

Matematické modelovanie zmien využitia územia pomocou fyzikálne založeného a empirického modelu na území Slovenskej republiky a Poľska

Ing. Zuzana Németová, PhD.

Anotácia

Príspevok sa zaoberá matematickým modelovaním intenzity erózných procesov na vybraných povodiach v rámci územia Slovenskej republiky a Poľska. Použité modely boli taktiež validované na základe uskutočnených meraní v jednotlivých vybraných územiach. Dosiachnuté výsledky poukazujú na kladné a záporné vlastnosti fyzikálne-založených a empirických modelov spolu s ich porovnaním a validáciou.

Kľúčové slová: matematické modelovanie, erózia pôdy, validácia modelov.

Annotation

The article is focused on mathematical modelling of the soil erosion processes on the selected areas within the Slovak republic and Poland as well. The article includes the validation of the models used based on the real measurements within the areas chosen. The results show the advantages and disadvantages of the physical-based and empirical models together with the comparison and validation of the models used.

Keys words: mathematical modelling, soil erosion, validation of models.

Abstrakt

Článok sa zaoberá aplikáciou, validáciou a porovnaním matematických modelov a hodnotí vplyv zmien využívania územia na intenzitu vodnej erózie pôdy. Validácia EROSION-3D modelu a empirického modelu USLE-SDR bola vykonaná v rámci výskumných území Slovenskej republiky a Poľska. Pre územie Slovenskej republiky bola použitá validácia modelu na základe batymetrického merania množstva sedimentov v poldri Svacenický Jarok a na základe kontinuálneho radu zrážok. V prípade Poľska boli modely validované na základe merania sedimentov vo vodnej nádrži Staw Górny. Výsledky poukazujú na miesta ohrozené vodnou eróziou v rámci zvolených území a taktiež zahŕňajú porovnanie medzi jednotlivými modelmi, ako aj s reálne nameranými dátami.

Abstract

The article deals with the application, validation and comparison of mathematical models in order to assess the impact of land use changes on the intensity of water erosion processes. Validation of the physically-based EROSION-3D model and the empirical USLE-SDR model was performed within research areas in the Slovak Republic and Poland. Within the territory of the Slovak Republic, the validation of the EROSION-3D model was performed on the basis of bathymetric measurement of the amount of sediments in the Svacenický Jarok polder and on the basis of a continuous series of precipitation. In the case of Poland, the models were validated by measuring the amount of sediment

in the Staw Górný reservoir. The results represented the areas endangered by erosion processes in the areas selected with comparison between the modelled and measured characteristics.

1 Úvod

Rastúci a kritický globálny problém degradácie pôdy, ktorý je prudko akcelerovaný neprírodnými ľudskými činnosťami zasahuje svojou rozsiahlosťou do rôznych iných sfér (produkcia potravín, kvalita pitnej vody, manažment povodňových rizík, tolerancia sucha, eutrofizácia, biodiverzita, ekosystémové služby, zmeny zásob uhlíka) (Young, 2015).

V rámci jednotlivých degradačných procesov zastupuje vodná erózia najväčšie postavenie, a celosvetovo 55% erodovanej pôdy je spôsobených práve vodnou eróziou pôdy (Bridges, Oldeman, 1999).

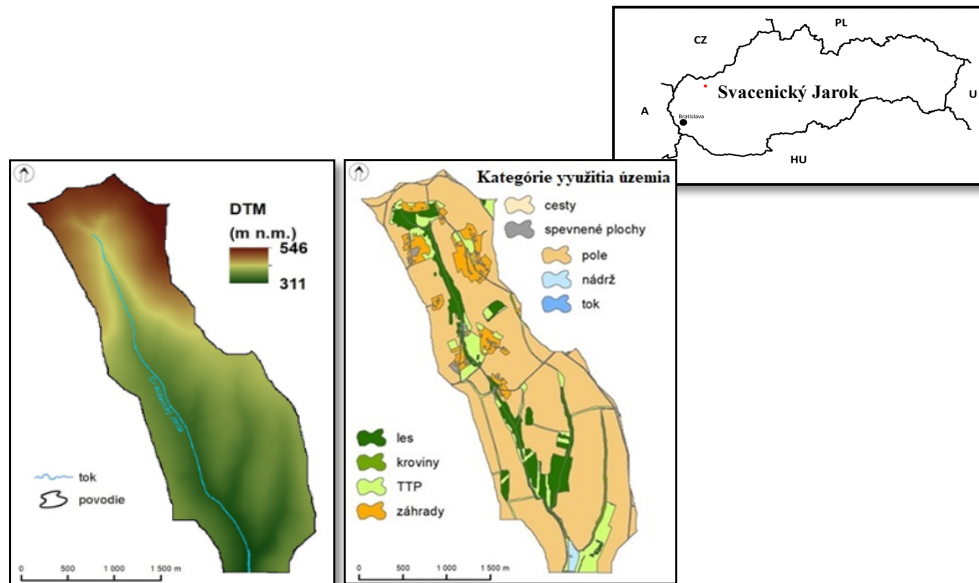
Dôležitosť predikcie pôdnej erózie spolu s kvantifikovaním množstva sedimentov spočíva v poskytovaní príslušných informácií pre inžiniersku hydrológiu, environmentálne modelovanie a prognózu. K stanoveniu množstva sedimentov máme k dispozícii množstvo metód, avšak výber vhodnej metódy je stále veľmi zložitý a komplikovaný proces. Mnoho metód a modelov je zaťažených rôznymi druhmi problémov (nahodnotenie reálneho stavu, neistota modelov, nedostatok vstupných údajov, kalibrácia modelov, nedostatok vhodných lokalít na uskutočňovanie terénnych meraní), pretože modelovanie prírodného systému je vždy ovplyvňované mnohými faktormi, ako sú priestorová a časová variabilita a heterogenita, veľmi nestabilné vstupné údaje (počítateľná vlhkosť pôdy, objemová hmotnosť pôdy a pod.) (Jakeman et al., 1999).

