	------	----------	-------------------------	---------------

6.1.3 Ocena zagrożenia wystąpienia podtopień od wód podziemnych:

Ocenę zagrożenia podzielono na etapy obliczeniowe:

1. Udział powierzchni parametru w bloku obliczeniowym = powierzchnia parametru w bloku/100.
2. **Ocena istotności parametru dla pojedynczego bloku obliczeniowego na tle całego obszaru analizy** = Udział powierzchni parametru w bloku obliczeniowym/maksymalna wartość udziału powierzchni tego samego parametru (np. smgp maksymalna) dla całego obszaru analizy.
3. **Ocena istotności parametru proporcjonalnie do wagi** = Ocena istotności parametru dla pojedynczego bloku obliczeniowego na tle całego obszaru analizy * waga.

Dla poszczególnych parametrów przyjęto wagi w przedziale od **0 do 10**. Z doświadczeń autorów, opartych o przeprowadzone analizy wstępne wynika, że zaproponowane wagi powinny być prawidłowe dla większości obszarów kraju.

Jednakże, dla różnych prowincji (zgodnie z podziałem Paczyńskiego) może zająć konieczność zmiany wielkości wag w zależności od specyfiki i złożoności warunków przyrodniczych występujących na danym terenie.

Tab. 8 Dobór wag - analiza WOPR-WP (obszar testowy – Arkusz Warszawa Zachód 1:200 000)

Numer	Parametr	Warunek	Waga
1	SMGP	występują utwory przepuszczalne w formach wklęsłych lub płaskich	10
2	LDEP	występują	8
3	MOK	występują stale	8
4	TGRN	występują te, w których możliwe jest wystąpienie podtopienia	6

4. **Ocena zagrożenia dla pojedynczego bloku obliczeniowego** = suma pojedynczych ocen istotności parametrów wyliczonych w kroku trzecim /suma wag
5. **Ocena zagrożenia dla pojedynczego bloku obliczeniowego na tle całego obszaru analizy** = Ocena zagrożenia dla pojedynczego bloku obliczeniowego/ maksymalna wartość ryzyka dla całego obszaru analizy*100

6.1.4 Kryteria oceny zagrożenia wystąpienia podtopienia od wód podziemnych

- a) Brak zagrożenia – brak występowania zwierciadła wód podziemnych na głębokości do 2m p.p.t.
- b) zagrożenie niskie – występowanie płytkiego zwierciadła wód podziemnych tj.: do głębokości 2m p.p.t., bez innych czynników zwiększających ryzyko (przedział zagrożenia: 0-25),
- c) zagrożenie średnie, wysokie, bardzo wysokie – występowanie jednego lub więcej pozostałych kryteriów/warstw na obszarach o płytkim położeniu zwierciadła wody, przy czym:
 - zagrożenie średnie – (przedział zagrożenia: 25-50),
 - zagrożenie wysokie – (przedział zagrożenia: 50-75),
 - zagrożenie bardzo wysokie – (przedział zagrożenia: 75-100).

Tab. 9 Ocena stopnia zagrożenia wystąpienia podtopień od wód podziemnych - analiza WORP-WP

Stopień zagrożenia	Wartość zagrożenia	Kolor bloku obliczeniowego
BRAK	-	BIAŁY - niespełniony warunek brzegowy
NISKIE	0-25	ZIELONY
ŚREDNIE	25-50	ŻÓŁTY
WYSOKIE	50-75	POMARAŃCZOWY
BARDZO WYSOKI	75-100	CZERWONY

6.2 Analiza występowania zagrożenia podtopieniami od wód spływowych (WORP-WS)

6.2.1 Warunki brzegowe

Analizie poddano cały obszar kraju, oprócz arkuszy objętych w całości opracowaniem „Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami (Podtopienia)” wykonanych w PIG-PIB w latach 2003-2006.

6.2.2 Wielokryterialna analiza parametryczna

Podstawą wyznaczenia zagrożenia podtopieniami od wód spływowych jest przeprowadzenie analizy parametrów wpływających na ocenę zagrożenia występowaniem podtopień od wód spływowych współwystępujących w blokach dyskretyzacyjnych opartych o siatkę arkuszy skali 1:5000.

W blokach obliczeniowych wzięto pod uwagę miarę analizowanych parametrów i przedstawiono w formie graficznej.

Tab. 10 Parametry oceny zagrożenia wystąpieniem podtopienia od wód spływowych - analiza WORP-WS

Numer	Parametr	Warstwa	Opis	Źródło danych
1	CORINE	<i>corine_antrop</i>	tereny antropogeniczne z wyłączeniem miejskich terenów zielonych i wypoczynkowych	CORINE LAND COVER 12, GUGIK
2	SMGP	<i>smgp_zagr_s</i>	utwory przepuszczalne o małej miąższości (ok. 1 m), posiadające w spągu utwory o bardzo małej przepuszczalności lub utwory o bardzo małej przepuszczalności w zagłębieniach terenu	Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, PIG-PIB
3	TGRN	<i>teren_gr</i>	wybrane tereny górnicze	MIDAS, PIG-PIB
4	MOK	<i>mok_okr</i>	mokradła okresowe	Mapa występowania mokradeł, KZGW

6.2.3 Ocena zagrożenia wystąpienia podtopień od wód spływowych:

Ocenę zagrożenia oparto o etapy obliczeń:

1. Udział powierzchni parametru w bloku obliczeniowym = powierzchnia parametru w bloku/100
2. Ocena istotności parametru dla pojedynczego bloku obliczeniowego na tle całego obszaru analizy = Udział powierzchni parametru w bloku obliczeniowym/maksymalna wartość udziału powierzchni tego samego parametru (np. smgp maksymalna) dla całego obszaru analizy
3. **Ocena istotności parametru proporcjonalnie do wagi** = Ocena istotności parametru dla pojedynczego bloku obliczeniowego na tle całego obszaru analizy *waga.

