

MODELOVÁNÍ TECHNICKÝCH PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ A JEJICH VLIVU NA OFF-SITE EFEKTY EROZNÍ UDÁLOSTI V INTRAVILÁNU OBCE.

Jan DEVÁTÝ¹, Tomáš DOSTÁL²

^{1,2} Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7, 166 29, Praha, Česká republika
jan.devaty@fsv.cvut.cz, dostal@fsv.cvut.cz

Příspěvek vznikl za podpory projektu NAZV č. QI91C008 „Optimalizace postupu navrhování technických protierozních opatření“

Abstrakt

Příspěvek prezentuje výsledek modelování povrchového odtoku pomocí software Erosion 3D, provedeného pro zjištění kvalitativních a kvantitativních dopadů aplikace technických protierozních opatření na zasažení intravilánu obce Hořany u Kutné Hory důsledky erozních jevů na výše položených plochách zemědělské půdy. Model byl sestaven na základě rastrového digitálního modelu terénu 3x3 metry odvozeného z bodových dat LiDAR 5G a dat využití území ZABAGED[®] a LPIS. Díky použití DMT s vysokým rozlišením jsou protierozní opatření simulována přímo úpravami DMT. Jsou prezentovány použité nástroje GIS a postupy pro odvození vrstvy využití území. Jsou diskutovány výhody a nevýhody zvoleného přístupu modelování TPEO a dopady přesnosti použitého DMT na výslednou intenzitu a plošnou distribuci eroze a depozice. Příspěvek vznikl za podpory projektu NAZV č. QI91C008 „Optimalizace postupu navrhování technických protierozních opatření“

Abstract

The paper presents results of erosion model made in Erosion 3D software. The model was focused on quantitative and qualitative assessment of technical soil-protection measures impact on soil erosion off-site effects within a settlement of Hořany village. The model was built on a basis of grid digital elevation model of 3x3 m spatial resolution derived from 5G LiDAR point data. The Land Use data were gained from ZABAGED[®] and LPIS vector datasets. High resolution elevation data were suitable to simulate technical soil-protection measures by adjusting the terrain elevation. Used GIS tools and algorithms for land use layer creation are described. Advantages and disadvantages of used approach to model the technical soil-protection measures is discussed as well as the impact of use of high-resolution elevation data on the intensity and spatial distribution of soil erosion a deposition.

Klíčová slova: vodní eroze půdy, počítačové modelování, Erosion 3D, technická protierozní opatření, TPEO, LiDAR 5G, off-site efekty v obci

Keywords: soil erosion by water, computer modeling, Erosion 3D, technical soil-protection measures, digital elevation model LiDAR 5G, off-site effect in settlement

1. ÚVOD

V rámci projektu NAZV „Optimalizace postupu navrhování technických protierozních opatření“ byly testovány možnosti využití software Erosion 3D k navrhování a posuzování technických protierozních opatření. V minulých letech byla testována vhodnost tohoto modelu pro návrh umístění prvků TPEO v měřítku svahu a soustavy zemědělských pozemků a testování použitelnosti dostupných vstupních dat pro tento model. V roce 2012 bylo modelována sada scénářů za účelem zjistit dopad realizace technických protierozních opatření v povodí na off-site efekty erozních událostí v intravilánu obce. Důraz byl kladen na zjištění intenzity a prostorové distribuce erozních a depozičních míst v ploše sídel sousedících se zemědělsky využívanými pozemky. Jednotlivé modelované scénáře simulují situaci v povodí před a po realizaci systému technických PEO pomocí použití různých (pozměněných) digitálních modelů terénu a různých definic využití území.

