Interreg

Polska – Słowacja

Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

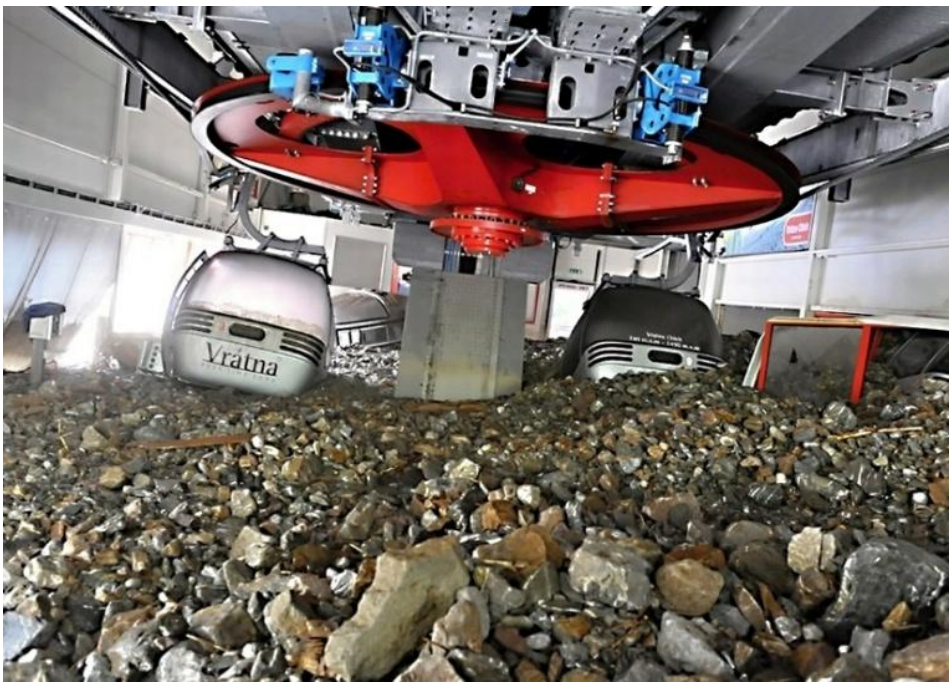
TESTOWANIE I WDRAŻANIE NOWOCZESNYCH METOD ZAPOBIEGANIA I PRZECIWDZIAŁANIA SKUTKOM KLĘSK ŻYWIOŁOWYCH W DOBIE ZMIAN KLIMATYCZNYCH

Informacje o projekcie, analizy i metody prewencji

Publikacja powstała w ramach realizacji projektu "Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych" realizowanego w ramach programu Interreg Polska-Słowacja 2021-2027 współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

OPIS PROJEKTU

W ramach realizacji projektu zastosowano nowoczesne metody zapobiegania skutkom osuwisk, powodzi i katastrofalnego zanieczyszczenia powietrza. Nowoczesne metody opierają się na wynalazkach i know-how opracowanych przez partnerów projektu. Wyniki testów wraz z instrukcją stosowania nowoczesnych metod zostaną przekazane grupom docelowym: samorządom i mieszkańcom obszarów zagrożonych. W projekcie duży nacisk położono na upowszechnianie wiedzy wspierającej nowoczesne rozwiązania w zakresie ograniczania skutków klęsk żywiołowych. W ramach projektu, oprócz testów środowiskowych i instrukcji stosowania nowoczesnych metod, opracowano mapę szczególnie niebezpiecznych stref przygranicznych (narażonych na osuwiska, powodzie i zanieczyszczenia), w których możliwe jest zastosowanie nowoczesnych metod.



Rys. 1. Dolna stacja kolei gondolowej po masywnym spływie gruzowym na stoku, Dolina Vrátna, 2014.



Rys. 2. Typowe osuwisko powierzchniowe z zabudową i drogą – jedno z najczęstszych zagrożeń środowiska na naszym obszarze.

Partner wiodący – UNIWERSYTET ŚLĄSKI W KATOWICACH

Uniwersytet Śląski jest jednym z największych polskich uniwersytetów publicznych, którego duży potencjał merytoryczny i przejrzysta struktura administracyjna umożliwiają pełnienie roli partnera wiodącego w projekcie. Uniwersytet Śląski dysponuje znaczącymi zasobami kadrowymi i doświadczeniem w realizacji projektów finansowanych z funduszy UE, obejmującym m.in. pracowników działów projektowych i księgowości projektowej, a także obsługę wynagrodzeń, kadr, logistyki i zamówień publicznych.

Kierunek Inżynieria Zagrożeń Środowiskowych na Uniwersytecie Śląskim przyciąga największą liczbę studentów w Instytucie Nauk o Ziemi. Na wydziale kształci się w zakresie rozwiązywania problemów środowiskowych z wykorzystaniem nowoczesnych technologii. Uniwersytet Śląski jest liderem badań nad wczesnym ostrzeganiem przed powodziami i osuwiskami.

Dzięki projektowi NCBR Innotech „Nowe narzędzie do detekcji aktywnych stoków osuwiskowych" opatentowano metodę oceny aktywności osuwiskowej. Kierownikiem projektu był prof. I. Malik, pełniący również funkcję kierownika w projekcie Interreg. W ostatnich latach Uniwersytet Śląski opublikował ponad tysiąc prac dotyczących problemów środowiskowych w renomowanych czasopismach naukowych. Kształcenie na Uniwersytecie Śląskim opiera się na nowoczesnych technologiach środowiskowych, co znajduje również pozytywny oddźwięk w Polskiej Komisji Akredytacyjnej (PKA).

Partner projektu – UNIWERSYTET ŻYLIŃSKI W ŻYLINIE, WYDZIAŁ BUDOWNICTWA

Misją Uniwersytetu Żylińskiego w Żylinie (UNIZA) jest rozwój oparty na działalności naukowo-badawczej i artystycznej, w duchu tradycji narodowych i demokratycznych, rozwój harmonijnej osobowości, wiedzy, mądrości, dobra i kreatywności oraz wkład w rozwój edukacji, nauki i kultury dla dobra całego społeczeństwa. UNIZA kształci przede wszystkim w dziedzinach transportu, budownictwa drogowego, inżynierii transportu i budownictwa, elektrotechniki, telekomunikacji, technologii ICT, zarządzania i marketingu, inżynierii mechanicznej, materiałów i technologii, robotyki, konstrukcji maszyn, energetyki, budownictwa, zarządzania kryzysowego i bezpieczeństwa, ochrony cywilnej, ochrony przeciwpożarowej, inżynierii sądowej, matematyki stosowanej, nauk pedagogicznych i biologii wysokogórskiej.