Dla poszczególnych parametrów przyjęto wagi w przedziale od **0 do 10**. Z doświadczeń autorów, opartych o przeprowadzone analizy wstępne wynika, że zaproponowane wagi powinny być prawidłowe dla większości obszaru kraju.

Jednakże, dla różnych prowincji (zgodnie z podziałem Paczyńskiego) może zająć konieczność zmiany wielkości wag w zależności od specyfiki i złożoności warunków przyrodniczych występujących na danym terenie.

Tab. 11 Dobór wag - analiza WOPR-WS (obszar testowy – Arkusz Warszawa Zachód 1:200 000)

Numer	Parametr	Warunek	Waga
1	SMGP	występują utwory przepuszczalne w formach wklęsłych lub płaskich	10
2	CORINE	występują tereny antropogeniczne	8
3	MOK	występują mokradła okresowe	8
4	TGRN	występują te, w których możliwe jest wystąpienie podtopienia	6

4. **Ocena zagrożenia dla pojedynczego bloku obliczeniowego** = suma pojedynczych ocen istotności parametrów wyliczonych w kroku trzecim /suma wag
5. **Ocena zagrożenia dla pojedynczego bloku obliczeniowego na tle całego obszaru analizy** = Ocena zagrożenia dla pojedynczego bloku obliczeniowego/ maksymalna wartość zagrożenia dla całego obszaru analizy*100.

6.2.4 Kryteria oceny stopnia zagrożenia

Zgodnie z założeniami metodyki, w analizie wskazano arkusze na których występuje: zagrożenie bardzo niskie, niskie, średnie, wysokie i bardzo wysokie – współwystępowanie kryteriów/warstw, przy czym:

- brak zagrożenia – (zagrożenie: 0 – brak występowania któregokolwiek z parametrów)
- zagrożenie niskie – (przedział zagrożenia: 1-25),
- zagrożenie średnie – (przedział zagrożenia: 25-50),
- zagrożenie wysokie – (przedział zagrożenia: 50-75),
- zagrożenie bardzo wysokie – (przedział zagrożenia: 75-100).

Tab. 12 Ocena stopnia zagrożenia wystąpieniem podtopienia od wód spływowych - analiza WOPR-WS

Stopień zagrożenia	Wartość zagrożenia	Kolor bloku obliczeniowego
BRAK	0	BIAŁY
NISKI	1-25	ZIELONY
ŚREDNI	25-50	ŻÓŁTY
WYSOKI	50-75	POMARAŃCZOWY
BARDZO WYSOKI	75-100	CZERWONY

6.3 Analiza zagregowanego stopnia zagrożenia wystąpieniem podtopienia (WOPR-SUM)

Wyniki analiz WOPR-WP i WOPR-WS należy rozpatrywać osobno. Zaproponowano jednak wykonanie mapy przedstawiającej agregację zagrożenia wystąpienia obu rodzajów podtopień. Przeprowadzono analizę jakościową obrazującą współwystępowanie zagrożeń obu rodzajów we wszystkich blokach dyskretacyjnych.

Tab. 13 Kryteria oceny zagregowanych stopni zagrożenia (analiza jakościowa)

Zagregowany stopień zagrożenia	Opis	Kolor bloku obliczeniowego
brak zagrożenia	brak zagrożenia powodzi od wód podziemnych (WOPR-WP) i brak zagrożenia powodzi od spływu (WOPR-WS)	ZIELONY
zagrożenie pojedynczego rodzaju	zagrożenie powodzi od wód podziemnych (WOPR-WP)	JASNO ŻÓŁTY
	zagrożenie powodzi od spływu (WOPR-WS)	CIEMNO ŻÓŁTY
zagrożenie podwójnego rodzaju	zagrożenie powodzi od wód podziemnych (WOPR-WP) i zagrożenie powodzi od spływu (WOPR-WS)	CZERWONY

6.4 Analiza ryzyka wystąpienia podtopienia (WORP-RYZ)

6.4.1 Warunki brzegowe

W celu wyznaczenia obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi (ONNP) poprzez określenie ryzyka podtopienia niezbędne jest występowanie któregokolwiek z kryteriów warunkujących istnienie ryzyka (rozdział 5.2) na obszarze, na którym występuje zagrożenie wystąpieniem podtopienia pojedynczego lub podwójnego rodzaju (według analizy WORP-SUM).

6.4.2 Wielokryterialna analiza parametryczna

Podobnie jak w poprzednich przypadkach, wyznaczenie ryzyka wystąpienia podtopienia odbywa się w blokach dyskretyzacyjnych opartych o siatkę arkuszy skali 1:5000. Podstawę stanowi analiza współwystępowania kryteriów wpływających na ocenę ryzyka na obszarach na których występuje co najmniej jeden z rodzajów zagrożeń wystąpienia podtopienia, tzn. powódź od wód gruntowych (WORP-WP) lub/i powódź od wód spływowych (WORP-WS).

Kryteria, które należy wziąć pod uwagę, zgodnie z rozdziałem 5.2 to gęstość zaludnienia, rodzaj zagospodarowania powierzchni terenu, obiekty dziedzictwa kulturowego i obszary chronione.

