Raport z testu badawczego dotyczącego zagrożenia powodziowego poprzez modelowanie dla powiatu leskiego

Nadzór merytoryczny:
Dr hab. Michał Habel

1. *Plan badawczy zawierający przebieg badań z podziałem na prace terenowe i laboratoryjne, wraz ze wskazaniem kolejny kroków przebiegu prac badawczych*

Prace terenowe

- identyfikacja dolinnych w terenie,
- identyfikacja stref obniżeń o genezie antropogenicznej w terenie,
- identyfikacja stref i punktów w przeszłości zalewanych podczas powodzi,
- określenie granic, w których zostanie przeprowadzona analiza powodziowa.

Prace laboratoryjne

- identyfikacja terenów zagrożonych podtopieniami na podstawie MZP ISOK, analiz geoprzestrzennych „Flow Direction" i „Flow Accumulation", z uwzględnieniem infiltracji i współczynników odpływu Curve Number (CN),
- wyznaczenie obszarów zagrożonych ze strony spływu powierzchniowego na podstawie numerycznego modelu terenu (NMT) o rozdzielczości ≤ 1 m (PL-EVRF2007-NH z 2004 i 2025 roku), użytkowania terenu BDOT10k oraz występowania gleb na bazie map IUNG, a także opadów maksymalnych Pmax według IMGW-PIB
- oszacowanie wartości opadu maksymalnego jako wartości referencyjnych na terenie powiatu,
- modelowanie odpływu efektywnego metodą SCS-CN,

- analiza kumulacji wód na powierzchni terenu i wyznacznie kierunków spływu powierzchniowego za pomocą narzędzi GIS (QuantumGIS v. 3.4.13) oraz algorytmów River Network, Watershed Basins i Flow Accumulation..
- wyznaczenie stref zagrożenia powodziowego z podziałem na klasy.

2. *Opis przebiegu prac badawczych z uwzględnianiem założeń teoretycznych, opisu metody, ewentualnego poboru prób w terenie i kolejnych kroków prac laboratoryjnych.*

Założenia teoretyczne

Przez zagrożenie powodziowe rozumie się prawdopodobieństwo wystąpienia zjawisk prowadzących do czasowego zalania terenów na obszarze powiatu, wynikających zarówno z wezbrań rzek i potoków objętych mapami zagrożenia powodziowego (MZP) (Hydroportal ISOK - https://wody.isok.gov.pl), jak również z intensywnych opadów atmosferycznych powodujących koncentrację spływu powierzchniowego w małych zlewniach, dolinach nieobjętych mapowaniem hydraulicznym oraz lokalnych obniżeniach terenu.

Poziom zagrożenia powodziowego powiatu określono jako udział powierzchni potencjalnie narażonej na zalanie w wyniku:

- wystąpienia wód powodziowych o prawdopodobieństwie 10%, 1% i 0,2% (zgodnie z mapami zagrożenia powodziowego ISOK),
- koncentracji spływu powierzchniowego wywołanego opadem maksymalnym Pmax,
- występowania lokalnych obniżeń bezodpływowych i stref akumulacji odpływu.

Wynik przedstawiono jako powierzchnię terenów zagrożonych [ha] oraz ich udział procentowy w powierzchni powiatu [%].

Zgodnie z art. 16 pkt 43 ustawy Prawo wodne **przez powódź rozumie się** czasowe pokrycie terenu wodą, które w normalnych warunkach nie jest pokryte wodą, w szczególności wywołane wezbraniem wód w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach oraz od strony morza. Należy podkreślić, że ustawowa definicja powodzi nie obejmuje wprost wszystkich form zagrożeń związanych ze spływem powierzchniowym po intensywnych opadach. Z tego względu analiza została rozszerzona o **identyfikację terenów potencjalnie zagrożonych zalaniem wskutek koncentracji odpływu powierzchniowego**, co ma szczególne znaczenie w warunkach obszarów górskich i podgórskich południowej Polski.

