

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

NÁVOD NA VYKONANIE TESTOVANIA RIZIKA ZOSUVOV

MODERNÝMI METÓDAMI

Technický popis analýzy

rizika zosuvov s využitím dendrochronologickej metódy

I. Pokyny umožňujúce posúdiť riziko

zosuvu pôdy s využitím dendrochronologickej metódy (krok za krokom)

Krok 1. Analýza porastu rastúceho na zosuvnom svahu z hľadiska možnosti odberu dendrochronologických vzoriek. Je potrebné skontrolovať priemer stromov v ich prsnom priemere (vo výške približne 1,3 m), aspoň 20 stromov rastúcich na zosuvnom svahu by malo mať priemer nad 20 cm. V prípade, že nie je splnená uvedená podmienka, nemala by sa používať dendrochronologická metóda. Na meranie priemeru stromov by sa mala použiť tzv. merka (obrázok 1).



Obrázok 1. Príklad meradla priemeru na meranie priemeru stromov

Krok 2. Ak je splnená podmienka opísaná v prvom kroku, je potrebné vybrať na odber vzoriek 20 stromov; stromy by nemali mať na kmeni poranenia ani jazvy dlhšie ako 10 cm. Takéto poranenia môžu spôsobiť

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

poruchy rastu stromov a tým aj deformáciu letokruhov, napr. vznik hlbokých redukcí po poranení. Na odber vzoriek by sa mali vybrať stromy naklonené v smere sklonu svahu (naklonené smerom k svahu alebo od svahu). Takéto stromy potenciálne zaznamenávajú zosuvné pohyby podložia (obrázok 2).

Krok 3. Výber referenčného svahu, t. j. svahu, na ktorom stromy rastú na stabilnom podloží (nezosúvajúcom sa), pokiaľ možno umiestneného čo najbližšie k zosuvovému svahu, ktorý je predmetom analýzy. Referenčný svah by sa nemal nachádzať ďalej ako 2 km od zosuvného svahu. Mal by byť porastený stromami toho istého druhu ako zosuvný svah. Mal by mať sklon podobný zosuvnému svahu (s rozdielom maximálne 10 stupňov).



Obrázok 2. Naklonené stromy rastúce na svahu so zosuvom pôdy

Krok 4. Pomocou Presslerovho vrtáka je potrebné odobrať 40 vrtných vzoriek z 20 stromov rastúcich na svahu so zosuvom pôdy (obrázok 3). Z každého z 20 stromov by sa mali odobrať dve vzorky. Obe v súlade so sklonom svahu. Pred odberom vzorky je potrebné označiť polohu stromu pomocou ručného GPS (určiť geografické súradnice). Prvá vzorka by mala byť odobratá zo strany smerom od svahu, druhá zo strany smerom k svahu. Vzorky sa majú odberať zo stromov tak, aby sa vrták zašrauboval do stromu do hĺbky presahujúcej polomer stromu približne o 5 cm. Počas odberu jadra je potrebné nasadiť na vrták rukoväť a po vykonaní vrtania vložiť do vrtáka lyžicu, následne vytiahnuť jadro von a zabezpečiť ho v pevnej krabíčke. Všetky 3 prvky: vrták, rukoväť a lyžica sú súčasťou Presslerovho vrtáka. Škatule na jadrá je potrebné očíslovať postupne od prvého odobratého vzorku po posledný vzorok č. 1, 2, 3... 40.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 3. Presslerov vrták na odber vzoriek z kmeňov stromov.

Krok 5. Presne rovnakým spôsobom ako na zosuvnom svahu je potrebné odobrať vzorky zo stromov na referenčnom svahu a rovnakým spôsobom označiť stromy pomocou ručného GPS a odobraté vzorky zabezpečiť v pevných škatuľkách.

Krok 6. Po preprave vzoriek do laboratória je potrebné jadrá nalepiť na vopred pripravené drevené dosky s drážkou tak, aby boli jadrá znehybnené. Pri lepení by sa mal použiť vodou rozpustný lepidlo typu Wikol (obrázok 4).



Obrázok 4. Príklad jadra vloženého do drevenej dosky

Krok 7. Ďalším krokom je brúsenie vzoriek pomocou oscilačnej brúsky a brúsnych papierov s rôznou zrnitosťou – najskôr 100, potom 250, 500 a nakoniec 1000. Pri použití každého z brúsnych papierov by sa mala vzorka vložená do podložky brúsiť 4 minúty. Pri každom novom vzore je potrebné vymeniť brúsny papier za nový. Vybrúsené vzory sú pripravené na vykonanie dendrochronologických meraní (obrázok 5).



Obrázok 5. Príklad vybrúseného jadra s viditeľnými hranicami ročných prírastkov

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

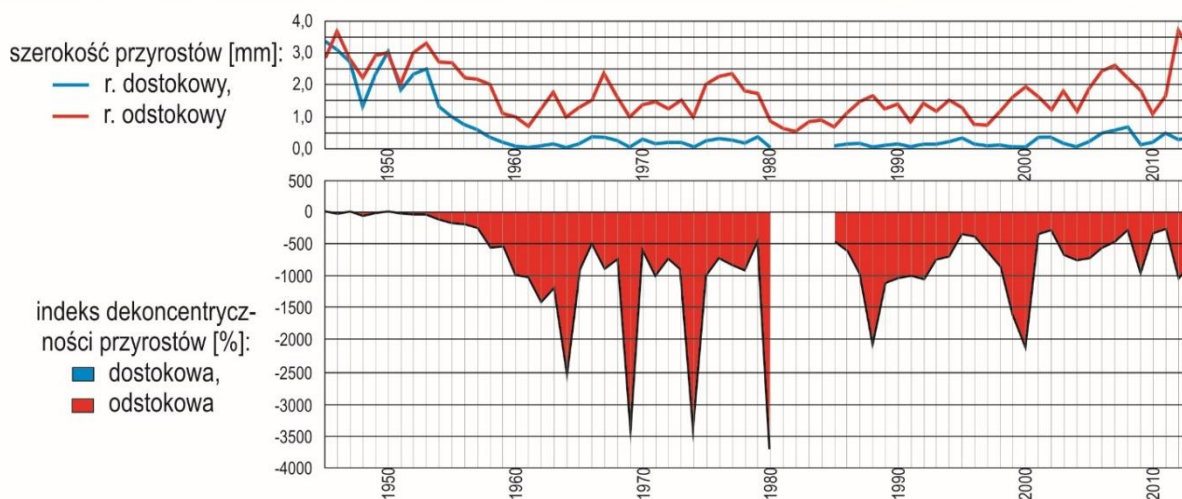
Krok 8. Po vybrúsení vzoriek je potrebné zmerať šírku ročných prírastkov pomocou prírastkomera (najlepšie s použitím meracej stanice LinTab so softvérom TSAPWin Professional 4.65, presnosť 0,01 mm), (Obrázok 6). Prírastky sa merajú od stredu jadra smerom von – smerom ku kôre. Počas merania sa jadro mechanicky posúva a zároveň sa drevo pozoruje cez binokulár. Kalibrovaný binokulár umožňuje určiť hranicu ročných prírastkov „kliknutím“ na hranici ukončujúcej prírastok (po posunutí). Týmto spôsobom vznikajú páry grafov variability ročných prírastkov pre každý strom (krivka odstupujúca a dosahujúca); (obrázok 7).