Tab. 14 Parametry oceny ryzyka podtopienia - analiza WORP-RYZ

Numer	Parametr	Warstwa	Opis	Źródło danych
1	Zaludnienie	<i>gestosc_zaludnienia</i>	dane GUS dotyczące rozmieszczenia ludności, pozyskane w trakcie Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań 2011	GUS
2	Obszary zasiedlone	<i>PTZB</i>	Zagregowane obszary BDOT 10 k obejmujące różnego rodzaju zabudowę mieszkaniową (Tab. 6)	BDOT
3	Obszary przemysłowe	<i>PTZB_PTNZ</i>	Zagregowane obszary BDOT 10 k obejmujące różnego rodzaju zabudowę przemysłową (Tab. 6)	BDOT
4	Infrastruktura komunikacyjna,	<i>PTKM</i>	Zagregowane obszary BDOT 10 k obejmujące różnego rodzaju tereny infrastruktury komunikacyjne (Tab. 6)	BDOT

Numer	Parametr	Warstwa	Opis	Źródło danych
5	Obszary rolnicze	<i>PTTR_PTUT</i>	Zagregowane obszary BDOT 10 k obejmujące tereny związane z działalnością rolniczą (Tab. 6)	BDOT
6	Obszary leśne	<i>PTLZ</i>	Zagregowane obszary BDOT 10 k obejmujące różnego rodzaju tereny związane z leśnictwem (Tab. 6)	BDOT
7	Inne	<i>PT_inne</i>	Zagregowane obszary BDOT 10 k inne niż wyżej wymienione, dla których w przypadku wystąpienia mogą wystąpić negatywne skutki (straty)	BDOT
8	Dziedzictwo kulturowe	<i>Dziedzictwo</i>	Obiekty umieszczone w bazie danych na Liście Światowego Dziedzictwa UNESCO wraz z ich lokalizacją	Narodowy Instytut Dziedzictwa
9	Rezerваты przyrody	<i>GDOS_Rezerваты</i>	Obszary rezerwatów	GDOŚ
11	Parki narodowe	<i>GDOS_Parki_narodowe</i>	Obszary parków narodowych	GDOŚ
12	Natura 2000 OSO	<i>GDOS_NATURA2000_OSO</i>	Obszary Specjalnej Ochrony Ptaków – Natura 2000	GDOŚ
12	Natura 2000 SOO	<i>GDOS_NATURA2000_SOO</i>	Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk – Natura 2000	GDOŚ

6.4.3 Ocena ryzyka wystąpienia podtopień

Dla prawidłowej oceny ryzyka wystąpienia podtopienia istotne jest wzięcie pod uwagę:

1. Udział kryterium w bloku obliczeniowym = obecność punktowa kryterium w dyskretyzacyjnym bloku obliczeniowym,
2. **Ocena istotności kryterium proporcjonalnie do wagi** = obecność punktowa kryterium dla pojedynczego bloku obliczeniowego na tle całego obszaru analizy * waga.

Dla poszczególnych kryteriów przyjęto różne wagi, zależne od ich rodzaju przede wszystkim na podstawie testowych analiz dla obszaru testowego. Z doświadczeń autorów, opartych o przeprowadzone analizy wstępne wynika, że zaproponowane wagi i punkty wagowe powinny być prawidłowe dla całego obszaru kraju. Jednakże, w trakcie prac dla wyznaczania ryzyka wystąpienia podtopienia dla całego obszaru kraju może zająć konieczność zmiany wielkości wag.

Tab. 15 Dobór wag dla gęstości zaludnienia- analiza WORP-RYZ

Klasyfikacja gęstości zaludnienia	Waga	Punktacja	Punkty wagowe
$\geq 1000 / \text{km}^2$	10	12	120
800 – 999 / km^2		10	100
600 – 799 / km^2		8	80
400 – 599 / km^2		6	60
200 – 399 / km^2		4	40
50 – 199 / km^2		2	20
$< 50 / \text{km}^2$		1	10

Tab. 16 Dobór wag dla form zagospodarowania powierzchni terenu- analiza WORP-RYZ

Klasyfikacja form pokrycia terenu	Waga	Punktacja	Punkty wagowe
Obszary zasiedlone	5	10	50
Obszary przemysłowe		8	40
Infrastruktura komunikacyjna, drogi, koleje		6	30
Rolnictwo		4	20
Lasy		2	10
Inne		1	5

Tab. 17 Dobór wag dla obiektów dziedzictwa kulturowego - analiza WOPR-RYZ

Liczba obiektów dziedzictwa kulturowego	Waga	Punktacja	Punkty wagowe
Jeden obiekt	10	1	10
Dwa obiekty		2	20
Trzy obiekty i więcej		3	30

Tab. 18 Dobór wag dla form obszarów chronionych- analiza WOPR-RYZ

Formy ochrony przyrody	Waga	Punktacja	Punkty wagowe
Rezerваты przyrody	5	3	15
Parki narodowe		2	10
Obszary Natura 2000		1	5

3. **Ocena ryzyka dla pojedynczego bloku obliczeniowego** = suma pojedynczych ocen istotności kryteriów wyliczonych w kroku drugim / suma wag
4. **Ocena ryzyka dla pojedynczego bloku obliczeniowego na tle całego obszaru analizy** = Ocena ryzyka dla pojedynczego bloku obliczeniowego/ maksymalna wartość ryzyka dla całego obszaru analizy*100%.