Dla powiatu samo wykorzystanie map zagrożenia powodziowego ISOK będzie niewystarczające. Szczególnie w obszarach górskich i podgórskich dominującym zagrożeniem są bowiem:

1. powodzie rzeczne w głównych dolinach (ujęte częściowo w ISOK),

2. powodzie opadowe (flash floods) na małych ciekach wywołane spływem powierzchniowym po stokach,
3. koncentracja odpływu w dolinach nieobjętych MZP,
4. podtapianie obszarów bezodpływowych i lokalnych obniżeń terenu.

Dla powiatu leskiego na podstawie MZP ISOK, analiz geoprzestrzennych „Flow Direction" i „Flow Accumulation", z uwzględnieniem infiltracji i współczynników odpływu Curve Number (CN), na bazie numerycznego modelu terenu (NMT) o rozdzielczości ≤ 1 m (PL-EVRF2007-NHz 2004 i 2025 roku), użytkowania terenu BDOT10k oraz występowania gleb na bazie map IUNG, a także opadów maksymalnych Pmax według IMGW-PIB, wyznaczono obszary zagrożone ze strony spływu powierzchniowego.
W celu określenia projektowych wartości opadów maksymalnych wykorzystano dane z modelu probabilistycznego **P_{MAX}TP (Precipitation MAXimum Time Probability)**, udostępnianego przez IMGW-PIB w serwisie „Opady maksymalne" (https://klimat.imgw.pl/opady-maksymalne/), opisanego w monografii pod red. B. Ozga-Zieliński i in. (2022). Model PMAXTP stanowi obecnie podstawowe narzędzie do estymacji przestrzennego rozkładu opadów ekstremalnych na obszarze Polski i umożliwia wyznaczenie wysokości opadu maksymalnego dla zadanego czasu trwania oraz prawdopodobieństwa jego przekroczenia.

Model opisuje zależność:
$P_{max}(t,p)$
gdzie:

- **Pmax** – maksymalna wysokość opadu [mm],
- **t** – czas trwania opadu,
- **p** – prawdopodobieństwo przewyższenia opadu.

Wartość $P_{max}(t,p)$ jest kwantylem teoretycznego rozkładu prawdopodobieństwa dopasowanego do wieloletnich obserwacji opadowych. Oznacza to, że dla określonej długości trwania opadu można wyznaczyć wysokość opadu odpowiadającą przyjętemu prawdopodobieństwu jego wystąpienia.
Przykładowo, opad o prawdopodobieństwie przewyższenia **p = 10%** może zostać osiągnięty lub przekroczony średnio raz na 10 lat, natomiast opad o **p = 1%** odpowiada zdarzeniu występującemu średnio raz na 100 lat.

W prezentowanym opracowaniu wykorzystano wyniki uzyskane metodą **POT (Peak Over Threshold)**, polegającą na analizie wszystkich zdarzeń opadowych przekraczających określoną wartość progową. W przeciwieństwie do klasycznej metody maksimów rocznych (AMP), która wykorzystuje wyłącznie największy opad z każdego roku, metoda POT uwzględnia więcej zdarzeń ekstremalnych, co pozwala na bardziej wiarygodne oszacowanie opadów rzadkich i bardzo rzadkich.
Zastosowanie metody POT jest szczególnie istotne w analizach zagrożenia powodziowego, ponieważ umożliwia lepsze odwzorowanie intensywnych opadów nawalnych odpowiedzialnych za powodzie błyskawiczne oraz gwałtowny spływ powierzchniowy.

W analizie zagrożenia podtopieniami wykorzystano wysokości opadów maksymalnych dla różnych czasów trwania, odpowiadających odmiennym mechanizmom powstawania zagrożenia powodziowego:

- **opady 1-godzinne** – reprezentujące zjawiska nawalne i lokalne podtopienia,
- **opady 6-godzinne** – charakterystyczne dla gwałtownego odpływu ze zlewni górskich i podgórskich,
- **opady 24-godzinne** – związane z rozwojem powodzi rzecznych w większych zlewniach.