Príspevok sa zaoberá aplikáciou a validáciou fyzikálne-založeného EROSION-3D modelu a empirického modelu USLE-SDR v rámci územia Slovenskej republiky a stredného Poľska. Osobitným prínosom príspevku je prehĺbenie doposiaľ nadobudnutých poznatkov o využití, aplikácii a validácii EROSION-3D modelu na základe nadviazanie spolupráce s Varšavskou Univerzitou Vied v strednom Poľsku. Spoločnou črtou oboch lokalít je predošlé stanovenie eróznno-transportných procesov predovšetkým prostredníctvom empirických prístupov, preto aplikácia fyzikálne-založeného modelu spoločne s jeho validáciou je považovaná za ďalší významný prvok tohto príspevku.

2 Výskumné lokality

2.1. Výskumné územie Svacenický Jarok (Slovenská Republika)

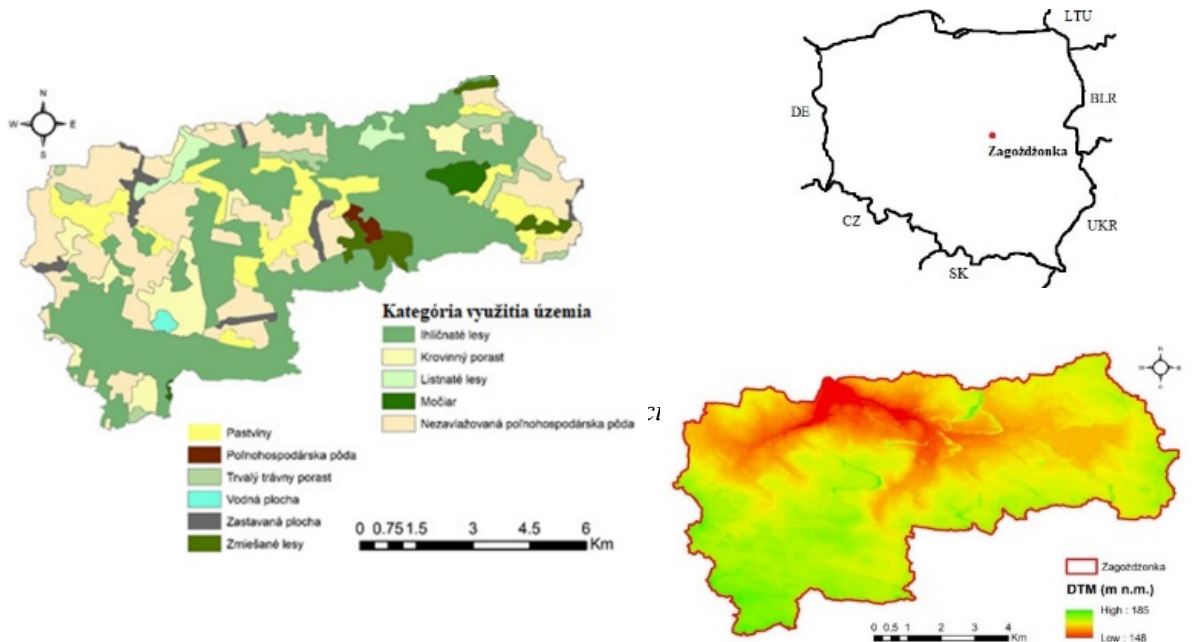
Svacenický jarok sa nachádza v oblasti Myjavskej pahorkatiny v západnej časti Slovenskej republiky (Obr. 1). Oblasť je náchylná na prívalové a bahenné povodie z dôvodu rýchleho odtoku, čo je prejavom prírodných a socio-ekonomických zmien a takmer 600-ročnej antropogénnej transformácie prírodnej krajiny Myjavskej pahorkatiny tvorenej dubovými a bukovými lesmi. V súčasnosti 66% z rozlohy územia predstavuje orná pôda, lesy pokrývajú 9%, trávnaté porasty 9%, vodné plochy 7%, záhrady 6%, zástavba 2% a kroviny v hodnote 1%. Dominantným pôdnym druhom sú luvizeme (68%), pararendzina (28%) a v najmenšom zastúpení sú kambizeme (3,7%). Územím prechádza vodný tok Svacenický jarok (pravostranný prítok toku Myjava), a reprezentuje chrbtový tok územia, ktorý sa v spodnej časti vlieva do malej vodnej nádrže (poldra). Mesto Myjava bolo v minulosti sužované častými povodňami (Bučko, Mazurová, 1958; Stankoviansky, 1999; Stankoviansky, 2003; Dotterweich et al., 2013), preto sa v roku 2012 pristúpilo k výstavbe poldra Svacenického jarku za účelom zabezpečenia protipovodňovej ochrany územia v zmysle zníženia povodňových prietokov.