Uniwersytet Żyliński posiada kompetencje technologiczne dotyczące m.in. innowacyjnych czujników drgań i ruchów gruntu, przydatnych we wczesnym wykrywaniu aktywności osuwisk. Projekt umożliwia ich transgraniczny transfer ze Słowacji do Polski. Polski partner posiada z kolei kompetencje technologiczne i dydaktyczne mniej dostępne stronie słowackiej, które również są przekazywane w trakcie projektu. Wspólne działanie jest niezbędne do realizacji projektu.

CEL PROJEKTU

W ostatnich dziesięcioleciach obserwujemy przejawy szybkich zmian warunków klimatycznych na Ziemi, czego dowodem są częste katastrofalne zdarzenia w postaci powodzi, osuwisk, spływów kamienno-gruzowych, osuwisk oraz awarii ekologicznych.

Celem projektu było wspieranie adaptacji do zmian klimatu, zapobiegania ryzyku katastrof i zwiększania odporności z uwzględnieniem podejścia ekosystemowego, z wykorzystaniem najnowocześniejszych dostępnych metod i technologii. Główną misją było upowszechnianie świadomości i nauka zapobiegania dużym stratom

ekonomicznym.

Przykłady negatywnych zdarzeń w ostatnich latach

- Niszczący spływ kamienno-gruzowy w Małej Fatrze, w Dolinie Vrátna na Pasekach w 2014 r., oraz rozległe osuwiska w kraju żylińskim, preszowskim i koszyckim w 2016 r. (Nižná Myšľa, V. Kapušany).
- Skutki niszczącego tornada klasy F3 i F4 odczuli mieszkańcy kraju południowomorawskiego w czerwcu 2022 r. w miejscowościach Moravská Nová Ves, Mikulčice, Hrušky i Lužice, gdzie doszło do zniszczenia domów, a śmierć poniosło 20 osób.
- Kolejnym przykładem niszczącej siły powodzi jest lipiec 2022 r., kiedy w Europie Zachodniej silne burze z intensywnymi opadami spowodowały rozległe powodzie w dolinach rzecznych, osuwiska i zapadliska erozyjne. Dotknięte zostały Nadrenia-Palatynat i Nadrenia Północna-Westfalia oraz wschodnie obszary Belgii. Straty materialne były największe od II wojny światowej, a zginęło 200 osób (164 w Niemczech i 36 w Belgii).
- Niszczące powodzie w maju 2023 r. w regionie Emilia-Romania, powodujące ogromne straty materialne.
- Ogromne straty materialne i ofiary śmiertelne odnotowano w październiku 2024 r. w Walencji, regionie Kastylia-La Mancha i Maladze – łącznie 220 ofiar; w 2025 r. powodzie powtórzyły się w Barcelonie i okolicy.

WSKAŹNIKI PRODUKTU W PROJEKCIE

- Wskaźnik 1: liczba przeprowadzonych kampanii informacyjno-edukacyjnych kształtujących świadomość ekologiczną – 8.
- Wskaźnik 2: wspólnie opracowane strategie i plany działań – 14.
- Wskaźnik 3: wspólnie opracowane działania pilotażowe realizowane w ramach projektów – 62.

STREFA WSPACIA W PROJEKCIE

- Na Słowacji: kraj żyliński, kraj preszowski oraz powiat Spišská Nová Ves.

- Po stronie polskiej: **woj. śląskie:** pszczyński, cieszyński, bielski, Bielsko-Biała, żywiecki; **woj. małopolskie:** olkuski, chrzanowski, oświęcimski, wadowicki, suski, myślenicki, tatrzański, nowotarski, limanowski, nowosądecki, Nowy Sącz, gorlicki

woj. podkarpackie: bieszczadzki, leski, sanocki, brzozowski, krośnieński, Krosno, jasielski, rzeszowski, Rzeszów, przeworski, przemyski, Przemyśl, jarosławski, lubaczowski.

REALIZACJA PROJEKTU

Realizacja działań w poszczególnych zadaniach projektu:

- Działania edukacyjne i promocyjne (szkolenia oraz konferencja końcowa).
- Zakup wyposażenia do analiz terenowych i laboratoryjnych.
- Analiza standardowych i nowoczesnych metod zapobiegania klęskom żywiołowym na obszarze wsparcia.
- Opracowanie instrukcji, materiałów szkoleniowych i mapy do wdrażania nowoczesnych metod zapobiegania i ograniczania skutków osuwisk, powodzi i zanieczyszczeń.
- Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i ograniczania skutków klęsk żywiołowych na obszarze wsparcia.
- Komunikacja w projekcie (strona internetowa, drukowane materiały promocyjne).