Dla każdego analizowanego powiatu wyznaczono wartości opadów maksymalnych odpowiadające prawdopodobieństwom przewyższenia:

- **1% (T = 100 lat)**,
- **50% (T = 2 lata)**,

Wartości maksymalnych opadów wyznaczone modelem $P_{max}TP$ wykorzystano jako dane wejściowe do modelowania spływu powierzchniowego oraz identyfikacji obszarów potencjalnej koncentracji odpływu. Pozwoliło to na rozszerzenie analizy zagrożenia powodziowego poza obszary objęte mapami ISOK, w szczególności o małe zlewnie górskie, okresowe cieki oraz lokalne obniżenia terenu, gdzie zagrożenie wynika głównie z intensywnych opadów i szybkiego odpływu powierzchniowego.

Analizę zagrożenia powodziowego wykonano dla opadu projektowego Pmax o prawdopodobieństwie przewyższenia p = 1% (T = 100 lat). Dla powiatów karpackich dodatkowo przeanalizowano opad 1-godzinny, natomiast dla wszystkich powiatów wykonano analizy dla

opadów 6-godzinnych i 24-godzinnych.Na podstawie analizy przestrzennej zróżnicowania wartości danego Pmax przyjęto maksimum jakie wystąpiło w granicach danego powiatu (Tabela 1). Przyjęcie maksymalnej wartości Pmax występującej w granicach powiatu stanowi podejście konserwatywne, pozwalające na identyfikację potencjalnie najbardziej niekorzystnych warunków opadowych mogących wystąpić na analizowanym obszarze.

Tabela 1. Proponowane wartości opadu maksymalnego jako wartości referencyjne dla na terenie powiatu leskiego

Lp.	**Powiat**	Powierzchnia powiatu [ha]	**Powierzchnia przy określonym opadzie maksymalnym w ha/%**					
			1h	**%**	**6h**	**%**	**24h**	**%**
1	leski	83400	101	0,108	117,00	0,14	131,00	0,16

Dobór czasu trwania opadu do obliczeń w analizowanych powiatach powinien zależeć od wielkości zlewni, ponieważ w tym przypadku występują trzy mechanizmy powodziowe.

- Typ I – powodzie błyskawiczne, gdy małe zlewnie mają powierzchnię 1–20 km², wtedy czas koncentracji spływu wynosi 1–3 h. Najbardziej reprezentatywny czas obliczeń wynosi 1 h.
- Typ II – małe zlewnie górskie, gdy ich powierzchnia to 20–100 km² to czas koncentracji wynosi 3–6 h. Najbardziej reprezentatywny opad 6 h.
- Typ III – większe zlewnie. Najbardziej reprezentatywny opad 24 h

Odpływ efektywny wyznaczono metodą SCS-CN, która uwzględnia zdolność retencyjną gleb oraz pokrycie terenu, metoda opisana przez K. Banasik i in. (2016). Metoda ta zakłada, że tylko część opadu atmosferycznego przekształca się w odpływ powierzchniowy, natomiast pozostała część infiltruje do gruntu lub zostaje zatrzymana w retencji powierzchniowej. Spływ na każdej komórce numerycznego modelu terenu jest wyznaczany jako różnica pomiędzy opadem a infiltracją, przy wykorzystaniu parametrów infiltracyjnych oraz koncepcji CN. Dla potrzeb regionalnej analizy zagrożenia powodziowego i modelu SCS-CN można przyjąć standardowe wartości CN zgodne z wytycznymi USDA-NRCS (1986).

Retencję obliczano w sposób następujący:

$$S = \frac{254}{\mathrm{CN}} - 254$$

Obliczenie odpływu efektywnego:

$$Q = \frac{(P - 0{,}2S)^2}{P + 0{,}8S}$$

gdzie:

- P – opad projektowy,
- Q – odpływ efektywny.