Obr. 1 Lokalizácia výskumného územia (Zagożdżonka, Poľsko)

2.2. Výskumné územie Zagożdżonka (Poľsko)

Druhou výskumnou lokalitou je povodie Zagożdżonka nachádzajúce sa v strednom Poľsku približne 100 km južne od hlavného mesta Varšavy v oblasti Mazovskej nížiny (Obr. 2). Povodie má nížinný charakter a topografiu typickú pre túto časť Poľska. Prevláda poľnohospodárske využitie s pokryvom ornej pôdy zaberajúcej 48% z rozlohy povodia. Dominuje pestovanie zemiakov a pšenice. Lesy zaberajú 39% povodia a pasienky pokrývajú zvyšných 13%. Charakteristiku využitia územia reprezentuje Obr. 2.



Obr. 2 Charakteristika využitia územia (vľavo) a digitálny model reliéfu (vpravo) povodia Zagożdżonka, Poľsko

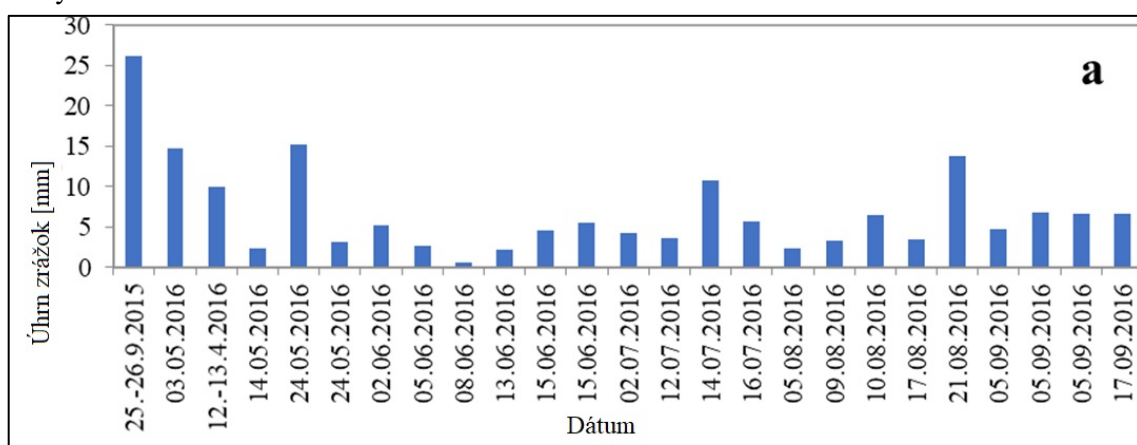
3 Metodika

V rámci príspevku sa spracovávajú dve rozdielne výskumné územia. Jedným z nich je povodie Svacenickeho Jarku lokalizované na území Slovenskej republiky a druhým je povodie Zagożdżonka

nachádzajúce sa na území Poľska. Z toho hľadiska je kapitola obsahovo rozčlenená do dvoch podkapitol 3.1 Charakteristika vstupných údajov a metodického postupu v lokalite Svacenickej Jarok, Slovenská republika a do podkapitoly 3.2 Charakteristika vstupných údajov a metodického postupu v lokalite Zagożdżonka, Poľsko.

3.1. Charakteristika vstupných údajov a metodického postupu v lokalite Svacenickej Jarok, Slovenská republika

Na modelovanie eróznno-transportných procesov bol použitý fyzikálne-založený EROSION-3D model, ktorý vyžaduje tri vstupné parametre. Prvým z nich sú zrážkové úhrny, ktoré boli namerané na meteorologickej stanici Myjava za hodnotené obdobie IX.2015-X.2016. Charakteristiky jednotlivých zrážkových udalostí (dátum výskytu, úhrn zrážok) zobrazuje Obr. 3. Ďalším vstupným parametrom sú informácie o pôde, ktoré boli získané na základe uskutočnených terénnych meraní (podkap. 3.1.1). Posledný vstupný parameter predstavuje digitálny model reliéfu. Modelovanie v EROSION-3D modeli bolo uskutočnené prostredníctvom dlhodobých simulácií a založené na kontinuálnom rade zrážkových úhrnov.



Obr. 3 Celkový úhrn zrážok a dátum výskytu vybraných zrážkových udalostí počas hodnoteného obdobia: a) september 2015 - október 2016

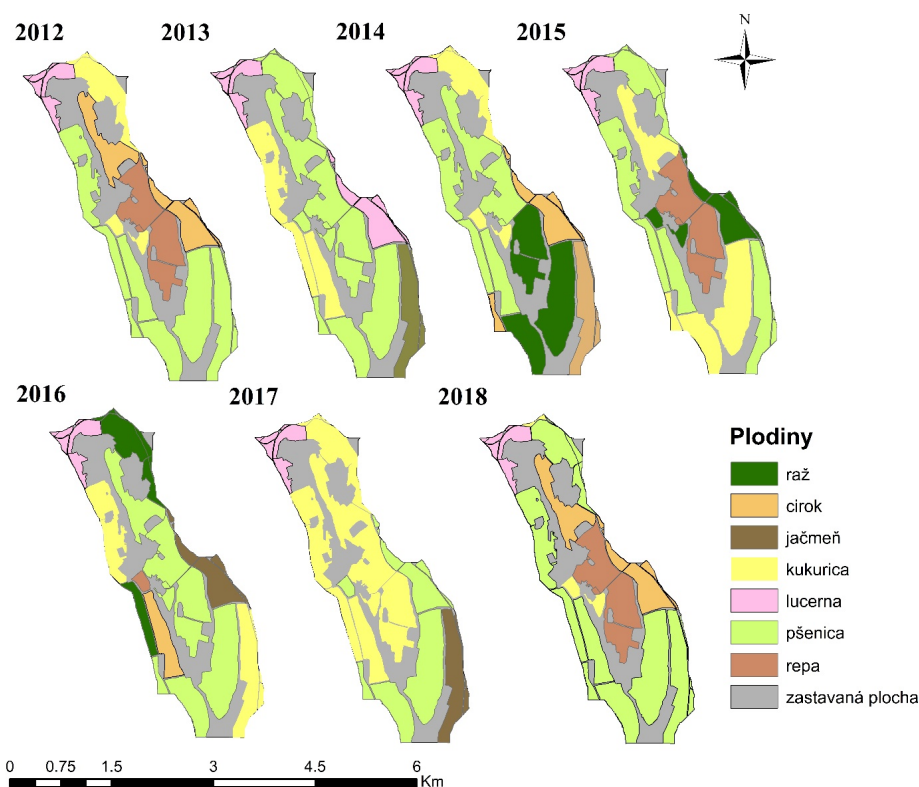
3.1.1. Terénny prieskum a odber pôdných vzoriek v lokalite Svacenickej Jarok