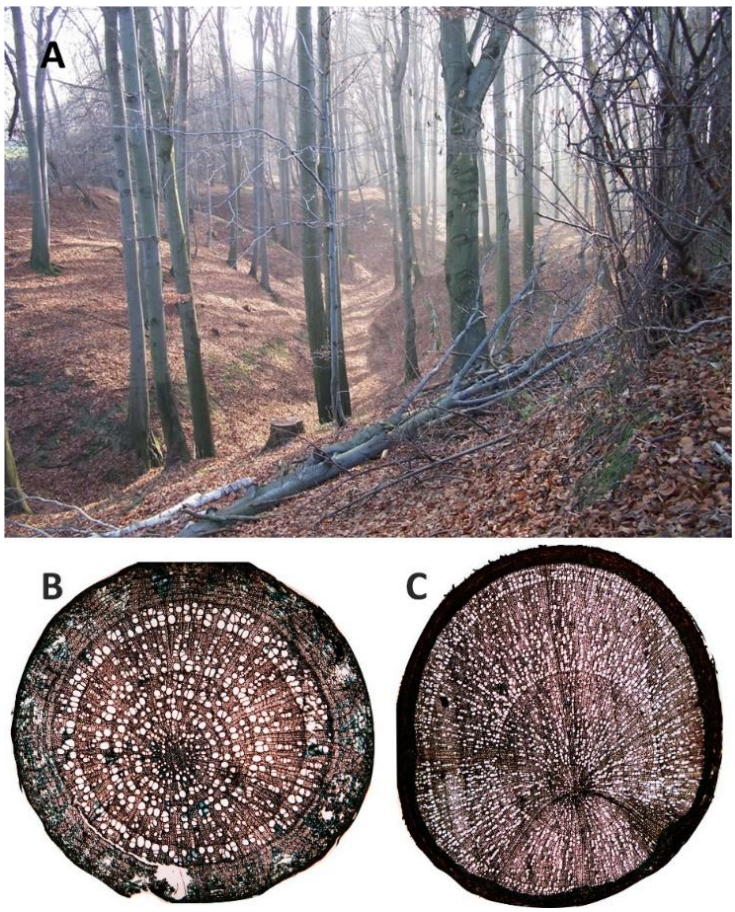
Pierwszy etap realizacji projektu

Pierwsza część realizacji projektu obejmowała przygotowanie działań oraz zakup niezbędnego wyposażenia do zastosowania innowacyjnych technologii. Równocześnie odbywały się wzajemne szkolenia partnerów projektu w celu przekazania unikalnej wiedzy o geozagrożeniach, powodziach i zagrożeniach związanych z zanieczyszczeniem środowiska.

Transgraniczny przepływ wiedzy eksperckiej obejmował technologie wcześniej opracowane przez partnerów, chronione know-how i patentami. Technologie te dotyczyły zagrożeń środowiskowych. Strona polska przekazała UNIZA technologie [1] służące analizie częstotliwości osuwisk i ochronie przeciwpowodziowej, a także

wykrywaniu zanieczyszczeń metodami dendrochronologicznymi (patent Urzędu Patentowego RP nr P.408158; współautorem patentu jest kierownik projektu prof. Ireneusz Malik) [2]. Polski partner uzyskał od UNIZA know-how dotyczące bardzo czułego mobilnego monitoringu mikrowstrząsów, ruchów sejsmicznych i propagacji drgań pochodzących od transportu oraz działalności przemysłowej i górniczej (sejsmiczność techniczna).

W ramach oceny pomiarów i ich wykorzystania w dalszych analizach partner słowacki zaprezentował zaawansowane modelowanie numeryczne zagadnień geotechnicznych z wykorzystaniem oprogramowania Plaxis 3D, Plaxis 3D Dynamics i Midas GTS. Drgania monitorowano czujnikami i jednostką rejestrującą firmy Brüel & Kjær. Partner słowacki przedstawił również zaawansowane pomiary laboratoryjne prowadzone w aparacie trójosiowego ścinania oraz w wielkogabarytowym aparacie ścinającym.



Rys. 3. Przekroje korzeni drzew dokumentujące erozję fluwialną – przykład badań dendrochronologicznych.

Wyniki analiz standardowych i nowoczesnych metod zapobiegania klęskom żywiołowym na obszarze wsparcia

- Analiza 3.1 – Standardowe metody przeciwdziałania skutkom osuwisk na obszarze wsparcia.
- Analiza 3.2 – Standardowe metody zapobiegania powodziom na obszarze wsparcia.
- Analiza 3.4 – Możliwość wykorzystania nowoczesnych metod zapobiegania skutkom osuwisk na obszarze wsparcia.

- Analiza 3.5 – Możliwość wykorzystania nowoczesnych metod prewencji przeciwpowodziowej na obszarze wsparcia.
- Analiza 3.6 – Możliwość wykorzystania nowoczesnych metod zapobiegania skutkom zanieczyszczenia powietrza na obszarze wsparcia.
- Analiza 3.7 – Analiza metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych dostępnych poza obszarem wsparcia.

TREŚĆ POSZCZEGÓLNYCH ANALIZ – W SKRÓCIE

Analiza 3.1. Standardowe metody przeciwdziałania skutkom osuwisk na obszarze wsparcia

Działalność powiatów w zakresie zapobiegania osuwiskom bardzo często ogranicza się do przestrzegania przepisów prawa, zarówno w Polsce jak i na Słowacji. Do najważniejszych aktów prawnych dotyczących osuwisk w Polsce należą:

- Ustawa nr 569/2007 z 25 października 2007 r. – ustawa o pracach geologicznych – reguluje prowadzenie prac geologicznych, ewidencję informacji geologicznych, ochronę złóż wyłącznych oraz kompetencje organów państwa w tym zakresie.
- Ustawa nr 220/2004 z 10 marca 2004 r. o ochronie i użytkowaniu gruntów rolnych oraz zmianie ustawy nr 245/2003 o zintegrowanym zapobieganiu i kontroli zanieczyszczeń środowiska – określa obowiązki właścicieli i użytkowników gruntów w zakresie zapobiegania erozji wodnej i wietrznej, m.in. przez właściwe gospodarowanie, utrzymanie trwałej pokrywy roślinnej, oszczędną uprawę i inne działania chroniące glebę przed degradacją i utratą żyzności.
- Ustawa nr 543/2002 z 25 czerwca 2002 r. o ochronie przyrody i krajobrazu – stanowi, że przy użytkowaniu terenu należy zachowywać stabilność ekologiczną krajobrazu i zapobiegać działaniom mogącym powodować uszkodzenie środowiska przyrodniczego, w tym naruszenie stoków i powstawanie osuwisk. W praktyce oznacza to, że organy ochrony przyrody mogą ograniczać lub zakazywać działań (np. wycinki, robót budowlanych, eksploatacji), które pogarszałyby stabilność środowiska gruntowego i geologicznego, szczególnie na obszarach podatnych lub chronionych.