Kluczowym elementem w końcowej fazie modelowania była kumulacji wód na powierzchni terenu. Kierunki spływu powierzchniowego wyznaczono za pomocą narzędzi GIS (QuantumGIS v. 3.4.13) oraz algorytmów River Network, Watershed Basins i Flow Accumulation. Model został oparty na wysokorozdzielczym numerycznym modelu terenu pochodzącym ze skaningu laserowego (NMT) – siatce o rozdzielczości ≤ 1,0 m , danych o użytkowaniu terenu (BDOT10k), mapach glebowo-rolniczych, sieci cieków wodnych MPHP oraz przepustów drogowych (BDOT10k). Powstałe na bazie modelowania naturalne linie drenażu oraz obszary kumulacji spływu powierzchniowego. Uzyskane wyniki umożliwiły identyfikację okresowych cieków, dolin koncentracji odpływu oraz lokalnych obniżeń terenowych.

3. *Wyniki badań w postaci obliczeniowej wraz z niezbędną dokumentacją w postaci tabel, wykresów i rysunków*

Łączna powierzchnia terenów potencjalnie zagrożonych podtopieniami spowodowanymi koncentracją odpływu powierzchniowego wynosi od 117 do 131 ha (w zależności od przyjętego czasu trwania opadu projektowego). **Wartość ta nie obejmuje jedynie terenów zagrożonych powodzią rzeczną, wyznaczonych na podstawie map ISOK, lecz stanowi ich uzupełnienie poprzez wskazanie obszarów narażonych na lokalne podtopienia poza dolinami głównych cieków**. W powiecie leskim analizowano podtopienia występujące w trakcie intensywnych opadów trwających 1, 6 i 24 godziny.

Powiat leski położony jest w południowo-wschodniej części Polski, w obrębie Bieszczadów i Pogórza Leskiego, w zlewni górnego Sanu. Głównym ciekiem odwadniającym obszar jest rzeka San, której reżim hydrologiczny ma charakter deszczowo-śnieżny, typowy dla rzek karpackich. Istotny wpływ na warunki hydrologiczne powiatu wywiera również Zbiornik Soliński, pełniący funkcje retencyjne, przeciwpowodziowe, energetyczne oraz rekreacyjne. Zbiornik wraz z położonym poniżej Zbiornikiem Myczkowieckim znacząco ogranicza kulminacje fal wezbraniowych w dolnym biegu Sanu poprzez retencjonowanie części objętości wezbrań. Do najważniejszych dopływów Sanu na terenie powiatu należą Hoczewka, Solinka, Czarny Potok oraz liczne krótkie potoki górskie o dużych spadkach podłużnych. Cieki te charakteryzują się bardzo krótkim czasem koncentracji odpływu i gwałtowną reakcją na intensywne opady atmosferyczne. Najwyższe przepływy występują najczęściej podczas wiosennych roztopów oraz letnich opadów rozlewnych i burzowych, natomiast najniższe obserwowane są w okresach długotrwałej suszy oraz zimą. Znaczne spadki terenu sprzyjają szybkiemu odpływowi powierzchniowemu oraz intensywnym procesom erozji korytowej i stokowej podczas wezbrań. Duży udział lasów, zajmujących ponad 70% powierzchni powiatu, zwiększa naturalną retencję zlewni i częściowo ogranicza tempo odpływu wód opadowych. Pomimo wysokiej lesistości, podczas opadów nawalnych dochodzi do rozwoju powodzi błyskawicznych oraz lokalnych podtopień, zwłaszcza w wąskich dolinach potoków górskich. W dolinie Sanu zachowały się fragmenty naturalnych równin zalewowych, jednak ich zasięg jest ograniczony przez górski charakter doliny oraz występowanie zbiorników zaporowych. Warunki hydrologiczne powiatu cechują się dużą sezonową zmiennością przepływów oraz znaczną amplitudą stanów wody. Istotnym elementem gospodarki wodnej jest funkcjonowanie kaskady zbiorników Solina–Myczkowce, która odgrywa kluczową rolę w ochronie