Terénny prieskum a odber pôdných vzoriek v lokalite Svacenickej Jarok bol uskutočnený v letnom období v roku 2018 v spolupráci s Masarykovou univerzitou v Brne. Jeho cieľom bolo okrem odobratia a vyhodnotenia pôdných vzoriek, aj osobná komunikácia s miestnymi odborníkmi a zástupcami poľnohospodárskej výroby za účelom presnej identifikácie pestovaných plodín v obdobiach od rokov 2012 až 2018 (Obr. 4). Takáto identifikácia plodín v rámci uvedených období bola dôležitá k presnému definovaniu pôdných parametrov v rámci modelových simulácií. V príspevku bolo spracované obdobie 2015-2016. Na základe osobnej komunikácie so zástupcami miestnych poľnohospodárov bolo zistené, že 49% ornej pôdy rozlohy územia (od septembra 2015 do októbra 2016) zastupuje pšenica, nasleduje kukurica (19%), jačmeň (14%), raž (13%), a lucerna (5%). Grafickú interpretáciu identifikácie plodín v hodnotenom období zobrazuje Obr. 5 a percentuálne zastúpenie jednotlivých plodín je uvedené v Tab. 2.

3.1.2. Citlivostná analýza pôdných parametrov

Citlivostná analýza predstavuje neodmysliteľnú súčasť každej vedeckej práce a významný element hodnotenia akéhokoľvek modelu. Predstavuje proces zmeny vstupných hodnôt s identifikáciou vplyvu týchto zmien na konečné výsledky. Jednotlivé matematické modely zobrazujú reálny systém pomocou rozdielnych prístupov, a preto je prínosné poznať veľkosť vplyvu vstupných parametrov modelu na simulované výstupy. Kvantifikácia a identifikácia prepojenia medzi modelovými vstupmi a výstupmi, ako aj pochopenie modelových vzťahov predstavujú ciele, ktoré chceme dosiahnuť pomocou citlivostnej analýzy. V prípade modelu EROSION-3D išlo o vykonanie

citlivostnej analýzy pre sedem pôdnych vstupných parametrov s využitím jednosmernej citlivostnej analýzy. Podstatou prístupu jednosmernej analýzy je zmena jedného parametra pri ponechaní zvyšných parametrov bez zmeny. Hodnoty pôdnych vstupných parametrov sa zvyšovali a znižovali o 10% oproti referenčnému, čiže pôvodnému stavu. Vybranou simulovanou plodinou bola kukurica na siláž, pretože predstavuje najviac frekventovanú plodinu na skúmanom území. V rámci zrážkových dát bola zvolená intenzívna zrážková udalosť zo dňa 27.08.2017 meraná na meteorologickej stanici Myjava (6,92 mm/17 min.). Vzťahy medzi modelovými vstupmi a výstupmi obsahuje Tab. 1. Bolo zistené, že na vplyv povrchového odtoku majú najväčší dopad tieto pôdne vstupy: objemová hmotnosť, počiatočná vlhkosť pôdy, obsah organickej hmoty a hodnota opravného koeficientu. Naopak, na množstvo sedimentov mali vplyv všetky pôdne vstupné parametre. (Honek et al., 2020), (Németová et al., 2019).



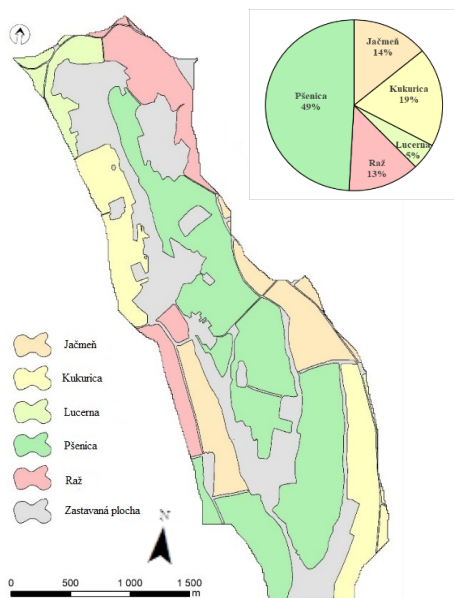
Obr. 4 Grafické znázornenie zastúpenia plodín vo výskumnej lokalite Svacenickej Jarok pre hodnotené obdobia; 2012-2018