Obrázok 6. Prístroj LinTab na meranie šírky ročných prírastkov stromov

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



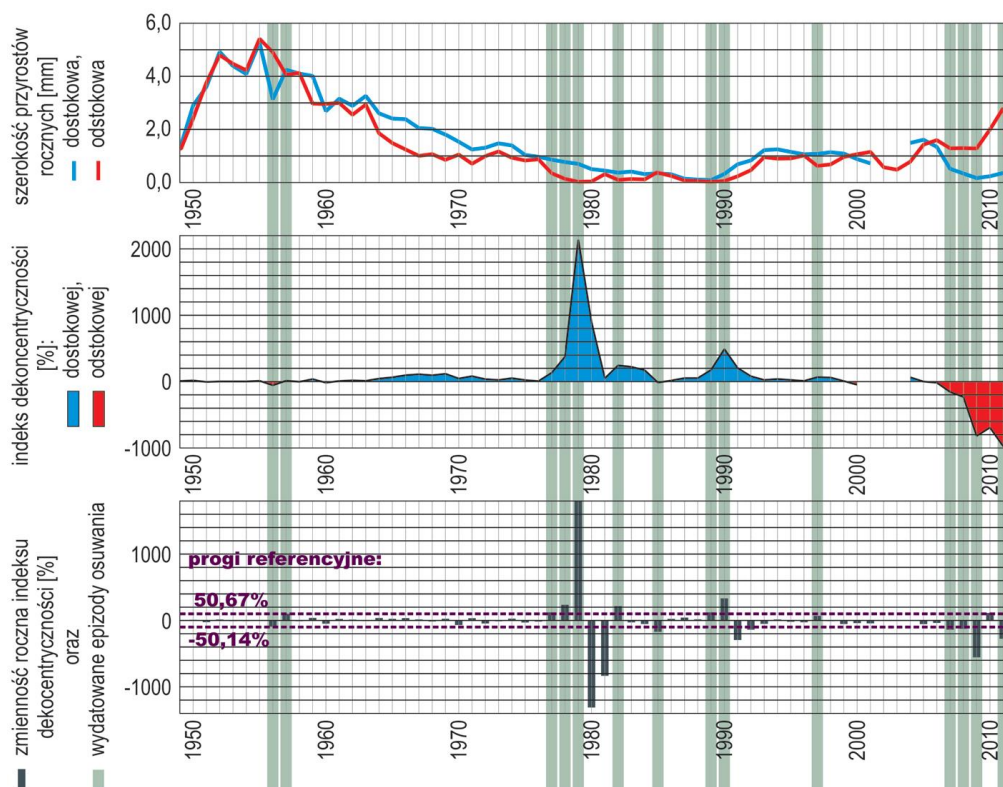
Obrázok 7. Graf znázorňujúci krivky ročného prírastku získané na základe meraní pomocou prírastkomera (horný obrázok) a vypočítaný index excentricity (spodný obrázok).

Krok 9.

Údaje pre jednotlivé stromy (získané na svahu so zosuvom aj na referenčnom svahu) sa porovnávajú a premenia na index excentricity a jeho ročnú variabilitu pomocou nasledujúcich vzorcov (obrázok 7, 8):

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 8. Príklad datovania posunu zaznamenaného v jednom kmeni smreka obyčajného: šírky letokruhov [mm] prepočítané na index dekoncentrácie [%], jeho ročná variabilita [%] a datovanie vykonané na základe referenčných prahov.

$$Ex = Ux - Dx;$$

ak $Ex > 0$: dekoncentrácia smerom k vrcholu; [1] $Eix = (Ex / Dx) \times 100 \% > 0$; [2a]

ak $Ex = 0$: žiadna dekoncentrácia; $Eix = Ex \text{ [mm]} = 0$; [2b]

ak $Ex < 0$: dekoncentrácia na strane odtoku; $Eix = (Ex / Ux) \times 100 \% < 0$; [2c]

$$vEix = Eix - Eix-1; [3]$$

kde: U – šírka ročného prírastku na strane prírastku kmeňa [mm];

D – šírka ročného prírastku na odtokovom boku kmeňa [mm];

E – dekoncentrácia ročného prírastku [mm];

Ei – index dekoncentrácie ročného prírastku [%];

vEi – ročná variabilita indexu [%];

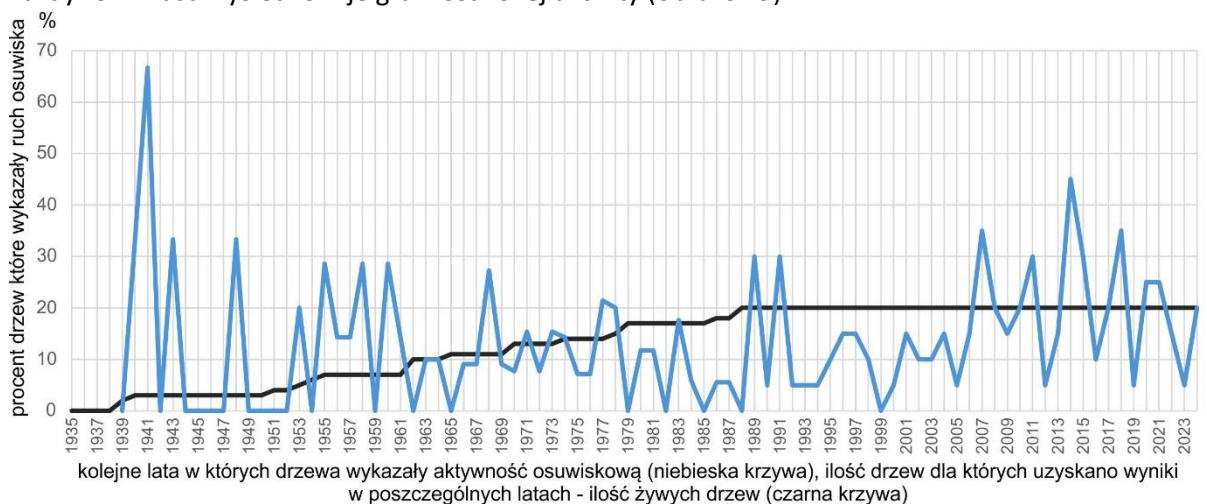
x – rok (ročný prírastok).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Krok 10. Datovanie epizód zosuvu svahu sa vykonáva na základe ukazovateľa ročnej variability indexu excentricity (vypočítaného v predchádzajúcom kroku) a prahových hodnôt variability indexu excentricity vypočítaných pre referenčné stanovisko. Prahové hodnoty sa získavajú zosúladením najvyšších hodnôt ukazovateľa ročnej variability indexu dekoncentrácie pre stromy odobraté na referenčnom svahu. Všetky hodnoty variability indexu dekoncentrácie pre stromy odobraté na zosuvnom svahu, ktoré prekračujú referenčné hodnoty, svedčia o zosuve svahu v danom roku (obrázok 8).

Krok 11. Ďalším krokom je vypracovanie súhrnného grafu znázorňujúceho percentuálny podiel alebo počet stromov, ktoré zaznamenávajú zosuvy v jednotlivých rokoch. Na vertikálnej osi sa vyznačí hodnota v percentách, na horizontálnej osi roky, a následne sa vypočíta percentuálna hodnota reakcie stromov pre každý rok zvlášť. Výsledkom je graf zosuvovej aktivity (obrázok 9).