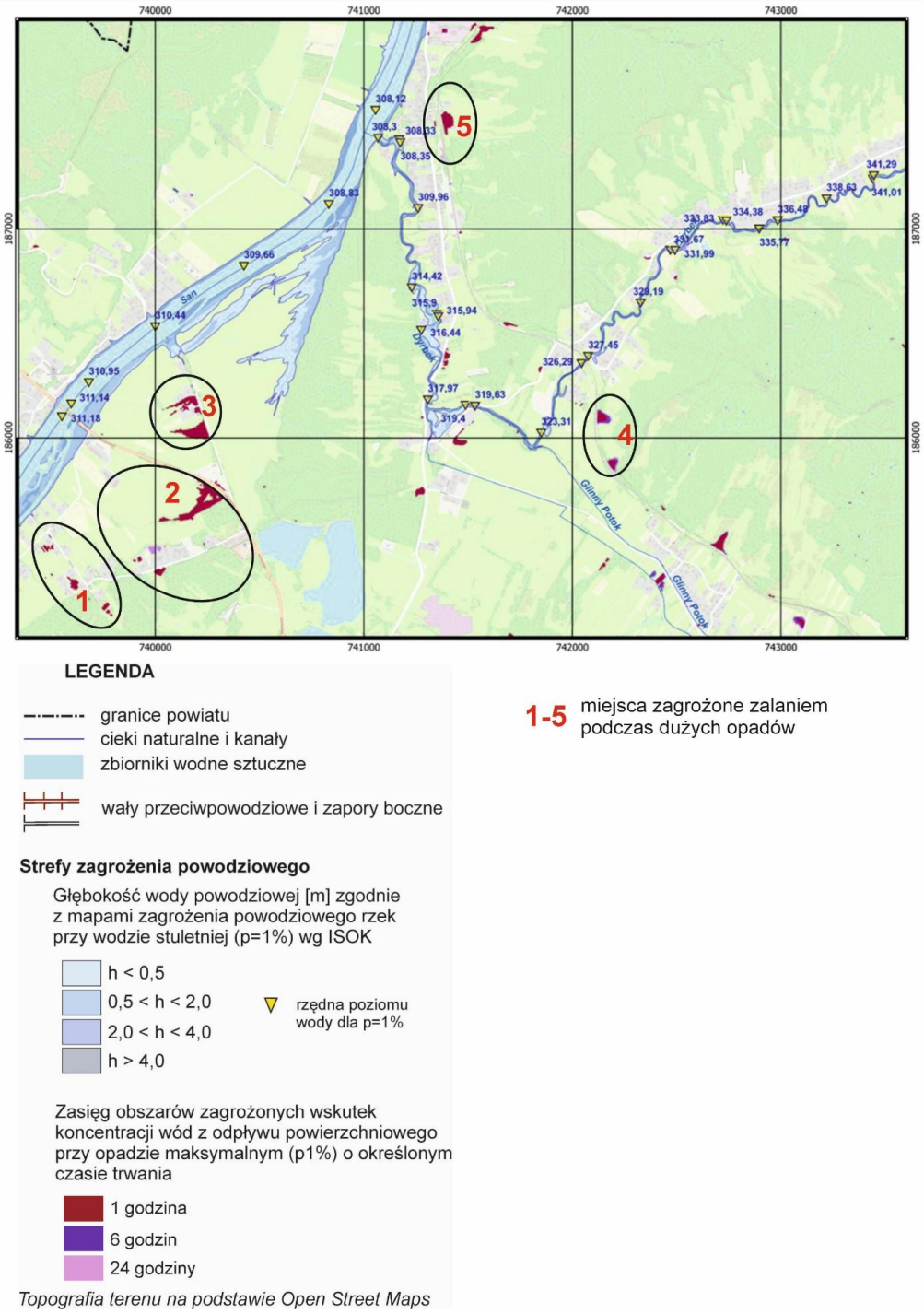
przeciwpowodziowej doliny Sanu oraz stabilizacji przepływów niżówkowych. W ostatnich latach obserwowany wzrost częstotliwości krótkotrwałych opadów o wysokiej intensywności zwiększa ryzyko gwałtownych wezbrań w małych zlewniach oraz nasila procesy spływu powierzchniowego. Z hydrologicznego punktu widzenia powiat leski należy do obszarów o wysokiej dynamice procesów odpływu, gdzie zagrożenie powodziowe wynika zarówno z wezbrań rzeki San, jak i z gwałtownych reakcji licznych górskich dopływów na ekstremalne opady atmosferyczne.