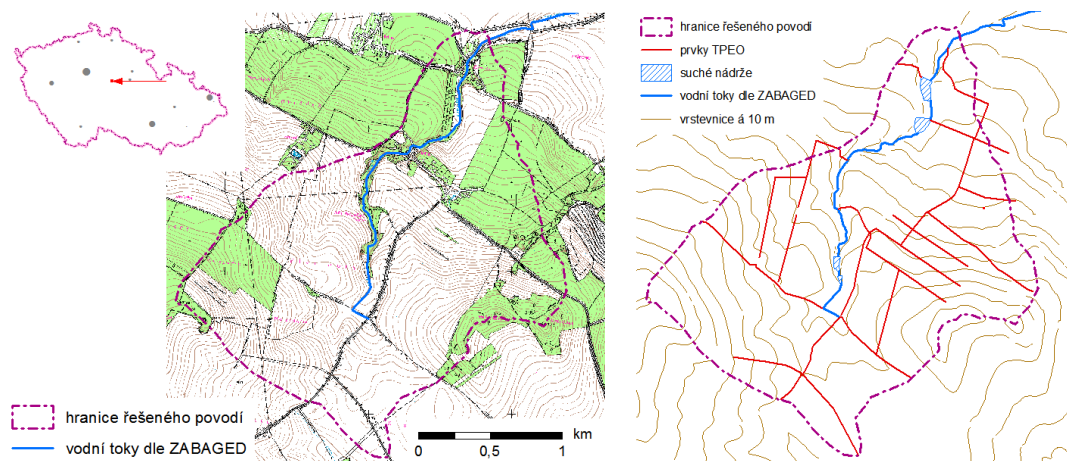
Vliv technických protierozních opatření na následky srážkové epizody v intravilánech obcí byl určován na základě porovnání výsledků modelů simulujících situaci před a po realizaci těchto TPEO. Zde jsou

prezentovány výsledky porovnání plošné distribuce erozních a sedimentačních ploch a celkové množství erodovaného/deponovaného materiálu v intravilánu. Prvky TPEO byly modelovány úpravou výšky digitálního modelu terénu (příkopy) a/nebo změnou kategorie využití území (příkopy/meze).

2. METODIKA

2.1. Modelované území

Pro řešení bylo zvoleno území v okolí obce Hořany, která se nalézají zhruba 3 km severozápadně od Kutné Hory. Konkrétní modelované povodí bylo definováno k uzavěrovému profilu umístěnému na Hořanském potoce těsně pod obcí Čertovka. V území jsou tak zahrnuty intravilány dvou obcí Hořany a Čertovka. Řešené území je částí povodí Hořanského potoka (č.h.p.1–04–01– 038) a bylo vybráno pro svou morfologickou rozmanitost a vhodnou prostorovou návaznost zemědělsky využívaných ploch a ploch sídel. V území byla v nedávné minulosti v rámci komplexních pozemkových úprav realizována soustava technických protierozních opatření sestávající ze systému příkopů, cest a mezí v ploše povodí a suchých nádrží na toku Hořanského potoka.



Obr. 1. Situace modelovaného území na podkladu ZM10, prvky TPEO

2.2. Scénáře

Záměr vytvořit dvojici modelů zachycujících stav před a po realizaci technických PEO v řešeném území, narazil na nedostupnost příslušných digitálních modelů terénu. Základním vstupním datasetem byl vektorový bodový digitální model terénu LiDAR 5G. Tento model terénu je velmi přesný (průměrná vzdálenost bodů 2,6 m) a aktuální a povrch terénu již zahrnuje i realizované prvky TPEO. Výhodou je, že jsou všechny realizované úpravy přesně lokalizovány, nevýhodou pak, že příkopy jsou přerušovány v místech propustků a netvoří tak souvislou síť koryt pro odvod vody (viz Obr. 2). Tento stav znemožňuje nebo komplikuje použití tohoto DMT pro modelování zamýšlených scénářů.



Obr. 2. Ukázka vystínovaného DMT LiDAR 5G

Dalším dostupným modelem terénu byl rastrový digitální model GEODIS v rozlišení 10x10 m a výškopisná část (vrstevnice) mapového díla ZABAGED[®]. Vhodnost těchto datových zdrojů pro detailní erozní modelování pomocí Erosion 3D byla testována v předchozím roce řešení projektu a na základě zjištěných skutečností byla výškopisná data ZABAGED[®] zamítnuta pro svou nedostatečnou přesnost a chyby vznikající při interpolaci rastrového modelu terénu z vektorových linií vrstevnic. DMT GEODIS má už poměrně nízké rozlišení pro modelování eroze ve zvoleném detailním měřítku, nicméně je jediným dostupným zdrojem dat o výšce terénu bez realizovaných TPEO. Na druhou stranu je díky nízkému rozlišení naprosto nevhodný pro modelování TPEO pomocí změny výšky pixelů.