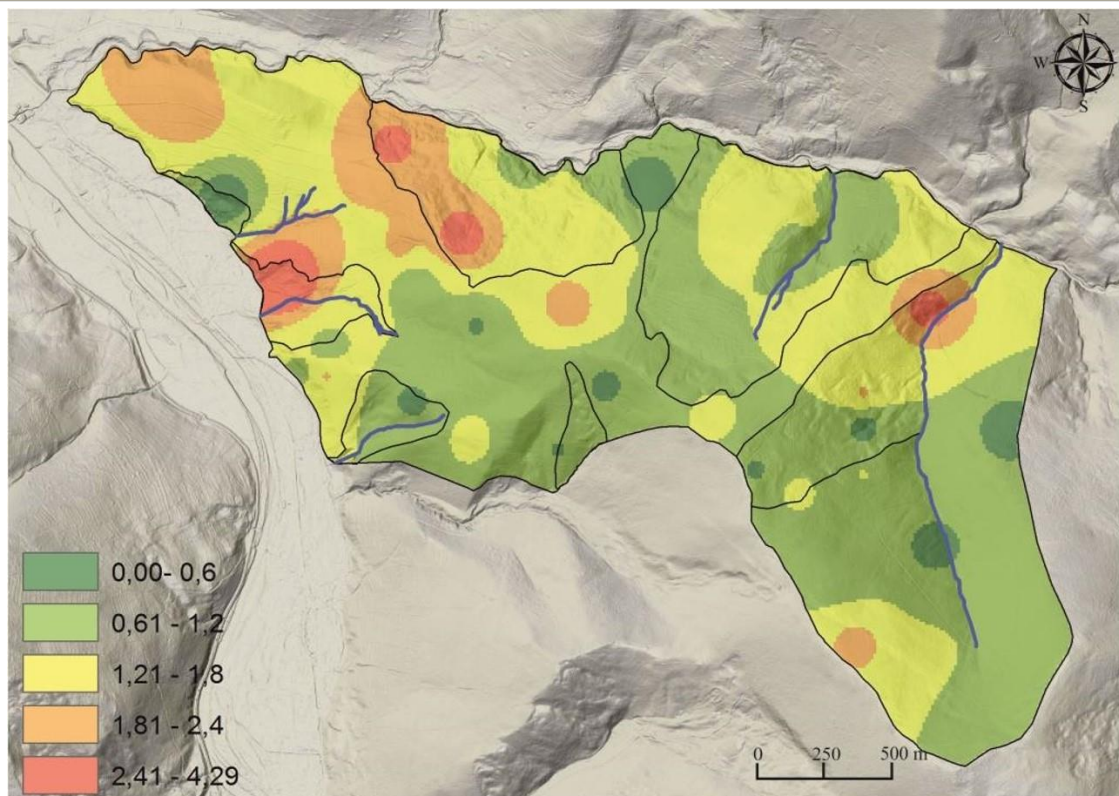


Obrázok 9. Graf znázorňujúci zmeny zosuvovej aktivity na skúmanom svahu v jednotlivých rokoch, identifikované dendrochronologickou metódou.

Krok 12. Poslednou fázou práce je znázornenie zosuvovej aktivity na mape. V ľubovoľnom grafickom programe sa vypracujú mapy zosuvovej aktivity a pomocou interpolácie získaných výsledkov sa znázorní priestorová variabilita zosuvov. Základom interpolácie je počet epizód za rok v jednotlivých rokoch, napr. počet zosuvných epizód za 10 rokov. Týmto spôsobom vzniká mapa zosuvného ohrozenia (obrázok 10).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 10. Mapa znázorňujúca priestorovú zosuvovú aktivitu a zosuvové ohrozenie v rôznych zónach zosuvu

I. Popis obmedzení a preferencií použitia opísanej dendrochronologickej metódy

Hlavnou výhodou dendrochronologickej metódy je, že umožňuje získať informácie o aktivite svahu na základe údajov z ročných prírastkov za obdobie niekoľkých desiatok či dokonca niekoľkých stoviek rokov dozadu. Žiadna iná tradičná metóda na zmerňovanie následkov zosuvov neposkytuje možnosť vyvodit' závery o zosuve na základe zaznamenaných údajov z niekoľkých desiatok či stoviek rokov. Treba poznamenať, že dlhé rady environmentálnych údajov umožňujú presnejšiu rekonštrukciu minulých zosuvov a predovšetkým umožňujú ich správnu predikciu. Všetky tradičné metódy na zmerňovanie následkov zosuvov využívajú dátové rady, ktoré sa získavajú až po inštalácii zariadenia v oblasti zosuvu. To výrazne spomaľuje proces získavania výsledkov týkajúcich sa aktivity zosuvu a zároveň ho robí menej presným. Použitie dendrochronologickej metódy je z hľadiska dĺžky získaných časových radov jedinečné.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Ďalšou výhodou dendrochronologickej metódy je možnosť identifikovať riziko katastrofálneho zosuvu. Analýzou rastu stromov pred zosuvnou katastrofou bol vypracovaný vzorec vývoja ročných prírastkov stromov pred zosuvnou katastrofou. Ak sa u stromov rastúcich na svahu objaví podobný vzorec, znamená to, že svah je v budúcnosti vystavený riziku rýchleho zosuvu, čo ho robí obzvlášť nebezpečným pre infraštruktúru nachádzajúcu sa v jeho blízkosti a pod ním. Ďalšou výhodou dendrochronologickej metódy je jej nízka cena v porovnaní s tradičnými metódami. Meranie sa dá vykonať za niekoľko tisíc zlotých, zatiaľ čo použitie napríklad inklinometrov predstavuje náklady v hodnote najmenej niekoľkých desiatok tisíc zlotých.

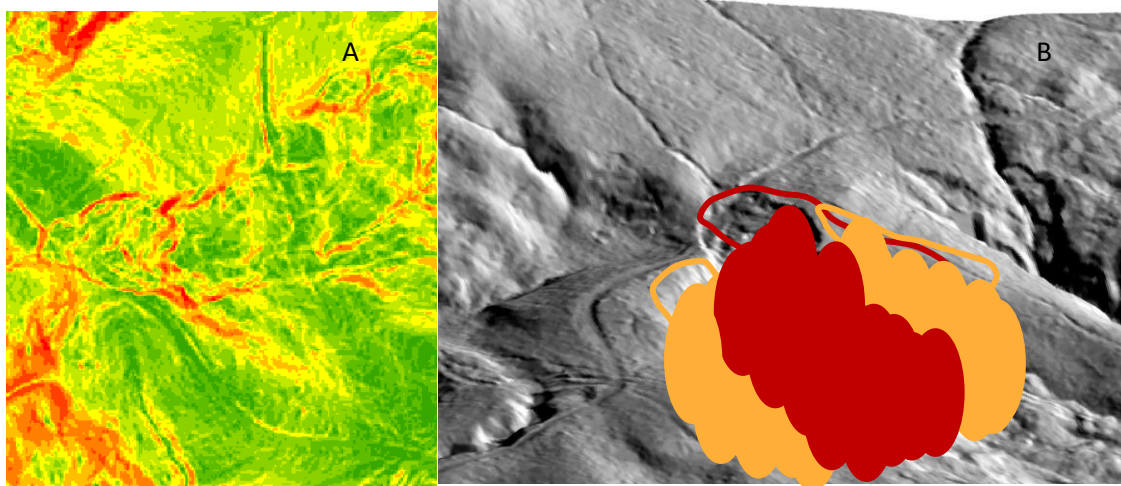
Medzi nevýhody dendrochronologickej metódy patrí jej relatívne nízke rozlíšenie. Výsledky o aktivite zosuvov sa získavajú s ročným rozlíšením, ktoré sa dosahuje spolu s tvorbou ďalších ročných prírastkov stromu. Zrejmovou nevýhodou tejto metódy je aj nemožnosť jej použitia na odlesnených územiach. Táto metóda patrí medzi povrchové metódy monitorovania zosuvov, čo ju robí menej presnou v porovnaní s hĺbkovými metódami.

II. Príklad použitia dendrochronologickej metódy na identifikáciu zosuvového rizika

Test bol vykonaný pre zosuv nachádzajúci sa v Podkarpatskom vojvodstve, v obci Strzyżów, v západnej časti povodia potoka Stobnica. Lesy porastajúce územie zosuvu sú v správe Lesného úradu Strzyżów. Oblasť, na ktorej sa výskum uskutočňoval, zahŕňa komplex zosuvov so zložitou geomorfologickou štruktúrou. Pri výskume bol použitý numerický model terénu s veľkosťou pixelu 1 m, interpolovaný z mraku bodov získaných počas leteckého laserového skenovania v rámci programu ISOK. Identifikácia zosuvných oblastí bola vykonaná v prostredí GIS softvéru, ktorý umožňuje získanie odvodených kartografických zobrazení na základe výškových údajov s vysokým rozlíšením. Pri identifikácii sa využili deriváty výškových údajov vo forme tieňových máp a máp sklonov generovaných v dvojrozmernom aj trojrozmernom pohľade na daný terén (obrázok 11). Na ich základe sa identifikoval priebeh zosuvných svahov, priebeh hraníc zosuvu, koluviál a vnútorná geomorfologická štruktúra zosuvu. Predpokladanú aktívnu zónu sme vymedzili na základe analýzy reliéfu terénu, t. j. výskytu výrazných, čerstvých hlavných a sekundárnych svahov a výrazných deformácií svahu. Táto zóna sa vyznačuje výskytom typických zosuvných foriem, t. j. svahov, prehĺbín a zosuvných prahov.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 11. Vizualizácia numerického modelu terénu vo forme mapy sklonov (A) v dvojrozmernom pohľade. Zelenou farbou sú označené oblasti so sklonom do 6°, žltou farbou sklon terénu od 6 do 18° a červenou farbou sklon terénu nad 18°. Vizualizácia výškových údajov vo forme tieňovej mapy (B) v 3D perspektívnom pohľade.