Szczegółową analizę zagrożenia powodziowego przeprowadzono dla dwóch obszarów przedstawionych na mapach. Pierwszy z nich położony jest na północ od miasta Lesko, w strefie ujścia rzeki Dyrbek do Sanu, natomiast drugi znajduje się na północ od Jeziora Myczkowskiego, w rejonie Uherców Mineralnych. Na mapach zaznaczono obszary, które mogą zostać zalane podczas ekstremalnych opadów trwających zaledwie jedną godzinę. Oznacza to, że na terenie powiatu leskiego nawet krótkotrwałe, lecz bardzo intensywne opady mogą prowadzić do lokalnych podtopień. Jednocześnie zabudowa powiatu ma charakter rozproszony i koncentruje się głównie w postaci ciągów budynków zlokalizowanych wzdłuż dróg. W rezultacie liczba obszarów potencjalnie zagrożonych zalaniem jest stosunkowo niewielka, a występujące podtopienia nie zawsze obejmują tereny zabudowane.

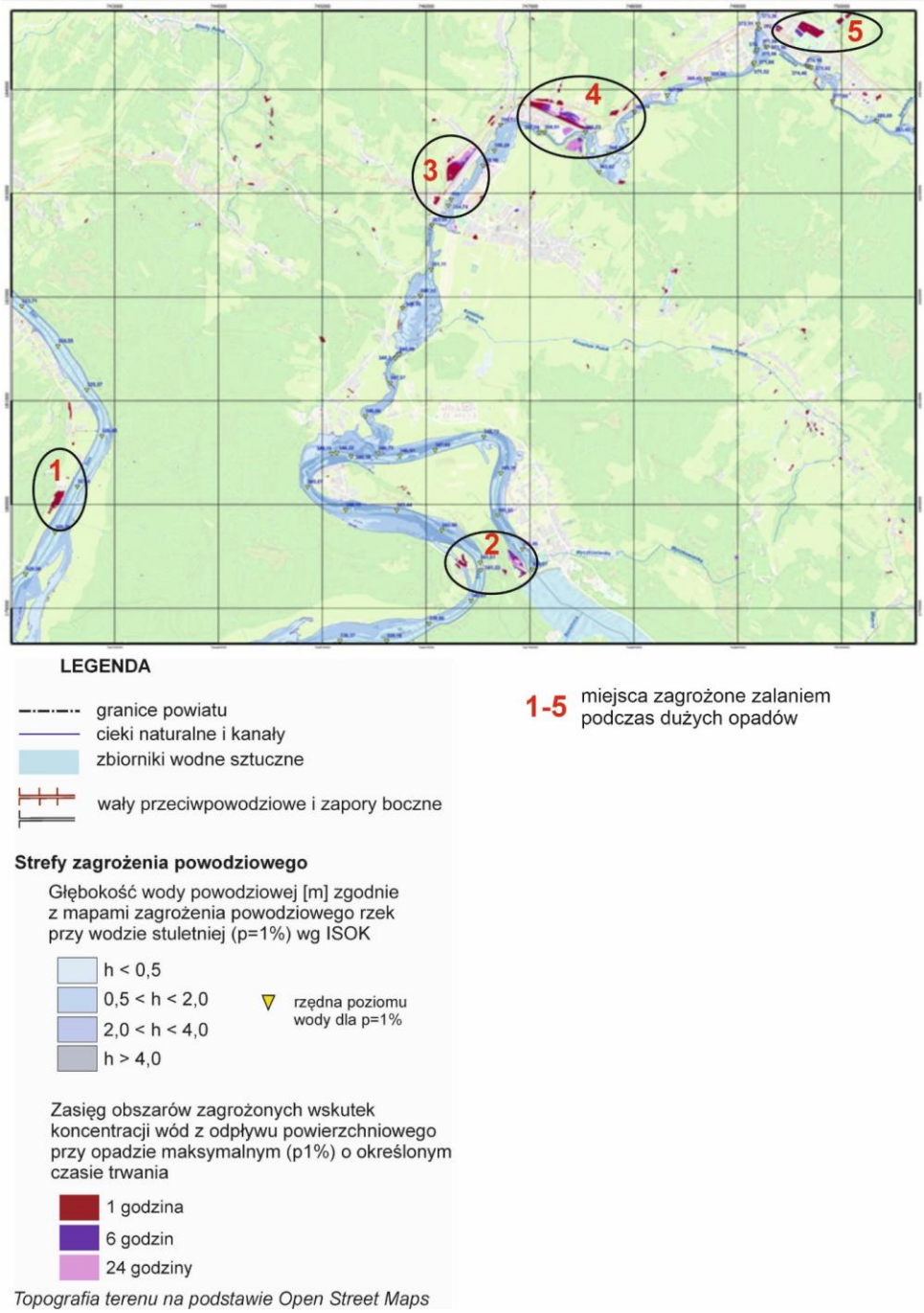
Na pierwszej mapie wyróżniono pięć obszarów potencjalnie zagrożonych zalaniem podczas intensywnych opadów (Rysunek 1). Trzy z nich zlokalizowane są w miejscowości Wola Postołowa (Rysunek 1, obszary 1–3). Miejscowość ta położona jest na południe od koryta Sanu, w jego bezpośrednim sąsiedztwie, jednak na wyraźnie wyżej położonej terasie. Mimo korzystnego położenia wysokościowego lokalnie mogą występować podtopienia wywołane koncentracją spływu powierzchniowego. Obszar oznaczony numerem 4 (Rysunek 1) znajduje się w widłach rzeki Dyrbek i Glinianego Potoku. W przypadku