Tab. 1 Vzťahy medzi modelovými vstupmi a výstupmi

Vstup/Výstup	Povrchový Odtok (m ³)	Množstvo sedimentov (kg/m)	Hodnota čistej erózie (Net erosion) (t/ha)
Objemová hmotnosť	✓	✓	✓
Pokrytie povrchu pôdy	X	✓	X
Erózna odolnosť	X	✓	✓
Počiatočná vlhkosť pôdy	✓	✓	✓
Drsnosť povrchu pôdy	X	✓	✓
Obsah organickej hmoty	✓	✓	✓
Opravný koeficient	✓	✓	✓

X Pôdny parameter neovplyvňuje modelový výstup

✓ Pôdny parameter ovplyvňuje modelový výstup



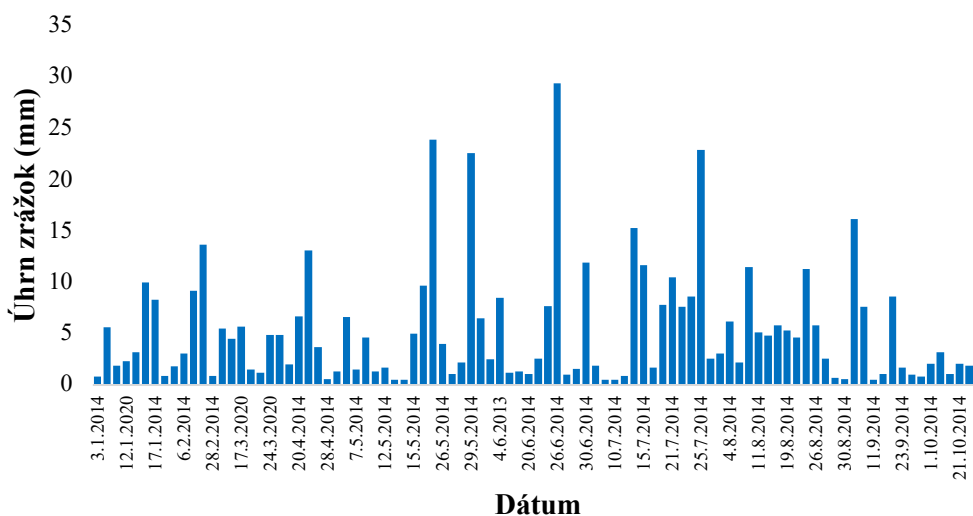
Tab. 2 Percentuálne zastúpenie plodín v hodnotenom období (2015-2016)

Typ plodiny	Obdobie (2015-2016)
	[%]
Jačmeň	14
Kukurica	19
Lucerna	5
Pšenica	49
Raž	13

Obr. 5 Percentuálne zastúpenie a grafické znázornenie pestovaných plodín v hodnotenom období (2015-2016)

3.2. Charakteristika vstupných údajov a metodického postupu v lokalite Zagożdżonka, Poľsko

V rámci územia Poľska išlo o aplikáciu fyzikálne-založeného EROSION 3D modelu a empirického modelu USLE-SDR, ktorý predstavuje empirický prístup na stanovenie množstva sedimentov. Validácia modelov bola vykonaná na základe meraného množstva sedimentov vo vodnej nádrži Staw Górny. Pre modelovanie vo fyzikálne-založenom EROSION-3D modeli boli taktiež použité dlhodobé simulácie založené na kontinuálnom rade zrážok, a zvolené bolo obdobie v trvaní od januára 2014 do októbra 2014. Všetky vstupné parametre potrebné pre EROSION-3D model (digitálny model reliéfu, pôdne parametre, zrážky), ako aj pre empirický model USLE-SDR boli poskytnuté Varšavskou Univerzitou v rámci programu COST (CA 16209). Spracované zrážkové úhrny v 10-minútovom kroku zaznamenané na zrážkovej stanici Plachty sú zobrazené na Obr. 6. V tomto prípade boli spracované všetky zrážkové udalosti (nie iba erózne účinné ako v prípade lokality Svacenicický Jarok) vyskytujúce sa počas zvolených období (zanedbané boli iba veľmi malé zrážkové udalosti $< 0,01$).



Obr. 6 Celkový úhrn zrážok a dátum výskytu vybraných zrážkových udalostí počas hodnoteného obdobia: január 2014 - október 2014

3.2.1. Empirický model USLE-SDR

Pre porovnanie fyzikálne-založeného a empirického prístupu bol zvolený empirický model USLE-SDR, ktorý predstavuje Univerzálnu rovnicu straty pôdy (USLE) v kombinácii s modelom SDR (Sediment delivery ratio) využívaným pre kvantifikáciu odnosu sedimentov. Pri aplikovaní modelu USLE v iných oblastiach ako v USA je potrebné determinovať regionálne parametre, napr. hodnotu faktora R (erózna účinnosť dažďa). Odvodenie týchto parametrov bolo vykonané v rámci predchádzajúcich štúdií (Banasik, Górski, 1993) a (Banasik et al., 2001).