6.4.4 Kryteria oceny ryzyka wystąpienia podtopienia

Zgodnie z warunkami metodyki, w analizie wskazano arkusze na których występuje ryzyko bardzo niskie, niskie, średnie, wysokie i bardzo wysokie, zależnie od rodzaju zagrożenia (zgodnie z analizą WOPR-SUM) według procentowego udziału punktów wagowych gdzie wyznaczono stopnie ryzyka:

- brak ryzyka – gdy nie występuje żadne z rodzajów zagrożeń wystąpienie podtopienia (ani WOPR-WP, ani WOPR-WS) bądź w bloku deskretyzacyjnym nie stwierdzono żadnego z kryteriów istotnych dla oceny ryzyka,
- ryzyko niskie – 1-25% punktów wagowych,
- ryzyko średnie – 25-50% punktów wagowych,
- ryzyko wysokie – 50-75% punktów wagowych,
- ryzyko bardzo wysokie –75-100% punktów wagowych.

Tab. 19 Ocena ryzyka wystąpienia podtopienia - analiza WOPR-RYZ

Stopień ryzyka	Wartość ryzyka	Kolor bloku obliczeniowego
BRAK	0	BIAŁY
NISKIE	1-25	ZIELONY
ŚREDNIE	25-50	ŻÓŁTY
WYSOKIE	50-75	POMARAŃCZOWY
BARDZO WYSOKIE	75-100	CZERWONY

Opierając się na założeniach metodyki (zgodnie z analizą WOPR-SUM) w dyskretyzacyjnych blokach obliczeniowych zostanie umieszczony znacznik/etykieta, w zależności od rodzaju zagrożenia wystąpienia podtopienia dla których jest wyznaczone ryzyko:

WP – dla obszarów gdzie występuje zagrożenie podtopieniem od wód podziemnych,

WS – dla obszarów gdzie występuje zagrożenie podtopieniem od wód spływowych,

SUM – dla obszarów gdzie występuje zagrożenie podtopieniem od wód podziemnych i wód spływowych.

6.5 Uwagi uzupełniające

W przypadku zagrożenia wystąpienia podtopień od wód podziemnych i spływowych należy przeprowadzić szczegółową analizę dla arkuszy niespełniających warunku brzegowego gdzie występują więcej niż 3 parametry

W przypadku występowania w danym bloku dyskretyzacyjnym (arkuszu) obliczeniowym co najmniej 3 parametrów dla analiz WOPR-WP i co najmniej 2 dla WOPR-WS **wskazane** jest przeprowadzenie dodatkowych analiz dla arkuszy przyległych, nawet gdy nie spełniły one warunków brzegowych (zostały pominięte w analizach).

W przypadku (możliwym) braku informacji o warunku brzegowym WOPR-WP (brak otworów i/lub ppw), analizę dla takiego obszaru należy powtórzyć po uzyskaniu informacji uzupełniającej (wytworzeniu takiej warstwy).