- Ustawa nr 17/1992 z 5 grudnia 1991 r. o środowisku – w odniesieniu do osuwisk i erozji nakłada obowiązek zapobiegania i usuwania szkodliwych skutków zjawisk naturalnych, w tym erozji gleby i osuwisk, oraz odpowiedzialność właścicieli i użytkowników gruntów za ochronę gleby przed degradacją i zapewnienie działań przeciwerozyjnych.
- Ustawa nr 200 z 27 kwietnia 2022 r. o planowaniu przestrzennym – w kontekście osuwisk i erozji reguluje ochronę naturalnych elementów krajobrazu, w tym utworów geologicznych i form geomorfologicznych, oraz obowiązek zachowania stabilności stoków i zapobiegania erozji podczas ingerencji w krajobraz.
- Ustawa nr 25/2025 z 5 lutego 2025 r. – Prawo budowlane – reguluje warunki wprowadzania wyrobów budowlanych do obrotu oraz wymagania dotyczące ich parametrów, w tym właściwości mechanicznych i trwałości. W kontekście osuwisk określa to wymagania dla materiałów i wyrobów stosowanych w konstrukcjach stabilizacyjnych, murach oporowych, gabionach i innych elementach technicznych zabezpieczających stoki.
- Ustawa nr 364/2004 z 13 maja 2004 r. – Prawo wodne – z punktu widzenia osuwisk i erozji reguluje ochronę przed powodziami i innymi szkodliwymi skutkami działania wód, w tym działania chroniące brzegi i stoki przed erozją oraz późniejszymi osuwiskami, a także obowiązki w gospodarowaniu wodami w celu zapobiegania erozji i niestabilności brzegów cieków.

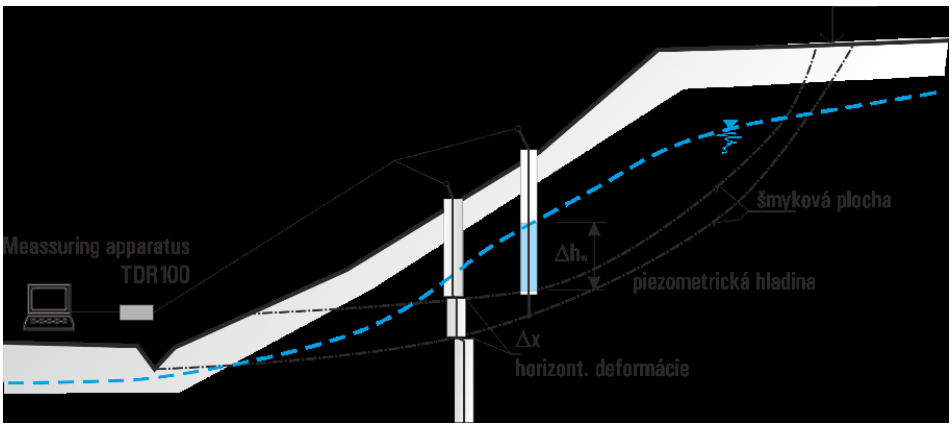
Czynnikiem ograniczającym zastosowanie poszczególnych metod na obszarze wsparcia są środki finansowe przeznaczone na ochronę przed osuwiskami. Kolejnym ograniczeniem jest wiedza o możliwościach i technikach stosowania poszczególnych metod. Nie we wszystkich jednostkach samorządu personel posiada szeroką wiedzę o osuwiskach, ich powstawaniu oraz metodach zapobiegania ich skutkom. Istnieje potrzeba kształcenia pracowników samorządowych w tym zakresie. Przedstawiona analiza ma w pewnym stopniu wypełnić tę lukę.

Standardowe metody zapobiegania skutkom osuwisk

- Mapowanie obszarów osuwiskowych w celu udostępnienia mieszkańcom i inwestorom informacji o położeniu osuwisk. Obecnie możliwy jest również satelitarny monitoring powierzchni terenu dzięki europejskiej platformie

Sentinel-1 i interferometrii radarowej PS-InSAR (Persistent Scatterer InSAR). Monitoring satelitarny jest bardzo efektywny, lecz jego czułość może zmieniać się sezonowo (śnieg na powierzchni, opady). Szczególne znaczenie ma w monitorowaniu obszarów zurbanizowanych i korytarzy transportowych. Interferometria radarowa przyczynia się do ograniczania kosztów badań przez zmniejszenie liczby pomiarów terenowych i obecnie stanowi kluczowy element zintegrowanych systemów monitorowania ryzyka osuwiskowego.

- Monitoring geodezyjny wybranych osuwisk – prowadzony automatycznie lub etapowo, zależnie od aktywności osuwiska, umożliwia przestrzenne wyznaczenie aktywności osuwiskowej i jej zmian w czasie.
- Monitoring osuwisk z wykorzystaniem inklinometrów w Polsce i na Słowacji – w miejscach z aktywnymi przejawami deformacji stoków lub wysokim ryzykiem osuwiskowym mierzy się deformacje podpowierzchniowe za pomocą wbudowanych w grunt inklinometrów. Stosowane są różne typy urządzeń o różnej dokładności (klasyczne mechaniczne, TDR, MEMS, FBG itd.). Ich zadaniem jest wczesne ostrzeganie przed ruchami w strefach tworzących się powierzchni poślizgu, aby umożliwić natychmiastowe działania stabilizacyjne lub ograniczające skutki osuwania. Ma to duże znaczenie dla wykrycia pierwszych oznak niestabilności, niewidocznych jeszcze na powierzchni [3, 4].



Rys. 4. Przykład pomiaru deformacji stoku technologią TDR [5].

- Techniczne metody stabilizacji osuwisk w Polsce i na Słowacji są stosowane zależnie od przydatności i skuteczności w danych warunkach oraz od dostępności. Zestawienie możliwości stabilizacji przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Metody technicznej stabilizacji stoków, Drusa i in. [5]

Modyfikacja kształtu stoku	Odwodnienie	Ochrona przed wietrzeniem i erozją	Wzmacnianie górotworu	Pozostałe działania i konstrukcje stabilizujące
Odciążenie: • usunięcie warstw ze stoku • z aktywnej strefy Dociążenie: • ławy dociążające • przypory kamienne • zmniejszenie nachylenia • przemieszczeni	Powierzchniowe: • rowy • koryta • żłoby • drenaże Głębokie: • żebra drenażowe • szyby, studnie • sztolnie • otwory subhoryzontalne • ściany żwirowe • pale piaskowe	Ochrona biologiczna: • humusowanie • pokrywa roślinna • nasadzenia drzew Inne: • uszczelnianie szczelin i pęknięć • płaszcze z torkretu • mury	Metody: • termiczne • elektrochemiczne • pale wapienne • iniekcja Stabilizacja gruntów: • mechaniczna: zagęszczanie, konsolidacja dynamiczna • chemiczna: wapnem, cementem,	• mury oporowe i przyporowe • złożone mury oporowe • ściany mikropalowe • ściany palowe • ściany prefabrykowane • ściany podziemne • kotwienie powierzchniowe • ściany

e mas do strefy pasywnej	• geodreny • geokompozyty filtracyjne • dreny syfonowe	okładzinowe • umacnianie brzegów • falochrony • warstwy żwirowo-piaskowe	bitumem, polimerami	kotwione i żebra • stoki gwoździowane • podmurowania i podchwycenia nawisów • rozluźnianie powierzchni poślizgu • galerie • strome stoki z gruntu zbrojonego



Rys. 5. Przykład ochrony stoku przed osuwiskiem z wykorzystaniem stabilizujących konstrukcji stalowych Šidlo-X.