3.2.2. Vodná nádrž Staw Górny

Vodná nádrž Staw Górny (Obr. 7) bola vybudovaná v roku 1976 a dôvodom pre jej výstavbu bolo zásobovanie miestnej chemickej továrne vodou. Z tohto pôvodného cieľa sa postupne upustilo a hlavným účelom nádrže sa stala rekreácia pre 19 000 obyvateľov mesta Pionki. Celková plocha nádrže predstavuje 14 hektárov a pôvodný objem nádrže bol 252 000 m³ pri hladine vody v nádrži na kóte 146,70 m. n. m. Hĺbka vody je definovaná na 2,60 metrov s celkovou dĺžkou nádrže 900 metrov. V roku 1986. t.j. 10 rokov od doby jej výstavby sa zaznamenalo zvýšenie hladiny dna nádrže o 42 cm. Usadzovanie sedimentov v nádrži a v oblastiach nad vodnou nádržou je hlavný problém, ktorému je vystavené povodie Zagożdżonka z dôvodu pretrvávajúcej eróznej činnosti. Preto, stanovenie množstva a intenzity sedimentov spoločne s pravidelným zameriavaním dna nádrže je považované za prínosné, a zároveň i za najspoľahlivejšiu techniku stanovenia intenzity sedimentácie. Prvé zameriavanie vodnej nádrže bolo uskutočnené už v rokoch 1979-1980 metódou Range Line (Banasik & Mordziński, 1982), ďalej v rokoch 1991 a 2003 (Banasik et al., 2005). V roku 2009 bolo vykonané posledné zameriavanie dna vodnej nádrže, a to na základe vrstevnicovej metódy a hydrografického systému, ktorého súčasťou bola ozvučná jednotka s globálnym určovaním polohy pomocou systémového GPS prijímača.



Obr. 7 Vodná nádrž Staw Górny, Pionki

4 Výsledky

4.1. Validácia EROSION-3D modelu – Svacenický Jarok, Slovenská republika

Validácia EROSION-3D modelu bola uskutočnená na kontinuálnom rade úhrnov zrážok nameraných na meteorologickej stanici Myjava a na základe batymetrického merania dnových sedimentov v poldri Svacenický jarok. V prípade použitých zrážkových udalostí boli vyselektované minútové zrážkové udalosti, ktoré boli vyhodnotené ako erózne účinné na základe metodiky podľa Renard et al. (1997). Pre každú jednu zrážkovú udalosť bol definovaný vlastný súbor parametrov pôdnych charakteristík, ktoré korešponujú s dátumom výskytu zrážkovej udalosti a konkrétnou plodinou. V rámci tohto kroku môžeme vidieť dôležitosť identifikácie pestovaných plodín, ako je to opísané v podkap. 3.1.1. Pre validáciu EROSION-3D modelu sa použili merania z roku 2015 (22. 9.2015), a z roku 2016 (6. 10. 2016), pričom celkový počet zozbieraných dát reprezentoval 3 017. Výsledky poukázali na výskyt intenzívnych erózných procesov v lokalitách so sklonom nad 10°. Spoločne s nesprávne nastavených poľnohospodárskym obrábaním pôdy (širokoriadkové plodiny) sú tieto lokality vystavené pôsobeniu erózných procesov (Obr. 9). Predpovedané množstvo sedimentov

pomocou EROSION-3D modelu v rámci zvolených období bolo 286,65 m³, čo predstavuje o 35 % nižšie množstvo sedimentov v porovnaní s meraným množstvom sedimentov v Svacenickej poldri.



Obr. 8 Polder Svacenickej Jarok (Németová, 2019)



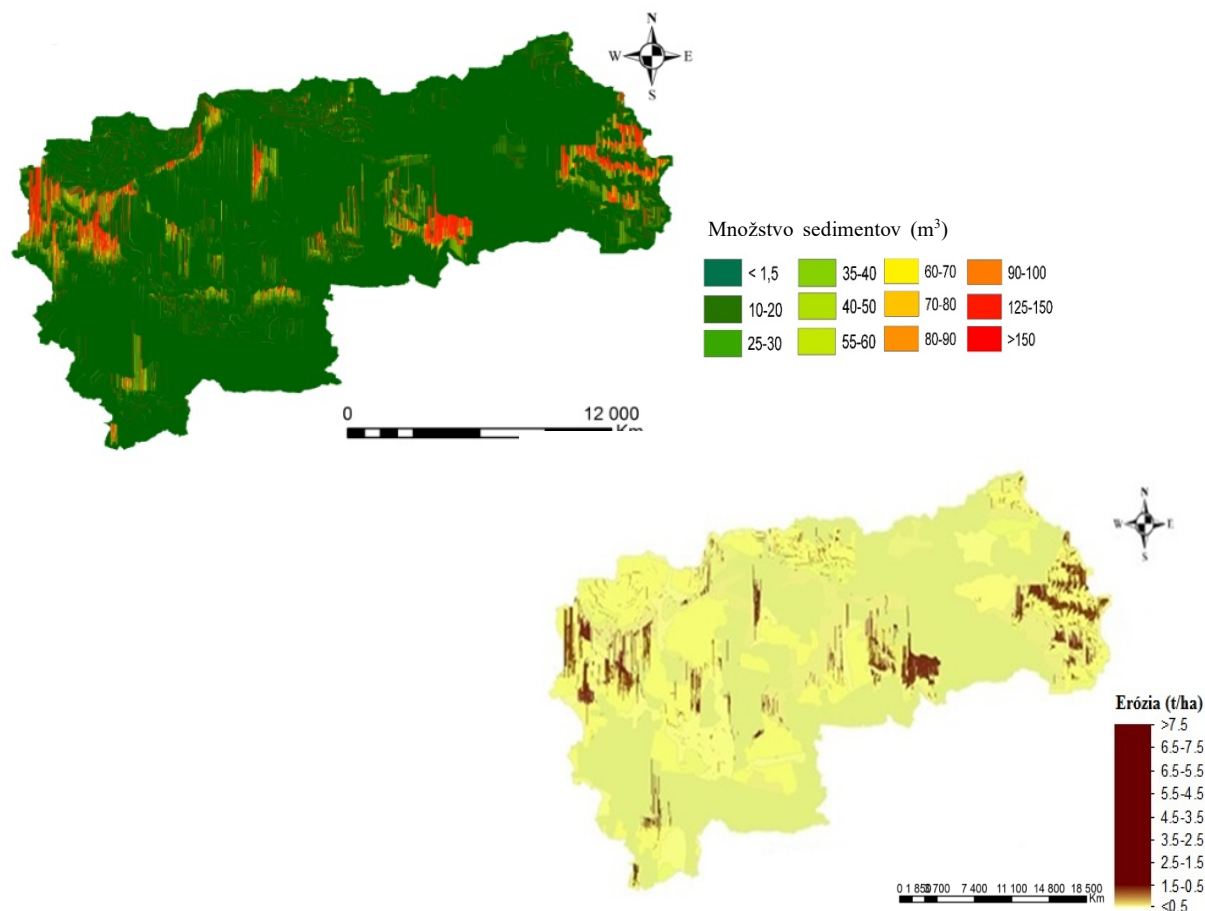
Obr. 9 Množstvo sedimentov stanovené pre hodnotené obdobie: September 2015 až Október 2016