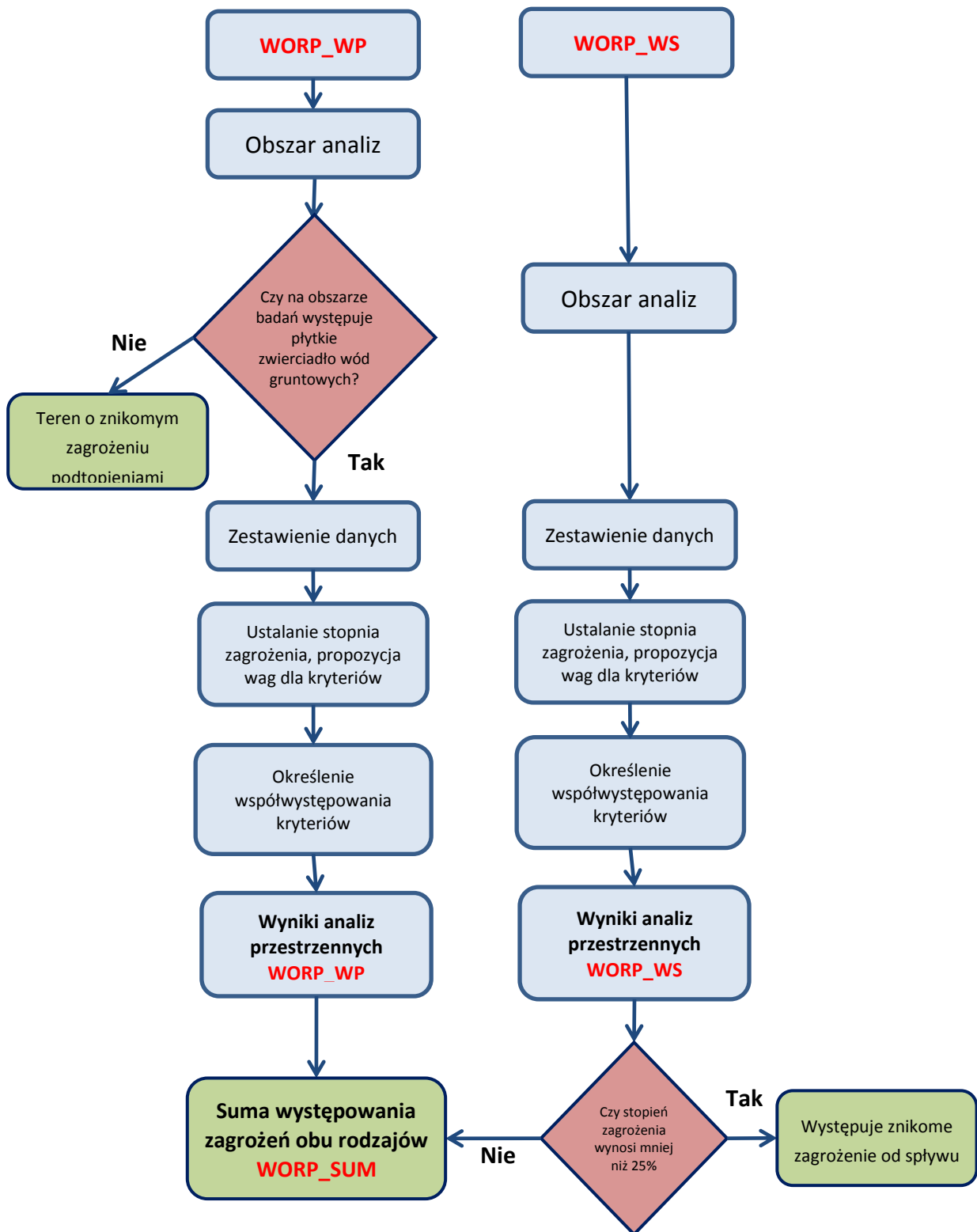


Fig. 1 Schemat blokowy postępowania przy opracowaniu wstępnej oceny zagrożenia powodzią od wód podziemnych i wód spływowych

7 MAPY

7.1 Zakres danych

Mapy wstępnej oceny ryzyka powodziowego od wód podziemnych zostaną przygotowane w 2 zestawach:

- Mapy dla obszaru województw w przedziale skali od 1:300 000,
- Mapa dla obszaru Polski w skali 1:800 000

Zakres informacyjny map obejmie w szczególności:

1. mapy obszarów, na których wystąpienie podtopienia jest prawdopodobne.
 - mapa obszarów zagrożonych wystąpieniem podtopień od wód podziemnych (WORP-WP),
 - mapa obszarów zagrożonych wystąpieniem podtopień od wód spływowych (WORP-WS),
2. mapa obszarów narażonych na niebezpieczeństwo wystąpienia podtopienia,
 - mapa obszarów zagregowanego stopnia zagrożenia podtopieniem (WORP-SUM),
 - mapa ryzyka wystąpienia podtopienia (WORP-RYZ),

Na mapach, wraz z ich główną treścią należy umieścić:

1. mapy obszarów, na których wystąpienie podtopienia jest prawdopodobne:
 - a) mapa ryzyka występowania podtopień od wód podziemnych (WORP-WP),
 - Miejscowości
 - Sieć hydrograficzną
 - Granicę administracyjną Polski
 - Granice obszarów dorzeczy
 - Granicę pasa nadbrzeżnego
 - Obszary, na których występuje ryzyko powodzi od wód podziemnych, wyznaczone w wyniku analiz WORP-WP
 - Podkład topograficzny – mapa topograficzna
 - b) mapa ryzyka występowania podtopień od wód spływowych,(WORP-WS),
 - Miejscowości
 - Sieć hydrograficzną
 - Granicę administracyjną Polski
 - Granice obszarów dorzeczy
 - Granicę pasa nadbrzeżnego

- Obszary, na których występuje ryzyko powodzi od wód spływowych, wyznaczone w wyniku analiz WOPR-WS
- Podkład topograficzny – mapa topograficzna
- 2. Mapa obszarów narażonych na niebezpieczeństwo wystąpienia podtopienia
- a) mapa obszarów zagregowanego stopnia zagrożenia podtopieniem (WOPR-SUM),
 - Miejscowości
 - Sieć hydrograficzną
 - Granicę administracyjną Polski
 - Granice obszarów dorzeczy
 - Granicę pasa nadbrzeżnego
 - Obszary, zagregowanego stopnia zagrożenia podtopieniem wyznaczone w wyniku analiz WOPR-SUM,
 - Podkład topograficzny – mapa topograficzna
- b) mapa ryzyka wystąpienia podtopienia (WOPR-RYZ):
 - Miejscowości
 - Sieć hydrograficzną
 - Granicę administracyjną Polski
 - Granice obszarów dorzeczy
 - Granicę pasa nadbrzeżnego
 - Obszary stopnia ryzyka wystąpienia podtopienia wyznaczone w wyniku analiz WOPR-RYZ
 - Podkład topograficzny – mapa topograficzna

8 PROJEKT/MODEL BAZY DANYCH

Stworzenie analitycznej bazy danych stanowi podstawę do przetwarzania za pomocą narzędzi GIS danych przestrzennych w celu stworzenia map obszarów narażonych na niebezpieczeństwo wystąpienia podtopień od wód podziemnych i wód spływowych. Odpowiednie przygotowanie i interpretacja danych wejściowych stanowi podstawowy warunek otrzymania poprawnych wyników analiz i obliczeń.

8.1 Dane wejściowe i obliczeniowe

Do opracowania wstępnej oceny ryzyka przeciwpowodziowego (**WORP**) zostaną wykorzystane informacje i materiały wewnętrzne dostępne w bazach danych PIG-PIB, które są zasilane m in. w efekcie realizacji Kierunków Badań w Dziedzinie Geologii oraz dane zewnętrzne zgromadzone zarówno w zasobach PIG-PIB, jak i w zasobach innych podmiotów (GUGiK, GDOŚ, KZGW i in).

Ze względu na jakość przeprowadzanych analiz, niezwykle ważny jest proces wyboru danych geologicznych, środowiskowych i topograficznych, które powinny spełniać określone kryteria referencyjności. Za dane referencyjne możemy uznać dane wytwarzane w obrębie danej instytucji i właściwe dla jej unikatowej działalności, które są powszechnie stosowane, zgodnie zobowiązującymi standardami. Podstawowe cechy danych referencyjnych to:

- **spójność** - dotyczy uporządkowania słownikowego atrybutów oraz zgodności topologicznych (geometria) i merytorycznych (koncepcja) w obrębie poszczególnych baz danych tworzonych w ramach projektów badawczych.
- **jakość** - dotyczy danych, które przygotowano w oparciu o odpowiednią aparaturę pomiarową, odpowiednią wiedzę oraz z odpowiednią dokładnością (rozdzielczość, skala, ciągłość, pokrycie obszaru). Zbiory danych powinny być profesjonalnie przetworzone oraz powinny przejść procedury weryfikacji i aktualizacji.
- **aktualność** - określające zbiory danych odzwierciedlające stan rzeczywisty w momencie ich użytkowania (analizy i przetwarzania).
- **interoperacyjność** – zapewnienie możliwości współdzielenia zasobów informacyjnych pomiędzy instytucjami na zasadzie udostępniania i wymiany.
- **unikatowość** - określa jedyne w swoim rodzaju zbiory danych w skali całego kraju.