Rys. 6. Przykład stabilizacji skarpy wykopu autostrady D3 za pomocą kotwienia z elementami wypełniającymi Krismer.

Analiza 3.2. Standardowe metody zapobiegania powodziom na obszarze wsparcia

Powodzie powodują jedne z największych strat spośród zdarzeń nadzwyczajnych występujących w naszych krajach. Za ochronę przed powodzią odpowiada administracja państwowa oraz wszystkie szczeble samorządu terytorialnego. Ochronę przeciwpowodziową regulują przepisy i strategie, których celem jest ograniczanie skutków powodzi.

Najważniejsze akty prawne i dokumenty dotyczące tej problematyki na Słowacji

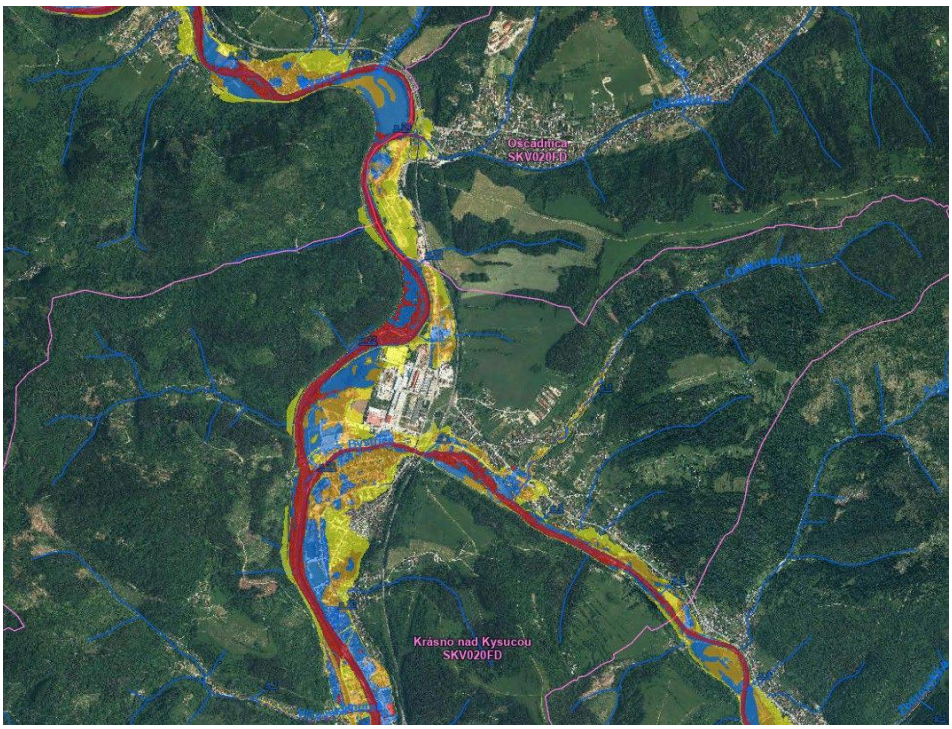
- Ustawa nr 364/2004 z 13 maja 2004 r. – Prawo wodne – reguluje ochronę przed powodziami poprzez wyznaczanie obszarów powodziowych i stref zalewowych, przygotowywanie planów powodziowych oraz określanie obowiązków związanych z ochroną przed powodzią i realizacją działań przeciwpowodziowych.
- Ustawa nr 17/1992 z 5 grudnia 1991 r. o środowisku – określa ogólne zasady ochrony środowiska, w tym zapobiegania ryzykom środowiskowym i obowiązek podejmowania działań prewencyjnych wobec negatywnego oddziaływania powodzi na środowisko i zdrowie ludzi.
- Ustawa nr 302/2001 z 4 lipca 2001 r. o samorządzie wyższych jednostek terytorialnych – określa status, kompetencje i organy krajów samorządowych, powierzając im zadania w zakresie rozwoju regionalnego, środowiska, ochrony ludności i koordynacji działań ratowniczych w sytuacjach nadzwyczajnych, w tym podczas powodzi.
- Ustawa nr 387/2002 z 21 czerwca 2002 r. o zarządzaniu państwem w sytuacjach kryzysowych poza czasem wojny i stanu wojennego – reguluje system kierowania i koordynacji działań w sytuacjach kryzysowych, w tym podczas powodzi i klęsk żywiołowych, określa kompetencje organów państwa, samorządu i Centralnego Sztabu Kryzysowego oraz definiuje tryby sytuacji kryzysowych, w tym ogłoszenie stanu nadzwyczajnego.
- Ustawa nr 200 z 27 kwietnia 2022 r. o planowaniu przestrzennym – reguluje przestrzenne zagospodarowanie i funkcjonalne wykorzystanie terenu, wymagając przy planowaniu uwzględnienia zagrożeń naturalnych, w tym zagrożenia powodziowego, ochrony zabudowy przed powodziami oraz respektowania obszarów zalewowych i ochrony przeciwpowodziowej.

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2007/60/WE z 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim – ustanawia jednolite ramy oceny i zarządzania ryzykiem powodziowym w UE, wymaga opracowania wstępnej oceny ryzyka powodziowego, map zagrożenia i ryzyka powodziowego oraz planów zarządzania ryzykiem powodziowym w celu ograniczenia negatywnych skutków powodzi dla zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej.