Na testovanom zosuve bolo odobratých 20 vzoriek z kmeňov stromov rastúcich v rámci zosuvu a v jeho bezprostrednom okolí. Z každého stromu boli odobraté dva jadrá (z hornej a dolnej časti) pomocou vrtáka Presslera (priemer 4 mm). Jadrá boli odobraté vo výške prsníka, v jednej osi zhodnej so sklonom svahu a so sklonom kmeňov stromov. Použitý postup odberu vzoriek umožnil získať údaje o šírke ročných prírastkov na stranách kmeňov stromov smerom k svahu a od neho. To zase umožnilo určiť roky, v ktorých došlo k zosuvným epizódam, na základe výpočtu indexu dekoncentrácie rastu stromov (Wistuba, M., Malik, I. 2011. Index dekoncentrácie ročných prírastkov stromov – nástroj na identifikáciu súčasných zosuvných pohybov). Všetky vzorky boli odobraté z jedle bielej (*Abies alba* Mill.). Na odber vzoriek boli vybrané stromy, ktoré boli najviac naklonené v súlade so sklonom svahu, nemali poškodenia kmeňov a, pokiaľ to bolo možné, nevykazovali stopy napadnutia hmyzom vo forme defoliácie, t. j. rednutia asimilačného aparátu. Stromy, z ktorých boli odobraté vzorky, mali jeden hlavný výhonok (obrázok 12).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 12. Charakteristické deformácie kmeňov stromov pozorované počas vykonávania výskumného testu.

Po preprave vzoriek do laboratória sa vykonali merania šírky ročných prírastkov (meracie stanica LinTab so softvérom TSAPWin Professional 4.65, presnosť 0,01 mm) na strane smerom k prúdu a proti prúdu. Údaje pre jednotlivé stromy boli porovnané a premenené na index excentricity ročných prírastkov a jeho ročnú variabilitu pomocou nasledujúcich vzorcov:

$$Ex = Ux - Dx;$$

ak $Ex > 0$: excentricita smerom k prírastkovej strane; [1] $Eix = (Ex / Dx) \times 100 \% > 0$; [2a]

ak $Ex = 0$: žiadna dekoncentrácia; $Eix = Ex \text{ [mm]} = 0$; [2b]

ak $Ex < 0$: dekoncentrácia na odtokovom boku; $Eix = (Ex / Ux) \times 100 \% < 0$; [2c]

$$vEix = Eix - Eix-1; [3]$$

kde: U – šírka ročného prírastku na strane kmeňa smerom k vrcholu [mm];

D – šírka ročného prírastku na strane kmeňa smerom od vrcholu [mm];

E – excentricita ročného prírastku [mm];

Ei – index excentricity ročného prírastku [%];

vEi – ročná variabilita indexu [%];

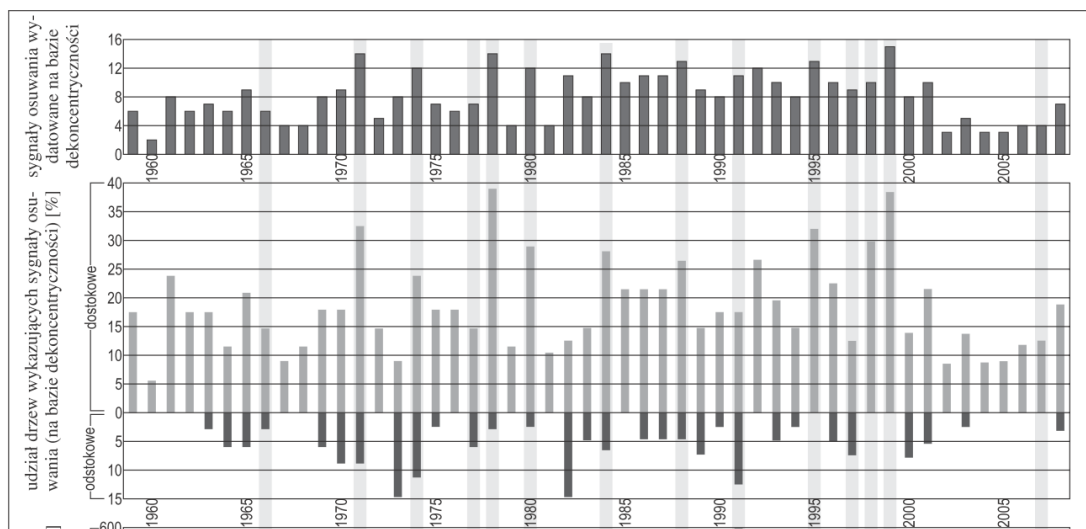
x – rok (ročný prírastok).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Datovanie epizód zosuvov svahu sa vykonalo na základe ukazovateľa ročnej variability indexu a prahových hodnôt variability vypočítaných pre referenčné miesto. Využili sa údaje z predchádzajúcich referenčných miest na základe vlastných pozorovaní (chýbajúce znaky zosuvov, chýbajúce deformácie kmeňov diagnostických stromov, ktoré by svedčili o pohybe podložja). Na ich základe bol svah považovaný za potenciálne stabilný. Na referenčnom svahu bolo podrobených skúškam 10 stromov. Vzorky boli odobraté a analyzované identickým spôsobom ako na zosuvnom svahu. Referenčné prahové hodnoty boli vypočítané ako súčty aritmetických priemerov a štandardných odchýlok pre všetky výsledky z 10 stromov. V skúmanom prípade sú: -50,14 % (pre epizódy odtoku) a 50,67 % (pre epizódy prítoku). Postup datovania zosuvu na základe ukazovateľov dekoncentrácie rastu a referenčných prahov je podrobne popísaný v publikácii: Wistuba, M., Malik, I. 2011. Index dekoncentrácie ročných prírastkov stromov – nástroj na identifikáciu súčasných zosuvných pohybov

Podarilo sa datovať a zosúladiť všetkých 20 odobratých jadier z 20 stromov. Radov ročných prírastkov na spodnej a hornej strane kmeňa (pre jednotlivé stromy) vykazovali veľkú zhodu, mali dobre viditeľné roky rozchádzania sa kriviek, čo naznačuje periodickú zosuvovú aktivitu viditeľnú ešte pred vykonaním výpočtov (obrázok 13).