Oprócz spełnionych kryteriów referencyjności, dane powinny być przeanalizowane pod kątem merytorycznym, aby w sposób jasny i jednoznaczny był widoczny ich wpływ na rezultaty przeprowadzonych analiz przestrzennych. Dla realizacji projektu został przygotowany zestaw wektorowych danych wejściowych (Tab. 20) będący podstawą przeprowadzenia wielokryterialnych analiz przestrzennych.

Tab. 20 Warstwy bazy danych obliczeniowych WORP

Nazwa warstwy	Opis	Źródło danych
<i>corine_antrop</i>	Tereny antropogeniczne z wyłączeniem miejskich terenów zielonych i wypoczynkowych	CORINE LAND COVER 12, GUGIK
<i>smgp_zagr_s</i>	Utwory przepuszczalne o małej miąższości (ok. 1 m), posiadające w spągu utwory o bardzo małej przepuszczalności lub utwory o bardzo małej przepuszczalności w zagłębieniach terenu	Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, PIG-PIB
<i>smgp_zagr_wp</i>	Utwory przepuszczalne w formach wklęsłych lub płaskich	Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, PIG-PIB
<i>ppw_2m</i>	Zwierciadło wody pierwszego poziomu wodonośnego na głębokości do 2m poniżej poziomu terenu	Mapa pierwszego poziomu wód podziemnych – występowanie i hydrodynamika w skali 1:50 000, PIG-PIB
<i>otw_swob</i>	Otwory Banku Hydro ze zwierciadłem ustalonym na głębokości do 2m poniżej poziomu terenu	Bank Hydro (CBDH), PIG-PIB
<i>podtop</i>	Obszary zagrożone podtopieniami	Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami (Podtopienia) w skali 1:50 000, PIG-PIB
<i>teren_gr</i>	Wybrane tereny górnicze	MIDAS PIG-PIB
<i>mok_okr</i>	Mokradła okresowe	Mapa występowania mokradeł KZGW
<i>mok_stl</i>	Mokradła stałe	Mapa występowania mokradeł, KZGW
<i>leje_dep</i>	Leje depresji wywołane poborem wód podziemnych	Mapa pierwszego poziomu wód podziemnych i hydrodynamika) 1:50 000, oraz aktualizacja z MHP PIG-PIB

8.2 Format bazy danych

Wszystkie warstwy wektorowe biorące udział w procesach obliczeniowych i analitycznych są bezpośrednio pobierane z baz danych źródłowych przechowywanych w PIG-PIB i baz innych podmiotów będących ich dysponentami. Dane te są weryfikowane, przetwarzane i umieszczane w strukturze geobazy plikowej GIS traktowanej jako uporządkowany zbiór danych przestrzennych (układ odwzorowania PUWG 1992). Pozostałe zbiory danych przestrzennych, tabelarycznych lub tekstowych (mapy topograficzne, ortofotomapy, mapy tematyczne, słowniki, dokumenty i in.) zostaną umieszczone w strukturze katalogowej.

Przechowywanie danych w geobazie umożliwia większą spójność i integrację między nimi oraz możliwości dowolnego ich przetwarzania (eksport, import, kontrola jakości itp.). W utworzonej równolegle bazie katalogowej będą przechowywane pliki wymiany w formacie ESRI SHP, zarówno w oryginalnych postaciach danych wejściowych, jak i te, które w prosty sposób mogą być eksportowane z geobazy.

8.3 Model bazy danych

Dla celów obliczeniowych zostanie utworzona baza danych GIS: **WORP** oraz baza katalogowa **WORP_KAT**, w której umieszczone zostaną pozostałe dane projektu (Fig. 2)