Na Słowacji, według Ministerstwa Środowiska Republiki Słowackiej, niemal 3000 km cieków wodnych zostało wskazanych jako odcinki potencjalnie zagrożone powodzią. Skuteczne zarządzanie ryzykiem powodziowym wymaga współpracy różnych instytucji, takich jak administracja państwowa, organy lokalne i organizacje pozarządowe. Wymaga także wiedzy o sposobach ograniczania negatywnych skutków zdarzeń ekstremalnych, do których należą powodzie. Celem tego opracowania jest przekazanie części informacji o metodach pomagających chronić ludzi i mienie przed szkodliwymi skutkami powodzi. Wiedza ta może być użyteczna dla przedstawicieli samorządu oraz mieszkańców miast, gmin i powiatów żyjących na terenach zagrożonych.

Metody zapobiegania powodziom stosowane na obszarze wsparcia projektu

- Mapowanie obszarów zagrożonych powodzią – mapy ryzyka powodziowego (MRP), generowane w systemach informacji przestrzennej, przedstawiają potencjalne straty powodziowe oraz obiekty zagrożone zalaniem przy wystąpieniu powodzi o określonym prawdopodobieństwie.
- Techniczne metody ograniczania negatywnych skutków powodzi – ochrona pasywna obejmuje m.in. regulację koryta rzeki z wykorzystaniem budowli hydrotechnicznych (np. wałów podłużnych i poprzecznych, progów, jazów, stopni wodnych i umocnień brzegów) oraz budowę wałów przeciwpowodziowych.
- Duże obiekty infrastrukturalne ochrony przeciwpowodziowej – budowa zbiorników retencyjnych i zapór o wysokiej zdolności zatrzymywania wody.
- Monitoring powodziowy (meteorologiczny i hydrologiczny) – służący doskonaleniu map powodziowych i ocenie skuteczności działań przeciwpowodziowych.



Rys. 7. Przykład mapy wygenerowanej w systemie informacji przestrzennej dla obszaru Krásna nad Kysucou i Oščadnica, przedstawiającej zagrożenie powodziowe (https://mpt.svp.sk).

Analiza 3.4. Możliwość wykorzystania nowoczesnych metod zapobiegania skutkom osuwisk na obszarze wsparcia

Opracowanie oparto na materiałach dostępnych na uczelniach technicznych na Słowacji i w Polsce. Wyszukiwano i zestawiano informacje o zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań w analizie aktywności osuwiskowej i ocenie zagrożenia osuwiskami przy użyciu nowoczesnych metod. Wykorzystano także analizę internetową oraz publikacje naukowe.

Analizowano w szczególności publikacje dostępne w bazie Google Scholar. Uwzględniono prace z obszarów szczególnie podatnych na katastrofalne osuwiska z uwagi na budowę geologiczną, specyficzne typy opadów i aktywną sejsmiczność:

Tajwan, Chiny, Włochy i Nową Zelandię. W celu prawidłowego filtrowania informacji stosowano m.in. frazy: metoda ryzyka osuwiskowego, metoda zagrożenia osuwiskowego, ograniczanie skutków osuwisk, aktywność osuwiskowa.

METODA DENDROCHRONOLOGICZNA

Pnie drzew rosnących na osuwiskach są często pochylone lub wygięte wskutek przemieszczania się mas. Zewnętrznym deformacjom odpowiadają zmiany w anatomii drewna, np. ekscentryczność przyrostu. Każdy przyrost roczny wykazujący ekscentryczność, jak również towarzyszące drewno reakcyjne, dostarcza informacji o stresie środowiskowym oddziałującym na wzrost drzewa w danym roku. Przebieg aktywności osuwiskowej na terenach leśnych może być rejestrowany rok po roku, przez całe życie drzew. Jest to przewaga metody dendrochronologicznej nad innymi metodami analizy dynamiki osuwisk, co potwierdzają wcześniejsze zastosowania.

Ekscentryczność przyrostu oznacza tendencję drzewa do tworzenia szerszych przyrostów rocznych po jednej stronie pnia. Powstaje wtedy, gdy intensywność wzrostu na obwodzie pnia jest nierównomierna. Zjawisko wiąże się z mechanicznym obciążeniem przechylonego pnia; działanie grawitacji powoduje zwiększony przyrost po dolnej, ściskanej stronie pnia u drzew iglastych (np. świerka) oraz po górnej stronie pnia u drzew liściastych.



Rys. 8. Wykop przed budową autostrady D3 Hričovské Podhradie–Žilina; obecność deformacji stoku potwierdzają łukowato wygięte pnie drzew [5].

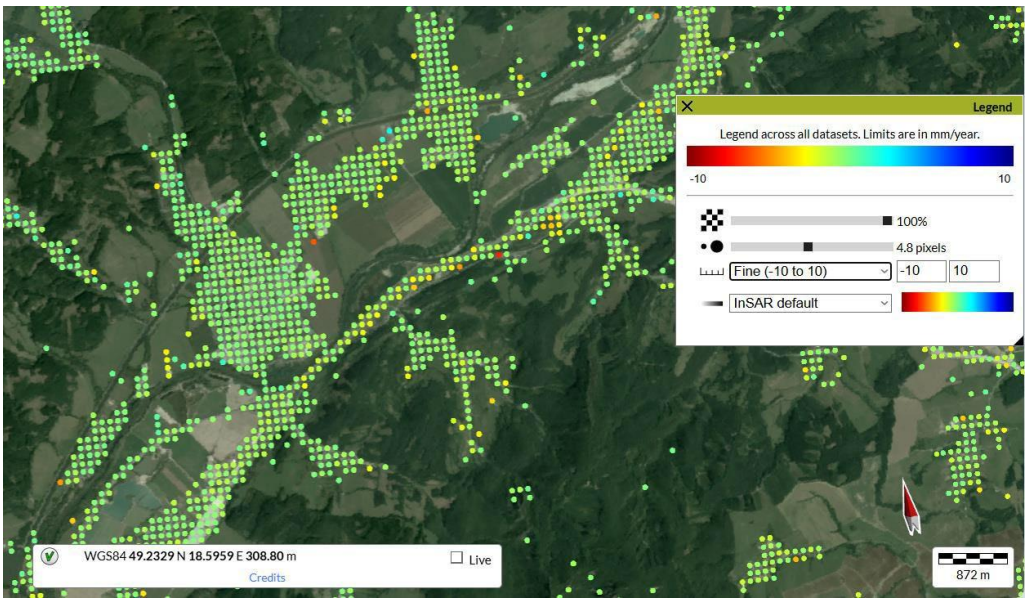
INTERFEROMETRIA RADAROWA

Obrazy radarowe zyskały znaczenie w satelitarnym teledetekcyjnym rozpoznaniu Ziemi pod koniec lat 70. XX wieku. Obrazy uzyskiwane za pomocą radaru z syntetyczną aperturą (SAR) są bardzo dobrym narzędziem do mapowania powierzchni Ziemi i dostarczają cennych informacji o jej właściwościach fizycznych, takich jak topografia czy morfologia. SAR wykorzystuje promieniowanie mikrofalowe, a satelity wyposażone w anteny SAR pracują na różnych długościach fal mikrofalowych. Częstotliwości mikrofalowe umożliwiają monitorowanie powierzchni Ziemi praktycznie w każdych warunkach pogodowych. SAR jest systemem aktywnym, działającym zarówno w dzień, jak i w nocy.