4.2. Validácia fyzikálne-založeného EROSION-3D modelu – Zagożdżonka, Poľsko

Priemerné ročné množstvo sedimentov zachytených vo vodnej nádrži Staw Górny predstavuje 1080 m³. Pri porovnaní modelov EROSION-3D a USLE-SDR sa bližšie k nameraným sedimentom v nádrži priblížil empirický model USLE-SDR (Tab. 3). V tomto prípade EROSION-3D model predpovedal o 45% nižšie množstvo sedimentov ako bolo skutočne namerané, avšak preukázal sa ako spoľahlivý nástroj na určenie priestorovej lokalizácie miest ohrozených vodnou eróziou (Obr. 10). Množstvo sedimentov určené EROSION-3D modelom bolo nižšie z dôvodu, že EROSION-3D model neberie do úvahy dnové sedimenty, zatiaľ čo množstvo sedimentov kvantifikované modelom USLE-SDR uvažuje aj dnové sedimenty. Táto skutočnosť bola odkomunikovaná v spolupráci s Varšavskou univerzitou a keďže sa nejedná o významný rozdiel, bola stanovená za prijateľnú.

Tab. 3 Porovnanie dosiahnutých výstupov (USLE-SDR, Vodná nádrž Staw Górny, EROSION-3D model)

Metódy stanovenia množstva sedimentov	Množstvo sedimentov (m ³)
USLE-SDR	708
Meranie v nádrži STAW GÓRNY	1080
EROSION-3D model (Scenár B)	678



Obr. 10 Výsledky modelovania erózie pomocou fyzikálne-založeného EROSION-3D pre obdobie január 2014 - október 2014

5 Záver

Príspevok sa zaoberá aplikáciou a validáciou matematických modelov použitých k hodnoteniu intenzity eróznoprepravných procesov na území Slovenskej republiky a Poľska. K stanoveniu intenzity erózných procesov bol použitý fyzikálne-založený EROSION-3D model a empirický model USLE-SDR.

Významným prínosom príspevku je spolupráca so zahraničnou inštitúciou, vďaka čomu prišlo k prehĺbeniu poznatkov o doposiaľ málo využívanom EROSION-3D modeli, s cieľom nahradiť dlhodobo využívané empirické metódy hodnotenia intenzity erózných procesov, ako aj vypracovať metodický postup na aplikáciu, kalibráciu a validáciu EROSION-3D modelu v rámci jednotlivých výskumných území. Keďže spoločným znakom oboch lokalít je predchádzajúce stanovenie eróznoprepravných procesov

transportných procesov predovšetkým pomocou empirických prístupov, aplikácia fyzikálne-založeného modelu je považovaná za najdôležitejší prínos príspevku.

V súčasnosti máme k dispozícii obrovské množstvo erózných modelov, avšak za významný nedostatok v celom procese matematického modelovania, je validácia a kalibrácia týchto modelov. Dôvodom je nielen absencia meraných dát, na základe ktorých by bolo možné tieto modely validovať, ale aj diskutabilná relevantnosťou výsledkov validácie (v prípade ak sú k dispozícii merania).

V rámci tohto príspevku bola vykonaná validácia modelov na základe batymetrického merania množstva sedimentov a na základe kontinuálneho radu zrážok pre vybrané povodie na území Slovenskej republiky a Poľska. V prípade prvej lokality (Svacenický Jarok, Slovenská republika) išlo o validáciu EROSION-3D modelu na základe batymetrického merania množstva sedimentov v poldri Svacenický Jarok pomocou zariadenia Autonomous Underwater Vehicle v spolupráci s Ústavom hydrologie Slovenskej akadémie vied (ÚH SAV).

V prípade druhej výskumnej lokality (Zagożdżonka, Poľsko) bol pre stanovenie množstva sedimentov použitý fyzikálne-založený model EROSION-3D a empirický model USLE-SDR. Tieto modely boli následne porovnané s meraným množstvom sedimentov vo vodnej nádrži *Staw Górny*. Rovnako ako v prípade prvej lokality, i v tomto prípade EROSION-3D model predikoval nižšie množstvo sedimentov oproti pozorovanému množstvu sedimentov v nádrži, a to konkrétne o 37,22%. Z výsledkov získaných v rámci empirického modelu USLE-SDR možno pozorovať taktiež podhodnotenie množstva sedimentov vo vzťahu k meranému vzťahu, a to o 34,44%.