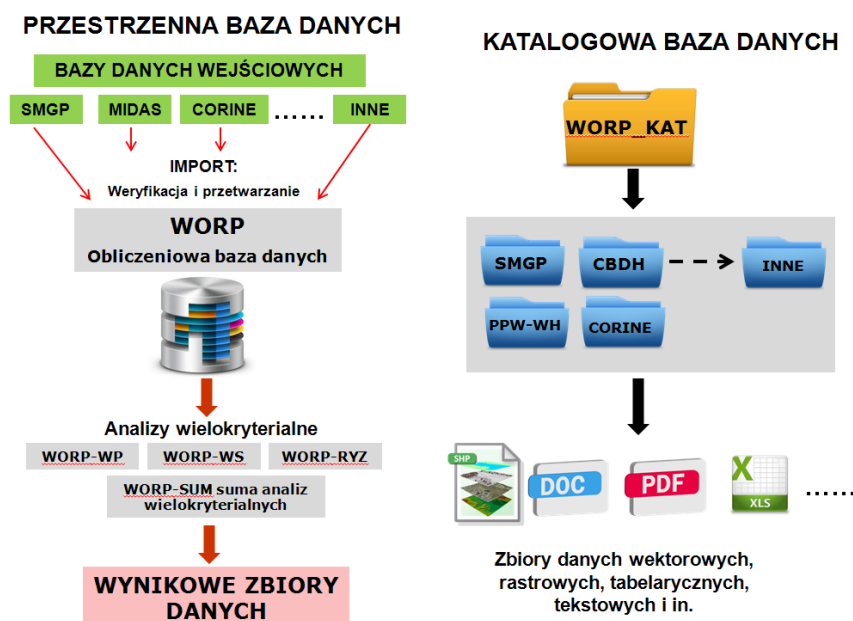


Fig. 2 Schematy organizacji danych

8.4 Warstwy wynikowe bazy danych

Podstawowym wynikiem analiz wielokryterialnych będą warstwy umożliwiające kategoryzację i wizualizację zagrożeń podtopieniami od wód podziemnych i spływowych oraz ryzyka dla poszczególnych obszarów/bloków obliczeniowych (Tab. 21).

Tab. 21 Warstwy wynikowe analiz WORP

WARSTWA	TYP WARSTWY	ATRUBUT	Typ pola	Opis	Źródło danych
worp_wp	powierzchniowa	<i>zagr_wp</i>	DOUBLE	Warstwa wynikowa obrazująca zagrożenie w blokach obliczeniowych dla analiz WORP_WP	WORP
worp_ws	powierzchniowa	<i>zagr_ws</i>	DOUBLE	Warstwa wynikowa obrazująca zagrożenie w blokach obliczeniowych dla analiz WORP_WS	
worp_sum	powierzchniowa	<i>zagr_agreg</i>	SHORT INTEGER	Warstwa wynikowa obrazująca zagregowany stopień ryzyka	
	powierzchniowa	<i>zagr_wp</i>	SHORT INTEGER		
	powierzchniowa	<i>zagr_ws</i>	SHORT INTEGER		
worp_ryz	powierzchniowa	<i>ryzyko</i>	DOUBLE	Warstwa wynikowa obrazująca ryzyko wystąpienia podtopienia w blokach obliczeniowych	

8.5 Metadane

8.5.1 Profil metadanych

Dla wszystkich nowych i zaktualizowanych warstw tematycznych opracowane zostaną metadane według obowiązujących europejskich norm ISO 19139 zgodnie z dyrektywą INSPIRE. Wraz z geobazą zostanie przekazany katalog metadanych w formacie XML z dołączonym raportem z procesu walidacji metadanych za pośrednictwem Geoportalu INSPIRE (<http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/>). Cała geobaza i wszystkie warstwy zostaną opracowane w układzie przestrzennym PUWG 1992, układzie odniesienia ETRS89, w odwzorowaniu Gaussa-Krügera.

8.5.2 Opis struktury danych

Struktura pliku metadanych zawiera informacje o:

- Metadanych o metadanych (Metadata on metadata)
- Identyfikacji danych (IDENTIFICATION)
- Klasyfikacji danych przestrzennych (CLASSIFICATION OF SPATIAL DATA AND SERVICES)
- Słowach kluczowych (KEYWORD)
- Lokalizacji (GEOGRAPHIC LOCATION)
- Odniesieniu czasowym (Temporal reference)
- Jakości (Quality and validity)
- Ograniczenia związane z dostępem i użytkowaniem (Constraint related to access and use)
- Podmiocie odpowiedzialnym (Responsible party)

8.6 Bazy danych dla Komisji Europejskiej

8.6.1 Lista produktów przewidzianych do wytworzenia

- Pliki w formacie xml, wykonane za pomocą narzędzia XML conversion tool
- Pliki w formacie shp z warstwami wynikowej bazy danych
- Metadane w formacie xml dla każdego z raportowanych plików danych przestrzennych

9 UWAGI KOŃCOWE

9.1 Teledetekcja

Przeprowadzona analiza wykazała, że w skali przeglądowej nie jest możliwe zastosowanie metod teledetekcyjnych. Należy je jednak wykorzystać przy analizowaniu szczegółowym obszarów o wysokim ryzyku wystąpienia PWP i PWGM. W tym celu należy dokonać porównania obrazów satelitarnych z Obszarów suchych i mokrych (opady) oraz wyżówek i niżówek hydrogeologicznych, w celu porównania obszarów na których woda występuje na powierzchni terenu.

Identyfikację obszarów o wysokiej częstotliwości występowania wody na powierzchni w przeszłości należy wykonać metodą teledetekcyjną z wykorzystaniem archiwalnych danych satelitarnych. Obecnie uważa się, że najefektywniejsza metoda zdalnego monitorowania obszarów podmokłych powinna opierać się na synergetycznej informacji pozyskiwanej z pomiarów elektromagnetycznych (optycznych) i radarowych (SAR). Standardowym indeksem do wykrywania wody na powierzchni terenu na podstawie zobrażeń optycznych jest NDWI (ang. Normalized Difference Water Index). Do jego obliczania wykorzystuje się dane zarejestrowane w zakresie promieniowania zielonego (GREEN) i podczerwonego (NIR). Poniżej przedstawiono sposób jego obliczania:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR).$$

gdzie:

NIR – wartości odbicia spektralnego w zakresie podczerwonym, bez miana;

GREEN – wartości odbicia spektralnego w zakresie zielonym, bez miana.