Obrázok 13. Podiel stromov vykazujúcich excentrický rast v percentách, ktorý znázorňuje aktivitu skúmaného zosuvu

Datovanie zosuvných epizód získané pre skúmanú oblasť umožňuje objektívne určiť zosuvnú aktivitu od roku, v ktorom rástla polovica vzorkovaných stromov, t. j. od roku 1960. Analýza s využitím indexu dekoncentrickosti rastu stromov ukázala, že zosuv bol obzvlášť aktívny v rokoch: 1971, 1974, 1978, 1980, 1984, 1995 a 1999, pričom najväčšia aktivita svahu bola zaznamenaná v 90. rokoch 20. storočia (obrázok 13). Je však potrebné poznamenať, že stromy zaznamenávajú zosuvovú aktivitu niekedy s ročným oneskorením (ak k aktivite dochádza počas vegetačného obdobia alebo po ňom, napr. ak k zosuvovej

Polska – Słowacja

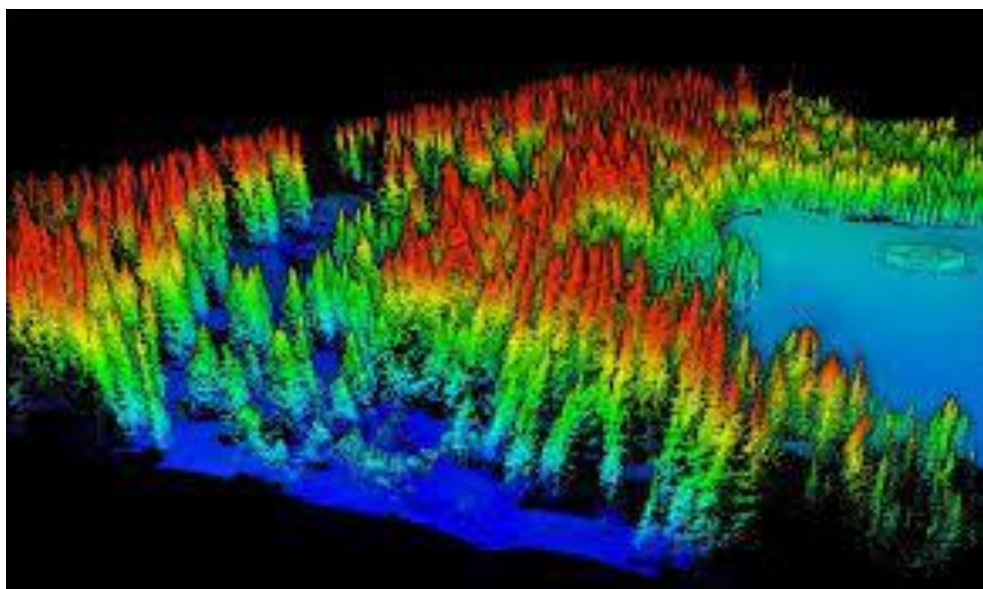
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

aktivite dochádza v letnom alebo jesennom období, stromy ju zaznamenávajú najčastejšie v nasledujúcom roku). Od roku 2000 zosuvová aktivita testovaného svahu klesá, čo znamená, že skúmaný svah v súčasnosti nepredstavuje ohrozenie pre budovy nachádzajúce sa na jeho úpätí.

Technický popis analýzy rizika zosuvov pôdy s využitím metódy laserového skenovania

1. Návod na posúdenie rizika zosuvov pôdy s využitím laserového skenovania (krok za krokom)

Krok 1. V prvej fáze je potrebné analyzovať dostupné mraky bodov/súbory priestorových údajov dostupné pre testovanú oblasť (obrázok 14). Na tento účel je potrebné skontrolovať zdroje dostupné v Geoportáli infraštruktúry priestorových informácií na stránke www.geoportal.gov.pl. V záložke „Dáta na stiahnutie“ je potrebné skontrolovať, koľko súborov údajov je k dispozícii pre danú oblasť a z akých časových období. Najčastejšie ich v zastavaných oblastiach môže byť niekoľko, zatiaľ čo v horských oblastiach, kde sa zosuvy vyskytujú najčastejšie, je mračien bodov zvyčajne menej. Odporúča sa stiahnuť všetky dostupné údaje pre testovanú oblasť.



Obrázok 14. Mrak bodov zahŕňajúci body odrazené od stromov aj od povrchu zeme.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Krok 2. V ďalšej fáze je potrebné rozhodnúť, či sa analýza zosuvového rizika vykoná na základe existujúcich údajov získaných z geoportálu, alebo na základe ďalšieho skenovania reliéfu terénu zobrazujúceho aktuálne tvarovanie povrchu. Vyplýva to zo skutočnosti, že analýza zosuvového rizika s využitím laserového skenovania sa môže vykonať v dvoch variantoch. Prvý spočíva vo využití existujúceho mraku bodov pochádzajúcich z predchádzajúceho letu LiDAR, druhou možnosťou je vykonanie letu s využitím dronu vybaveného laserovým skenerom, ktorý umožňuje detekciu reliéfu terénu (obrázok 15). Stojí tiež za zmienku, že jednorazové laserové skenovanie povrchu umožňuje iba identifikáciu hraníc a tvaru zosuvu, až porovnanie dvoch modelov terénu vytvorených pre ten istý zosuv, ale v inom čase, umožňuje odhadnúť riziko zosuvu.



Obrázok 15. Princíp fungovania laserového skenera; na obrázku je dron s kamerou LiDAR, lúč laserového žiarenia a skenovaná povrchová plocha terénu.

Krok 3. Na analýzu rizika zosuvov sa odporúča laserové skenovanie zo vzduchu, pretože sa dá vykonávať v horách, kde pozemný skener nie je príliš vhodný kvôli veľkému sklonu terénu. V prípade, že sa rozhodnete pre letecký prieskum a skenovanie reliéfu terénu, odporúča sa zapojiť externú firmu, ktorá má skúsenosti s používaním technológie LiDAR, prípadne si môžete prenajať zariadenie na skenovanie povrchu terénu. V prípade, že sa rozhodnete pre samostatné skenovanie reliéfu terénu, môžete napr. získať mrak bodov pomocou skenera full-waveform LMS-Q680i (obrázok 16). Odporúčaná hustota vzorkovania je 4 body na

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

štvorcový meter a presnosť merania výšky je v tom prípade 0,15 m. Trojrozmerný mrak bodov ALS môže byť spracovaný do súborov napr. v binárnom formáte LAS, kompatibilnom s najnovšou verziou 1.3 prijatou American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). Tento formát podporuje mnoho softvérových programov a uchováva všetky informácie priradené k bodom z ALS mraku, ako aj dodatočné údaje týkajúce sa kartografických transformácií a informácie o plnom signále. Okrem toho formát LAS umožňuje označiť príslušnosť každého bodu k príslušnej triede v súlade s definíciami ASPRS.