V štúdiu boli použité dva prístupy; fyzikálne-založený model a empirický model, pričom boli zistené výhody a nevýhody v rámci oboch použitých modelov, a nie je možné vyvodit' záver, ktorý model možno považovať za lepší, prípadne vhodnejší, pretože každý z nich disponuje určitými výhodami a nevýhodami. Medzi najväčší nedostatok empirického modelu USLE-SDR patrí predovšetkým nadhodnotenie vplyvu zrážkových udalostí (v úvahu berie celkové ročné a mesačné úhrny) v porovnaní s EROSION-3D model, ktorý pracuje s tzv. erózne účinnými dažďami. Značná výhoda využitia EROSION-3D modelu spočíva v možnosti pozorovať hodnotenie zmien využitia územia na intenzitu erózných procesov pomocou modelovania rôznych scenárov pestovaných poľnohospodárskych plodín. Pri hodnotení EROSION-3D modelu z pohľadu projekčnej praxe možno vyvodit' záver, že poskytuje vhodný pomocný nástroj pri analýze a lokalizácii miest ohrozených eróziou pôdy, pri vytváraní a vyhodnocovaní scenárov využitia krajiny, pri projektovaní technických protierózných opatrení alebo pri posudzovaní odozvy v krajine vplyvom zrážkových udalostí (skutočných i návrhových).

Literatúra

BANASIK, K., GORSKI, D. (1993): Evaluation of rainfall erosivity for East Poland. In: *Runoff and Sediment Yield Modelling (Proceedings of an International Symposium, Warszawa, September, s. 129–134. Warsaw Agricultural University Press, Warsaw, Poland.*

BANASIK, K., GORSKI, D., MITCHELL, J. K. (2001): Rainfall erosivity for East and Central Poland. In: *Soil Erosion Research for the 21st Century. s. 279–282.*

BANASIK, K., MORDZIŃSKI, S. (1982): Wyniki badan i prognoza zamulania malego zbiornika wodnego (Investigation results and prediction of small reservoir siltation). In: *Selected problems of hydraulic structures – designing and constructing. 1982, s. 62–77. Warsaw Agricultural University Press, Warsaw, Poland.*

BANASIK, K., HEJDUK, L., POPEK, Z. (2005): Sediments problems of small river catchments and reservoir in Poland. Publications of the Institute of Geophysics, *Polish Academy of Sciences, Monograph, 2005, vol. E-5 (387), s. 179–207.*

BHATTARAI, R., DUTTA, D. (2007): Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Using GIS at Catchment Scale. *Water Resources Management*, 21, s. 1635-1647.

BRIDGES, E.M., OLDEMAN, L.R., Global assessment of human-induced soil degradation. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, vol. 13/issue 4, 1999, s. 319–325.

BUČKO, Š., MAZUROVÁ, V.: Výmoľová erózia na Slovensku. In *Zborník: Vodná erózia na Slovensku*. Bratislava: SAV 1958, s. 68–101.

DOTTERWEICH, M., STANKOVIANSKY, M., MINÁR, J., KOCO, Š., PAPČO, P.: Human induced soil erosion and gully system development in the Late Holocene and future perspectives on landscape evolution: The Myjava Hill Land, Slovakia. *Geomorphology*. 2013, roč. 201, 227–245. ISSN : 0169-555X.

JAKEMAN, A.J., GREEN, T.R., BEAVIS, S.G., ZHANG, L., DIETRICH, C.R., CRAPPER, P.F. Modelling upland and instream erosion, sediment and phosphorus transport in a large catchment. *Hydrological Processes* 1999, 13, s. 745–752. DOI:10.1002/(sici)1099-1085(19990415)13:5<745::aid-hyp777>3.0.co;2-e.

HONEK, D., NÉMETOVÁ, Z., KOHNOVÁ, S., ŠULC MICHALKOVÁ, M.: Sensitivity analysis of soil parameters and their impact on runoff-erosion processes. *Pollack Periodica*, 2020, vol. 15, č. 1, s. 53-64. ISSN 1788-1994. doi:10.1556/606.2020.15.1.6.

NÉMETOVÁ, Zuzana, David HONEK and Silvia KOHNOVÁ. Citlivostná analýza pôdnych parametrov v modeli EROSION-3D a ich vplyv na odtokovo-erózne procesy (The sensitivity analysis of soil parameters in EROSION-3D model and their effect on runoff-erosion processes). *Czech Journal of Civil Engineering*, 2019, vol. 5, č. 1, s. 83-89. ISSN 2336-7148.

RENARD, K. - FOSTER, G. - WEESIES, G. - MCCOOL, D. - YODER, D.: Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Plannin with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *USDA Agricultural Handbook*. 1997, č. 703, s. 404. ISBN 0-16-048938-5.

STANKOVIANSKY, M. (1999): Geomorphic response of agricultural landscape to land use changes associated with introduction of large-scale farming in Slovakia. In: *Soil conservation in large-scale land use*. Bratislava: SSC, SSCRI, s. 49-58. ISBN 80-86361-60-4.

STANKOVIANSKY, M. (2003): Historical evolution of permanent gullies in the Myjava Hill Land, Slovakia. *Catena*., roč. 51, č. 3-4, s. 223-239. ISSN: 0341-8162.

YOUNG, R. - ORSINI, S. - FITZPATRICK, J.: *Soil Degradation: Major Threat to Humanity*. UK: Sustainable Food Trust 2015, s. 15. dostupné online: http://assets.fsnforum.fao.org.s3-eu-west-1.amazonaws.com/public/discussions/contributions/Soil-degradation-Final-final_0.pdf