Indeks NDWI jest jednak bardzo czuły na wpływ atmosfery (zachmurzenie). Dlatego zaleca się zastosowanie zobrażeń wykonywanych w mikrofalowym zakresie widma, które są przeważnie płatne. Od 2014 roku pojawiła się możliwość nieodpłatnego wykorzystania w celach naukowych danych mikrofalowych satelity SENTINEL 1, rejestrującego promieniowanie mikrofalowe w dwóch polaryzacjach – pionowej (VV) i krzyżowej (VH) o rozdzielczości przestrzennej 10 m. Dodatkową zaletą zobrażeń radarowych jest możliwość wykrycia wody nie tylko na powierzchni, ale w przypowierzchniowej warstwie gleby, czyli dla oszacowania wilgotności gleby. W tym celu wykorzystuje się współczynnik rozpraszania wstecznego σ° . Fala radarowa o polaryzacji krzyżowej VH jest bardziej czuła na wilgotność gleby niż fala VV. W celu szacowania wilgotności gleby na podstawie zobrażeń satelitarnych, wykonanych w mikrofalowym zakresie promieniowania, niezbędne jest opracowanie algorytmów kalibracyjnych. Algorytmy te opracowuje się na podstawie analiz statystycznych wartości wilgotności gleby zmierzonych w terenie i odpowiadających im wartości współczynnika rozpraszania wstecznego σ° .

Proponowana metoda teledetekcyjna identyfikacji obszarów zagrożonych podtopieniem poprzez zastosowanie indeksu NDWI oraz szacowanie uwilgotnienia gleby na podstawie zdjęć satelitarnych, wykonywanych w mikrofalowym i optycznym zakresie promieniowania, pozwala prześledzić zmienność czasowo-przestrzenną w lokalizacji obszarów podmokłych oraz w połączeniu z informacją meteorologiczną wskazać potencjalną genezę podtopień.

9.2 Zalecenia dla map zagrożenia powodziowego od wód podziemnych

Planuje się, że dla obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi od wód podziemnych (podtopień), wskazanych we wstępnej ocenie ryzyka powodziowego zostaną wykonane mapy zagrożenia i ryzyka powodziowego w większych skalach. W przypadku tego typu opracowań zaleca się podczas przeprowadzanych analiz wzięcie pod uwagę dodatkowych danych, w szczególności:

- a. cyfrowy model terenu (LIDAR),
- b. obrazowania satelitarne w zakresie wilgotności gruntu i występowania wody na powierzchni terenu,
- c. przebiegi inwestycji liniowych (drogi, rurociągi, torowiska, tunele itp.) oraz inwestycje wielkopowierzchniowe,
- d. miejsca wymuszonej zmiany stanów wód powierzchniowych i podziemnych,
- e. dane z map glebowo-rolniczych,
- f. dane z map siedlisk przyrodniczych,
- g. wybrane tereny górnicze (MIDAS),
- h. atlasy geologiczno-inżynierskie,
- i. bazę danych geologiczno-inżynierskich BDGI,
- j. regionalne dokumentacje hydrogeologiczne.

Niezbędne jest przeprowadzenie wizji terenowej obejmującej zarówno przegląd warunków przyrodniczych determinujących występowanie podtopień, jaki i zebranie z urzędów gmin informacji o występujących na ich terenie problemach związanych z podtopieniami i zmianami stosunków wodnych. Należy także wziąć pod uwagę liczbę postępowań administracyjnych dotyczących podtopień (obligatoryjna ankieta). Należy bezwzględnie sprawdzić występowanie potencjalnych zagrożeń na arkuszach sąsiadujących z arkuszami o wysokim i bardzo wysokim stopniu zagrożenia. Dotyczy to także arkuszy wyłączonych w pierwszym etapie analizy (brak danych PPW-WH).

10 LITERATURA

TECHMEX S.A, IMUZ, 2009 - Ekosystemy lądowe pozostające w dynamicznych relacjach z wodami podziemnymi i powierzchniowymi dla obszarów dorzeczy w Polsce (z wyłączeniem regionu wodnego Warty). Część I. Opracowanie metodyczne.

TECHMEX S.A, IMUZ, 2009 - Ekosystemy lądowe pozostające w dynamicznych relacjach z wodami podziemnymi i powierzchniowymi dla obszarów dorzeczy w Polsce (z wyłączeniem regionu wodnego Warty). Część II. Opracowanie merytoryczne.

Charakterystyka regionu wodnego Warty - ekosystemy lądowe pozostające w dynamicznych relacjach z wodami podziemnymi i powierzchniowymi, 2006 r.(opracowanie w formacie .pdf oraz warstwy SHP).

Kowalczyk A., Szydło M., Stępińska-Drygała I., Wesołowski P., Bejger M., Gołębiowski M., 2017 – Niżówki hydrogeologiczne w Polsce w latach 1981-2015. Informator PSH. PIG-PIB. Warszawa.

Łachacz A., 2010 - Wskazania dla obszarów hydrogenicznnych – wpływ prognozowanych zmian zasobów wodnych i bilansu wodnego na gatunki i ekosystemy najsilniej zależne od warunków hydrologicznych.

Nowicki Z. (red.), 2007 - Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami w Polsce. PIG-PIB. Warszawa.

Instrukcja opracowania i komputerowej edycji Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000. Cz I. Opracowanie autorskie. PIG, 1999. Warszawa. s. 93.

Paczyński B. (red.), 1993, 1995 - Atlas hydrogeologiczny Polski. Cz. I i II. Skala 1:500 000. PIG, Warszawa.

Herbich P. z zespołem 2007 - Program prac i szczegółowe wskazania metodyczne do opracowania warstw informacyjnych bazy GIS Mapy hydrogeologicznej Polski „Pierwszy poziom wodonośny - występowanie i hydrodynamika, PIG Warszawa

Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.

Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15 października 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz.U. 2012 poz. 1247)

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz. U. 2016 nr 0 poz. 85).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 28 listopada 2016 r. w sprawie Planu gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Wisły (Dz. U. 2016 nr 0 poz. 1911)