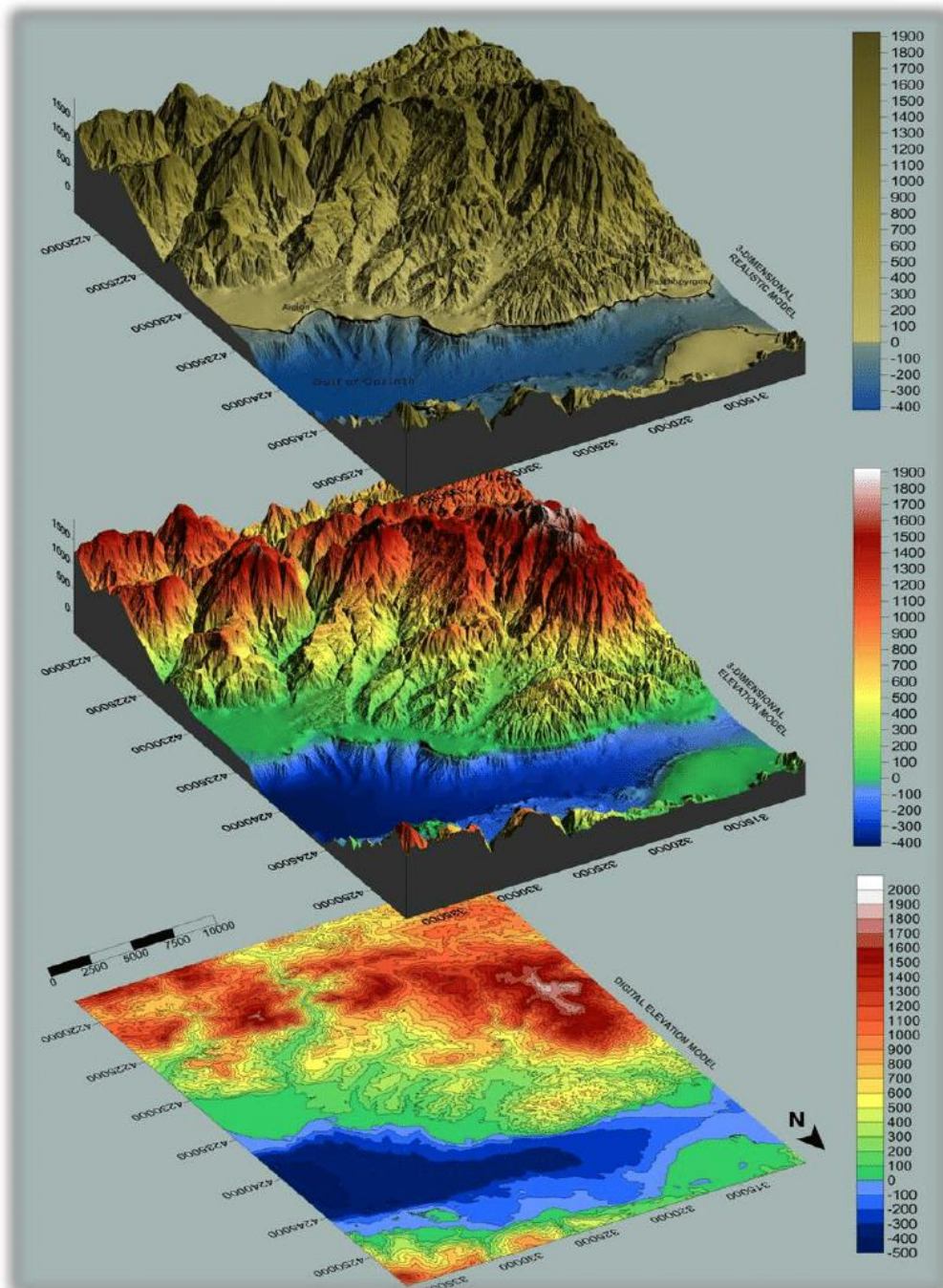


Obrázok 16. Dron vybavený súpravou na skenovanie povrchu terénu LiDAR.

Krok 4. Ďalšia fáza spočíva v primeranej filtrácii získaných údajov, aby sa získal obraz skutočného povrchu terénu bez bodov patriacich k budovám alebo prvkom vegetácie (Obrázok 17). Odporúča sa použiť algoritmus analýzy párov bodov z po sebe idúcich „bodových mrakov“ na výpočet vektora posunov vybraných charakteristických prvkov, ako sú kmeň stromu alebo balvan, v rámci ľubovoľnej časti zosuvu. Táto technika je relatívne jednoduchá na použitie, má však svoje podstatné obmedzenia. Oblasti bez takzvaných „charakteristických prvkov“ nemožno monitorovať a ich nadbytok môže viesť k ťažkostiam pri identifikácii správnych prvkov, ktoré by sa mali porovnávať.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



17. Rôzne druhy údajov premenené na modely terénu a na mapu s výškovými čiarami.

Krok 5. Tak v prípade použitia sekundárneho zdroja, t. j. mraku bodov vyplývajúceho z predchádzajúceho letu (skenovania), ako aj v prípade letu vykonaného z vlastnej iniciatívy, je potrebné z získaného mraku bodov vygenerovať numerický model reliéfu terénu. Preto nasledujúce kroky prebiehajú nezávisle od toho,

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

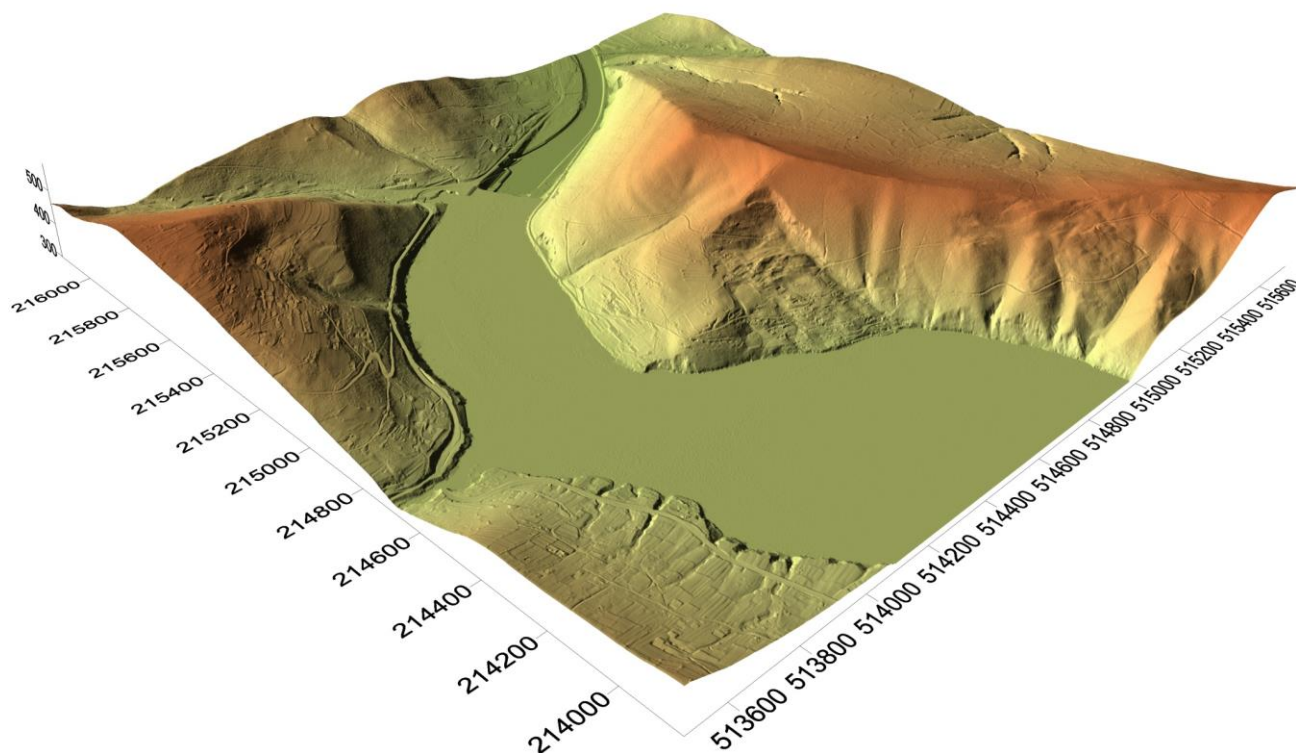
akým spôsobom sa získajú údaje (mračná bodov) potrebné na vytvorenie modelu terénu. Na zaznamenanie zmien reliéfu terénu je potrebné použiť mraky bodov z minimálne dvoch leteckých snímok. Až porovnanie dvoch modelov terénu umožňuje analýzu zmien reliéfu terénu zosuvu v čase, a tým aj odhad zosuvového rizika.

Krok 5. V ďalšej fáze je potrebné na základe získaných údajov vytvoriť numerické modely terénu. Numerický model terénu je bodová reprezentácia výšky terénu, ktorá využíva interpolačný algoritmus na výpočet výšky v ľubovoľnom bode oblasti, pre ktorú bol model vytvorený. Ide o súbor terénnych bodov, určených súradnicami X, Y, Z, spolu s interpolačným algoritmom, ktorý umožňuje určiť tvar povrchu alebo výšku jednotlivých bodov terénu.

Krok 6. Na vytvorenie modelu reliéfu terénu je možné použiť rôzne formáty digitálneho modelu terénu (DMT), z ktorých každý vychádza z inej geometrickej štruktúry. Odporúča sa použiť modul tzv. GRID v hybridnej verzii. Ide o model založený na štruktúre pravidelnej mriežky štvorcov s danou veľkosťou oka (t. j. dĺžkou strany štvorca). Výšky bodov tvoriacich pravidelnú mriežku štvorcov sa určujú pomocou rôznych metód interpolácie na základe určitého počtu bodov so známymi súradnicami X, Y, Z. V hybridnej verzii tento model dopĺňajú charakteristické prvky terénu, napr. svahy, útesy, rokliny, ako aj plochy vylúčené z modelu, napr. vodné nádrže alebo plochy pod budovami. Výška terénu v ľubovoľnom bode X, Y sa určuje pomocou príslušného softvéru interpoláciou najbližších bodov zo zdroja NMT. Odporúča sa použitie programov ArcGIS alebo Quantum GIS. Vytvorenie trojrozmerného modelu reliéfu zosuvu umožňuje lepšie znázorniť reliéf terénu zosuvu. Nie je to nevyhnutný krok pri určovaní zosuvového ohrozenia s využitím laserového skenovania, avšak pri prezentácii výsledkov umožňuje lepšie pochopiť získané výsledky práce (obrázok 18, 19).