wystąpienia intensywnych opadów zalaniu mogą ulec dwie strefy przylegające do drogi, co może prowadzić do jej podmycia i uszkodzenia. Kolejny obszar zagrożony zalaniem (Rysunek 1, obszar 5) położony jest w miejscowości Łukawica. W tym przypadku potencjalne podtopienia mogą objąć budynki zlokalizowane po wschodniej stronie drogi.

Na drugiej mapie (Rysunek 2) wyznaczono pięć obszarów potencjalnie zagrożonych zalaniem podczas ekstremalnych opadów. Wszystkie zlokalizowane są w sąsiedztwie cieków wodnych, w obrębie dolin rzecznych lub na ich obrzeżach. Pierwszy z nich (Rysunek 2, obszar 1) położony jest na zachód od doliny Sanu. Zagrożona jest tu droga, wzdłuż której, zwłaszcza po północnej stronie analizowanego obszaru, znajduje się zabudowa. Drugi obszar (Rysunek 2, obszar 2) zlokalizowany jest w bezpośrednim sąsiedztwie koryta Sanu, w miejscowości Myczkowce.

Podczas intensywnych opadów istnieje możliwość zalania licznych budynków mieszkalnych. Kolejne dwa obszary (Rysunek 2, obszary 3 i 4) położone są po zachodniej stronie doliny Olszanki, w Uhercach Mineralnych. Także tutaj koncentracja spływu powierzchniowego może prowadzić do zalania budynków usytuowanych wzdłuż drogi oraz w pobliżu koryta rzeki. Ostatni analizowany obszar (Rysunek 2, obszar 5) znajduje się na północ od rzeki Olszanki, w miejscowości Olszanica. W przypadku wystąpienia opadów o dużym natężeniu zagrożone mogą być budynki zlokalizowane wzdłuż drogi.