Satelitarna interferometria radarowa (InSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar) zyskała popularność w latach 80. XX wieku. Po wystrzeleniu satelity ERS-1 przez Europejską Agencję Kosmiczną w 1991 r. metoda zaczęła szybko się rozwijać. InSAR okazał się wyjątkowo skutecznym narzędziem do mapowania powierzchni Ziemi, lodowców, a nawet topograficznej struktury mórz.

Technika satelitarnej interferometrii radarowej jest stale rozwijana. Szczególnie popularna jest metoda PSInSAR (Permanent Scatterer Interferometry), opracowana m.in. w celu ograniczenia problemów związanych z geometryczną i czasową dekorelacją. PSInSAR wykorzystuje dużą liczbę zobrazowań, zmniejszając negatywny wpływ warunków atmosferycznych na jakość wyników. Jedną z jej najważniejszych zalet jest możliwość pomiaru przemieszczeń z dokładnością milimetrową.

Kluczową rolę odgrywają koherentne punkty odbicia – Permanent Scatterers (PS), widoczne na wszystkich analizowanych obrazach. Zwykle odpowiadają one budynkom, infrastrukturze komunikacyjnej i przemysłowej oraz naturalnym elementom powierzchni, np. odsłonięciom geologicznym. Wykorzystanie PS umożliwia wykonywanie pomiarów w konkretnych lokalizacjach. Gęstość punktów zależy od właściwości badanego obszaru: w terenach silnie zurbanizowanych może przekraczać 100 PS/km², podczas gdy na terenach rolniczych jest znacznie mniejsza.



Rys. 9. Przemieszczenia punktów w badanym obszarze do 10 mm zidentyfikowane za pomocą interferometrii radarowej na tle ortofotomapy – Bytča i okolice.

SKANOWANIE LASEROWE

Działanie skanera laserowego, znanego również jako LiDAR (Light Detection and Ranging – detekcja i pomiar światła), opiera się na precyzyjnym pomiarze odległości między urządzeniem a badanym obiektem. Proces polega na pomiarze czasu pomiędzy wysłaniem impulsu laserowego a jego powrotem do skanera po odbiciu od powierzchni. Znając prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych i zmierzony czas, można dokładnie obliczyć odległość obiektu od urządzenia. Skaner rejestruje także kąt, pod jakim wysyłana jest wiązka laserowa. Uzyskane dane – odległość i kąt odchylenia każdego impulsu – umożliwiają określenie współrzędnych przestrzennych XYZ punktów tworzących tzw. chmurę punktów w lokalnym układzie skanera. Metoda bardzo dobrze sprawdza się w szybkim mapowaniu nieregularnych stoków i form skalnych oraz konstrukcji infrastruktury transportowej. Nie jest odpowiednia do powierzchniowych pomiarów osuwisk pokrytych roślinnością ani podczas deszczowej pogody.



Rys. 10. Model 3D zamku Strečno i skały uzyskany za pomocą skanowania laserowego.

Analiza 3.5. Możliwość wykorzystania nowoczesnych metod prewencji przeciwpowodziowej na obszarze wsparcia

Współczesne możliwości teledetekcji oraz dostępność cyfrowego modelu rzeźby Słowacji stwarzają bardzo szerokie możliwości numerycznego modelowania stanów powodziowych przy opadach o różnym czasie trwania i intensywności.

MODELOWANIE HYDRAULICZNE I HYDROLOGICZNE

Modelowanie hydrauliczne koncentruje się na fizycznym przepływie wody w konkretnych strukturach, takich jak koryta rzeczne, kanały czy systemy kanalizacyjne, natomiast modelowanie hydrologiczne skupia się na procesach związanych z obiegiem wody w środowisku. Modelowanie hydrauliczne dotyczy zjawisk fizycznych związanych z mechaniką płynów. Przykładem jest analiza zachowania wody w korytach rzecznych i na terenach zalewowych. W ten sposób można określić rzędne zwierciadła wody, a także prędkości, głębokości i kierunki

przepływu.

Modelowanie hydrauliczne i hydrodynamiczne obejmuje nowoczesne techniki analityczne służące prognozowaniu przepływów w danym obszarze. Zaawansowane modele umożliwiają wykonywanie szczegółowych symulacji uwzględniających m.in. intensywność opadów, spływ powierzchniowy oraz skuteczność istniejącej infrastruktury odwodnieniowej.

Wyniki analiz umożliwiają identyfikację potencjalnych zagrożeń, takich jak obszary podatne na zalanie czy problemy z przepustowością sieci odwodnieniowej. Modelowanie hydrauliczne jest obecnie jedną z najczęściej stosowanych metod opracowywania map zagrożenia i ryzyka powodziowego.

Typy modeli hydraulicznych stosowanych w analizie stanów powodziowych:

- jednowymiarowe (1D),
- dwuwymiarowe (2D),
- hybrydowe / połączone (1D/2D, pseudo-2D),
- trójwymiarowe (3D).

Do najbardziej zaawansowanego modelowania 3D wykorzystuje się sprawdzone systemy programowe, np. FLOW-3D, ANSYS Fluent, TELEMAC-3D, OpenFOAM, a także własne systemy oparte na modelowaniu numerycznym z użyciem metod FEM, BEM, rozwiązań bezsiatkowych itp.