Polska – Słowacja

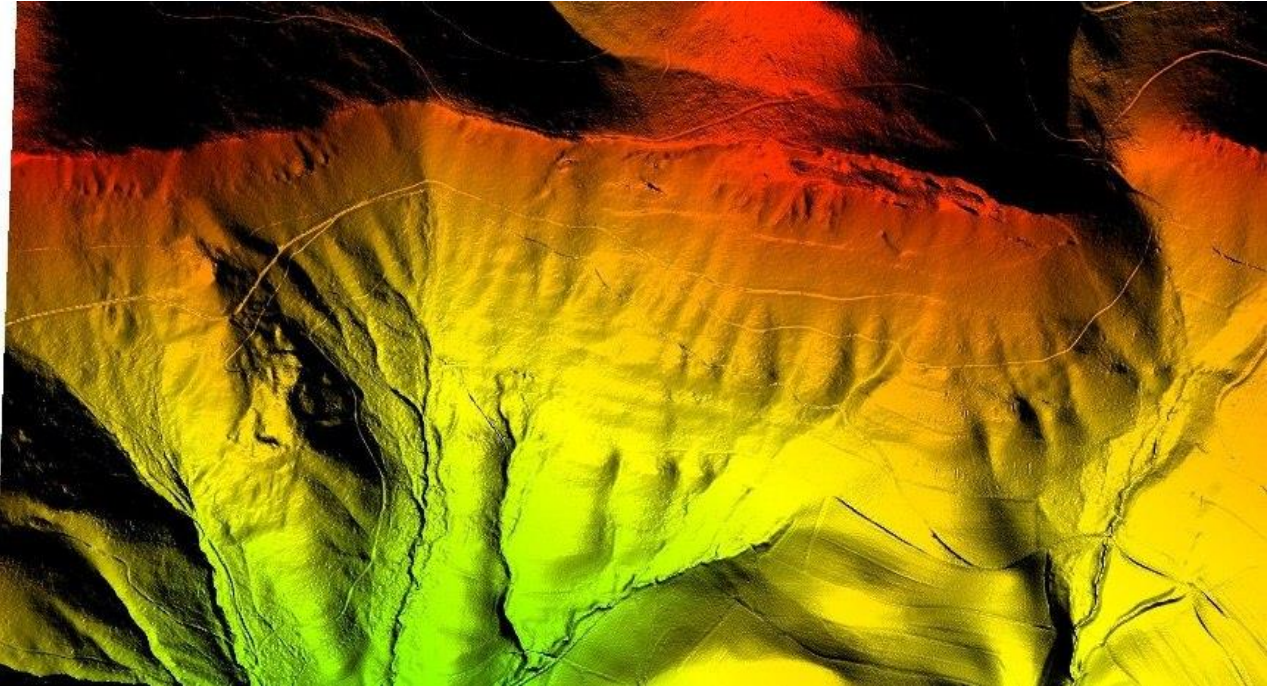
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



18. Trojrozmerný model terénu zosuvu v Łaskach pri jazere Międzybrodzkie.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



19. Trojrozmerný model terénu s viditeľným počiatočným zosuvom na vrchole hory (Kamenné hory – Sudety).

Krok 7. Vytvorenie numerického modelu terénu v programe ArcGIS je možné realizovať rôznymi spôsobmi, v závislosti od typu údajov, ktoré máme k dispozícii, ako sú mrak bodov LiDAR, výškové údaje alebo kontúry. Nižšie je krok za krokom uvedená najpopulárnejšia metóda vytvárania NMT na základe údajov LiDAR alebo kontúr.

Z LiDAR údajov (napr. súbory LAS/LAZ):

a) Pridanie LiDAR údajov

- Uistite sa, či máte súbory .las alebo .laz.
- V ArcGIS Pro:
 - o Otvorte nový projekt.
 - o V záložke Catalog → kliknite pravým tlačidlom na priečinok → Add LAS Dataset.

b) Vytvorte triedu LAS Dataset

- Kliknite pravým tlačidlom na súbor LAS Dataset → LAS Dataset to Raster.
- Vyberte metriku (napr. Z minimum, Z average alebo Z maximum).
- Vyberte len body typu ground (typ klasifikácie = 2).
- Určite rozlíšenie pixelu (napr. 1 m, 5 m).
- Vygenerujte raster ako NMT.

c) (voliteľné) Vyhľadanie modelu

- Na vyhľadanie NMT môžete použiť nástroje ako Focal Statistics.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Krok 8. V poslednej fáze je potrebné vytvoriť diferenciálny model terénu. Vytvorenie diferenciálneho modelu v programe ArcGIS spočíva v analýze rozdielov medzi dvoma rastrovými snímkami zobrazujúcimi tú istú oblasť zosuvu v rôznych časových okamihoch alebo podľa rôznych kritérií. Cieľom je zistiť zmeny reliéfu terénu v rámci testovaného zosuvu a odhadnúť riziko zosuvu. Na vytvorenie diferenciálneho modelu postupujte takto:

a) Príprava rastrových dát:

- Vyberte dva rastery tej istej oblasti z rôznych období (napr. DEM_2020 a DEM_2024).
- Dôležité: rastery musia mať rovnaké rozlíšenie, formát a referenčný systém (CRS).

b) Použite nástroj „Raster Calculator“ (Rastrový kalkulátor):

- Vyhľadajte v Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator.
- Zadajte výraz rozdielu:

arduino

KopírovaťUpraviť

„DEM_2024“ - „DEM_2020“

- Výsledkom bude rozdielový raster, kde:
 - o Kladné hodnoty znamenajú nárast (napr. zdvih terénu),
 - o Záporné hodnoty znamenajú pokles (napr. eróziu).

c) Analýza výsledkov:

- Použitie symbolizácie na znázornenie rozdielov farbami.
- Výpočet štatistík zmien, oblasti s najväčšími rozdielmi atď.

d) Export a vykazovanie:

- Hotový rozdielový model je možné uložiť ako nový rastrový súbor, PDF s mapou.

Krok 9. Stanovenie zosuvového rizika na základe diferenciálneho modelu terénu spočíva v posúdení zmien reliéfu v čase, ktorý uplynul medzi získanými modelmi reliéfu terénu (napr. pre roky 2019 a 2025). Ak sú rozdiely v reliéfe medzi modelmi terénu veľké, považuje sa riziko zosuvu za značné. Ak sú tieto rozdiely malé, predpokladá sa, že zosuvný svah je bezpečný – stabilný. Samozrejme, čím je časový interval medzi porovnávanými modelmi terénu dlhší, tým je určenie zosuvnej aktivity účinnejšie.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

1. Popis obmedzení a výhod použitia laserového skenovania

a) Laserové skenovanie je užitočná metóda, ak chceme získať presnú mapu reliéfu terénu v oblasti zosuvu. Takýto model terénu možno rôznymi spôsobmi využiť v ďalších výskumoch. Na posúdenie aktivity zosuvu a zosuvového nebezpečenstva však nie je metóda laserového skenovania tým najlepším riešením. Od prvého merania je totiž potrebné počkať určitý čas a vykonať ďalšie meranie, aby sme získali informácie o zmenách v reliéfe terénu zosuvu, teda o jeho aktivite. Takýto prístup neumožňuje reálne a predovšetkým rýchle posúdenie zosuvového nebezpečenstva.

b) Medzi najdôležitejšie výhody laserového skenovania patrí mimoriadne vysoká presnosť metódy pri použití pokročilého GPS, ktorá dosahuje presnosť v rozmedzí 2 cm, a rýchlosť pri zbere obrovského množstva priestorových údajov, dosahujúca až niekoľko sto miliónov bodov.