Rysunek 1. Obszary zagrożone zalaniem na terenie powiatu leskiego (na północ od miasta Lesko).



Rysunek 2. Obszary zagrożone zalaniem na terenie powiatu leskiego (na północ od Jeziora Myczkowskiego).

4. *Wnioski z przeprowadzonych badań w formie opracowania zawierającego szczegółowe analizy wraz z szacunkiem dotyczącym zagrożenia występującego w testowanym terenie (osuwiskowego, powodziowego, związanego z zanieczyszczeniem powietrza zależnie od typu testu badawczego)*

Łączna powierzchnia terenów potencjalnie zagrożonych podtopieniami spowodowanymi koncentracją odpływu powierzchniowego w powiecie leskim wynosi od 117 do 131 ha, w zależności od czasu trwania opadu projektowego. Obszary te stanowią uzupełnienie terenów zagrożonych powodzią rzeczną wyznaczonych na podstawie map zagrożenia powodziowego ISOK. Analizy przeprowadzono dla opadów projektowych o czasie trwania 1, 6 i 24 godzin, odpowiadających różnym mechanizmom rozwoju zagrożenia powodziowego. Szczegółowej analizie poddano dwa obszary charakteryzujące się największą koncentracją potencjalnych podtopień. Pierwszy z nich zlokalizowany jest na północ od Leska, w rejonie ujścia rzeki Dyrbek do Sanu, natomiast drugi obejmuje okolice Uherców Mineralnych i Jeziora Myczkowskiego. Wyniki wskazują, że lokalne podtopienia mogą rozwijać się już podczas jednogodzinnych opadów o bardzo dużym natężeniu. Oznacza to, że nawet krótkotrwałe opady nawalne mogą stanowić istotne zagrożenie dla infrastruktury oraz zabudowy zlokalizowanej w strefach koncentracji odpływu powierzchniowego. Rozproszony charakter zabudowy powiatu sprawia jednak, że liczba budynków bezpośrednio narażonych na zalanie pozostaje stosunkowo niewielka. W pierwszym analizowanym obszarze zagrożenie koncentruje się głównie w miejscowościach Wola Postołowa i Łukawica oraz w rejonie ujścia Dyrbku i Glinianego Potoku. Szczególnie istotnym elementem zagrożenia jest możliwość podtopienia oraz uszkodzenia odcinków dróg przebiegających przez strefy koncentracji odpływu. W drugim analizowanym obszarze najwyższe zagrożenie występuje w sąsiedztwie dolin Sanu i Olszanki, zwłaszcza w miejscowościach Myczkowce, Uherce Mineralne i Olszanica. W tych lokalizacjach intensywne opady mogą prowadzić do zalania budynków położonych w pobliżu cieków wodnych oraz wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych. Wszystkie zidentyfikowane obszary zagrożenia związane są z koncentracją odpływu powierzchniowego w dolinach oraz lokalnych obniżeniach terenu. Wyniki analiz potwierdzają, że wykorzystanie wyłącznie map zagrożenia powodziowego ISOK nie pozwala na pełną identyfikację terenów narażonych na podtopienia w warunkach górskich i podgórskich. Rozszerzenie analiz o modelowanie spływu powierzchniowego umożliwia bardziej kompleksową ocenę zagrożenia oraz skuteczniejsze

wskazanie obszarów wymagających działań z zakresu planowania przestrzennego i ochrony przeciwpowodziowej.

Katowice, 31.08.2026

PREZES ZARZĄDU
Oddział Górnośląski, Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi
dr hab. Jerzy Cabała

Dr hab. Jerzy Cabała