EKOLOGICZNE METODY OGRANICZANIA SKUTKÓW POWODZI – RETENCJA NATURALNA

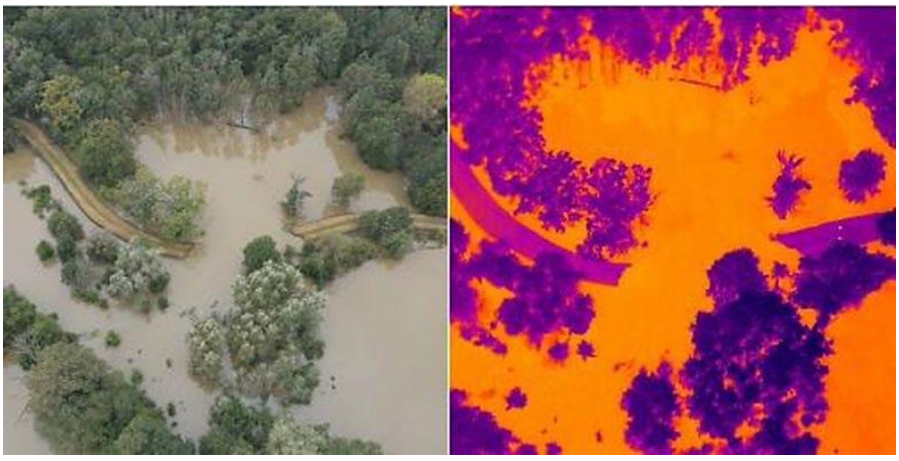
Do najskuteczniejszych metod przeciwdziałania skutkom powodzi należy retencja sztuczna, czyli czasowe zatrzymywanie nadmiaru wody i spłaszczanie fali powodziowej w zbiornikach zaporowych. Szczególnie efektywne są suche zbiorniki przeciwpowodziowe, których cała objętość jest przeznaczona na przejęcie fali powodziowej. Podobne zalety mają poldery w dolinach rzecznych. Jak jednak pokazały niedawne katastrofalne powodzie w dorzeczach Odry i Wisły, możliwości sztucznej, sterowanej retencji są ograniczone. Powodem jest niewielka pojemność

zbiorników w porównaniu z objętością fali powodziowej. Zmiany klimatu i wypłycanie zbiorników retencyjnych sprawiają, że zdolność łagodzenia kulminacji fali powodziowej, a tym samym obniżania poziomu wody na obszarach chronionych, wyraźnie się zmniejszyła i nadal maleje.

Rozwiązaniem w dużym stopniu uzupełniającym retencję sztuczną jest retencja naturalna – zatrzymywanie wody w glebie, roślinności, mokradłach, jeziorach i nieuregulowanych systemach rzecznych. Im większa jest powierzchnia takich elementów, tym większa zdolność zlewni do czasowego zatrzymania wody. Zjawisko to spowalnia obieg wody i poprawia bilans wodny zlewni.

WYKORZYSTANIE BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH

Bezzałogowy statek powietrzny (BSP, UAV), powszechnie nazywany dronem, jest nowoczesnym statkiem powietrznym niewymagającym załogi na pokładzie. Technologia ta szybko się rozwija, znajduje bardzo szerokie zastosowanie i jest szczególnie przydatna w mapowaniu obszarów trudno dostępnych, zarówno do badania osuwisk, powodzi jak i zanieczyszczenia powietrza.



Rys. 11. Obraz z drona wyposażonego w kamerę termowizyjną [6].

Analiza 3.7. Analiza metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych dostępnych poza obszarem wsparcia

Zarówno Słowacja, jak i Polska są narażone na szereg zagrożeń naturalnych, które są mapowane również poza obszarem wsparcia. Stosowane są zasadniczo te same metody co na obszarze wsparcia, lecz w szerszej skali i kontekście. Budowa aktywnych rozwiązań retencyjnych może wpływać na zachowanie cieku na całym jego dalszym biegu. Zalety retencji naturalnej w zlewniach:

- Niższe koszty ochrony przeciwpowodziowej – metody naturalne są tańsze w utrzymaniu niż infrastruktura hydrauliczna.
- Ograniczenie skutków powodzi i suszy – spowalnia odpływ, zmniejsza ryzyko nagłych fal wezbraniowych i zapewnia dostęp do wody w okresach suszy.
- Poprawa jakości środowiska – wspiera bioróżnorodność, zwiększa powierzchnię terenów zielonych i poprawia jakość wody.
- Zwiększenie atrakcyjności regionu – nowe tereny rekreacyjne, takie jak odtworzone mokradła i parki, mogą przyciągać turystów i inwestorów.
- Wsparcie polityki klimatycznej – retencja naturalna pomaga w adaptacji do zmian klimatu, co ma znaczenie w kontekście krajowych strategii oraz strategii UE.

LITERATURA I ŹRÓDŁA

1. Malik I., Wistuba M., 2018. Sposób określania aktywności osuwiskowej gruntów. Patent nr 229425 udzielony przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej na rzecz Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Zakres terytorialny ochrony patentowej: Polska.
2. Malik I., Wistuba M., Krąpiec M., 2023. Sposób identyfikacji ryzyka katastrofalnego osuwania. Patent nr 242514 udzielony przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej na rzecz Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach i Laboratorium Datowań Bezwzględnych Marek Krąpiec. Zakres terytorialny ochrony patentowej: Polska.
3. Allil, R. C., Lima, L. A., Allil, A. S., & Werneck, M. M. (2021). FBG-based inclinometer for landslide monitoring in tailings dams. IEEE Sensors Journal, 21(15), 16670–

16680.

4. Bednarczyk, Z. (2008). Metody instrumentacji i monitoringu powierzchniowych ruchów masowych na przykładzie wybranych osuwisk w Karpatach (Beskid Niski, Beskid Średni i Pogórze). Geologia / Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, 34(4), 721–732.
5. Drusa i in., Inżynierska geológia, BTO Print, 2012, ISBN 978-80-970248-5-7.
6. https://www.swiatdronow.pl/drony-a-powodz-na-poludni-polski-09-2024/

IDENTYFIKACJA WIZUALNA

Wersję polską opracowano w układzie zgodnym z zasadami programu Interreg Polska – Słowacja 2021–2027: logotyp programu umieszczono na początku dokumentu i w nagłówkach, zastosowano jasne tło oraz czytelny, jednolity układ tekstu. Wersja DOCX ma układ przepływowy, dzięki czemu tekst, ilustracje i logotypy pozostają osobnymi, edytowalnymi elementami dokumentu i nie powinny na siebie nachodzić.