c) Ďalšou výhodou je vysoká rýchlosť získania výsledkov od momentu vykonania terénnych meraní. Ďalšou výhodou je možnosť opakovaného skenovania kedykoľvek, metóda nie je závislá od externých zdrojov, ako napríklad radarová interferometria, ktorá sa používa na základe radarových snímok. Napriek mnohým výhodám má táto metóda aj nevýhody.

d) Oblasti bez charakteristických prvkov, ako sú kmene stromov alebo balvany, ako aj tie, kde je ich nadbytok, nie sú vhodné na monitorovanie zosuvnej činnosti pomocou tejto techniky. Najväčšou nevýhodou tejto metódy je však nutnosť čakať na výsledky od prvého použitia metódy. Až ďalšie naskenované snímky povrchu zosuvu môžu odhaliť posuny. To znamená, že odhad dynamiky zosuvu nastáva až po relatívne dlhom čase.

e) Obraz aktivity zosuvu získaný metódou laserového skenovania za jeden rok môže byť neobjektívny. Môže sa stať, že v danom roku bude zosuv neaktívny, napríklad kvôli menším zrážkam, zatiaľ čo tento zosuv vykazuje aktivitu v priebehu desaťročí.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

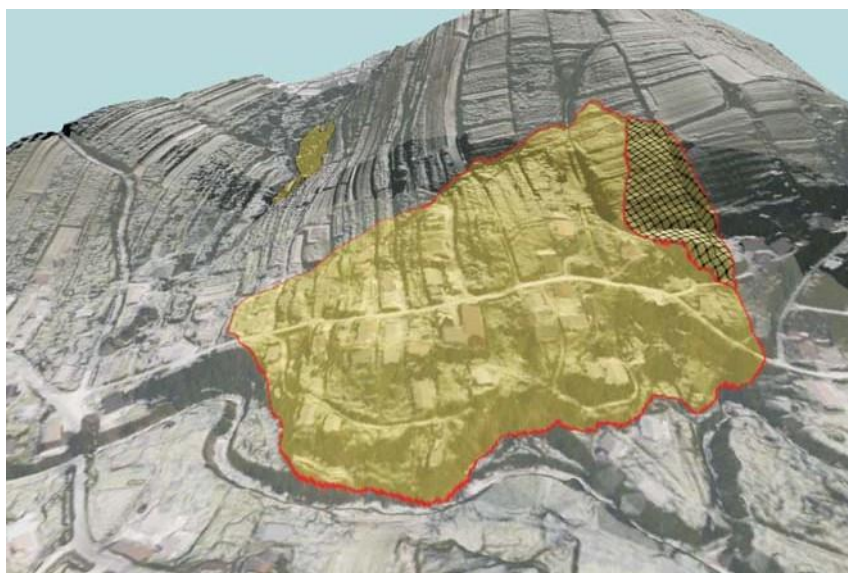
1. Príklad využitia laserového skenovania na identifikáciu zosuvového nebezpečenstva (Vypracované na základe publikácie: Graniczny M., Kamiński M., Anna Piątkowska A., Maria Surafa M., 2012. Využitie leteckého laserového skenovania na inventarizáciu a monitorovanie zosuvu v oblasti Łańnica (obec Lanckorona), Pogórze Wielickie, Vonkajšie Karpaty. Przegląd Geologiczny, 60, 89-94).

Testovaná oblasť patrí do Wielického predhoria, ktoré je súčasťou vonkajších západných Karpát a nachádza sa v blízkosti obce Lanckorona. Svahy Wielického predhoria pokrývajú kvartérne materiály. V oblasti Łańnice, kde sa nachádza zosuv, sa vyskytujú vo forme hrubých ílov a materiálov pripomínajúcich less (svahové útvary). Technika leteckého laserového skenovania, použitá v oblasti zosuvu v okolí Łańnice, spočívala vo vytvorení numerického modelu terénu (NMT) a numerického modelu pokrytia terénu (NMPT) na základe mraku bodov. Bola vypracovaná aj ortofotomapa s využitím digitálnej kamery digi CAM. Rozlíšenie zhotovených snímok určujú rozmery terénnych pixelov, ktoré dosahujú 15 centimetrov, pri pokrytie terénu v pozdĺžnom smere na úrovni približne 60 % a v priečnom smere približne 30 %. Snímka získaná z letu bola uložená vo formáte Geo Tiff, v súradnicovom systéme PUWG 1992. Digitálna snímka má plnú farebnú škálu (RGB).

Letecké laserové skenovanie, ktorého výsledkom bol mrak bodov, bolo vykonané pomocou bodového skenera LMS-Q680i s plnou vlnovou formou. Voliteľná hustota vzorkovania bola 4 body na meter štvorcový a presnosť merania výšky dosiahla 0,15 metra. Trojrozmerný formát mraku bodov získaný z ALS bol prevedený do binárneho formátu LAS, ktorý je vo svete čoraz viac uznávaný (navrhnutý ASPRS – Americkou spoločnosťou pre fotogrametriu a diaľkový prieskum, v najnovšej verzii 1.3). Tento formát spolupracuje s mnohými programami a uchováva všetky údaje priradené k bodom z mraku ALS, ako aj parametre týkajúce sa kartografických transformácií a informácie súvisiace s údajmi typu full waveform. Formát LAS umožňuje tiež zaznamenať informácie o príslušnosti bodu k príslušnej triede, ktorú definovala ASPRS. V procese tvorby NMT bola pre NMPT stanovená hodnota pixelu na 0,5 m vo formáte IMG, s presnosťou výškového parametra $Z_{mh} \leq 0,30$ m, v súradnicovom systéme PUWG 1992. Na účely ďalších porovnávacích analýz bolo rozhodnuté využiť rozsah zosuvu vypracovaný T. Ziętarom v roku 1969. Archívny výkres zosuvu bol naskenovaný a prevedený do geodetického systému PUWG 1992. Po vektorizácii oblasti zosuvu v programe ArcGIS 9.3 sa vykonalo porovnanie získaných údajov s modelom LIDAR. Výsledky skenovania sú znázornené na obrázku 20.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 20. Rozsah zosuvu znázornený pomocou presnej rekonštrukcie reliéfu terénu v oblasti łańcica s využitím laserovej metódy.

Zdroj: Graniczny M., Kamiński M., Anna Piątkowska A., Maria Surała M., 2012. Využitie leteckého laserového skenovania na inventarizáciu a monitorovanie zosuvu v oblasti łańcica (obec Lanckorona), Pogórze Wielickie, vonkajšie Karpaty. *Przegląd Geologiczny*, 60, 89-94.

Ďalším krokom bolo spracovanie výškových údajov získaných z leteckého laserového skenovania. Tieto údaje boli vložené do programu ArcGIS 9.3 a spracované pomocou modulu Spatial Analyst. Výsledkom bola mapa sklonov terénu, izolínie a tieňované mapy znázorňujúce osvetlenie z rôznych smerov. Výsledkom týchto činností bola interpretácia hraníc rozsahu analyzovaného zosuvu v łańcici. Následne boli obe oblasti zosuvu nanesené na vopred pripravenú ortofotomapu, ktorej čitateľnosť bola vylepšená vďaka tieňovaniu z digitálneho modelu terénu LIDAR. Priestorová analýza a archívne údaje naznačujú, že za posledných 50 rokov zosuv zväčšil svoju plochu a výrazne zmenil tvar a rozsah zosuvnej plochy. Rozsah pôsobenia založený na presnej rekonštrukcii reliéfu v oblasti łańcica s využitím laserovej technológie umožňuje presnejšie posúdenie rozsahu morfológických útvarov spojených so zosuvmi, a to aj v ťažko dostupných lokalitách. Analýza testovaného zosuvu umožnila zistiť pomerne výrazné posuny pôdy a zmeny rozsahu v rámci zosuvu. To znamená, že je aktívny a predstavuje hrozbu pre infraštruktúru, ktorá by sa mohla nachádzať v jeho dosahu.