Byly tedy modelovány následující scénáře:

- 1.1 situace před realizací TPEO: neupravený DMT GEODIS 10x10 m
- 1.2 situace před realizací TPEO: DMT 3x3 m odvozený z LiDAR 5G s vyzdviženými budovami
- 2 situace po realizaci TPEO: DMT 3x3 m odvozený z LiDAR 5G s vyzdviženými budovami a sníženými koryty

2.3. Vstupní data

Digitální modely terénu

Příprava DMT GEODIS spočívala pouze v oříznutí celorepublikové vrstvy na modelované území.

Příprava DMT z bodových dat LiDAR začínala odvozením jeho rastrové podoby v rozlišení 3x3 m pomocí nástrojů dostupných v prostředí ArcGIS (ASCII 3D to Feature Class, Terrain to Raster). Dále byla z vrstvy budov mapového díla ZABAGED[®] (BudovaBlokBudov.shp) odvozena rastrová vrstva s hodnotou 5 v místě budov a hodnotou 0 v ostatních plochách. Tato vrstva byla následně přičtena k DMT LiDAR a vznikl tak upravený DMT s budovami vyzdviženými nad terén o 5 m simulující tak složité odtokové poměry v intravilánu obce.

Pro scénář č. 2 byla nejprve vytvořena vektorová vrstva reprezentující příkopy TPEO podle dostupných podkladů, která byla dále upřesněna a doplněna podle vystínovaného DMT LiDAR 5G a ortofotomapy CENIA (viz Obr. 1). Tento systém svodných prvků v některých místech dosahuje za hranici přirozeného povodí a tak zachytává a svádí i povrchový odtok ze sousedních povodí. Tato skutečnost byla zohledněna rozšířením hranice modelovaného území o tyto plochy (viz Obr. 3).

Aby se předešlo „vytékání“ povrchového odtoku z koryt příkopů v místech propustků a mostků, bylo přistoupeno k „zapuštění“ koryt příkopů a vodních toků do DMT. Pixely DMT v místě koryt byly pomocí nástrojů ArcGIS sníženy o 1 m. To samozřejmě vede ke zvýšení sklonu terénu v březích těchto koryt. Aby nedošlo k nechtěnému zvýšení eroze v těchto pixelech, byly plochy koryt a jejich břehů zařazeny do speciální kategorie využití území, jak je popsáno dále v kapitole o přípravě vrstvy využití území.

Využití území a vstupní parametry ploch

Potřebné rastrové vrstvy využití území byly vytvořeny z vektorové vrstvy kombinující vektorové podklady ZABAGED[®] a LPIS a doplněné o informace z leteckých snímků. Tento postup byl zvolen proto, aby se využilo co nejvíce z potenciálu dostupných vektorových vstupních vrstev a na druhé straně eliminovaly jejich nedostatky pro modelování v Erosion 3D.

Jako základ byly použity polygony farmářských bloků LPIS a mezilehlé „prázdné“ plochy byly doplněny nejprve z polygonových vrstev ZABAGED[®]. Tato vrstva souvisle pokrývala modelovanou plochu a poměrně přesně určovala hranice jednotlivých kategorií využití území, ale obsahovala potenciálně chybné definice kategorií mimo plochy LPIS vycházející z agregace různých kategorií ploch v zdrojových vrstvách ZABAGED[®] („Orná půda a ostatní neurčené plochy“, „Ovocný sad, zahrada“). Následně tedy byly manuálně upřesňovány kategorie ploch mimo ornou půdu zejména podle leteckých snímků.

Protože byl kladen důraz na chování odtoku v intravilánu, byly v plochách sídel kategorie využití také porovnány s leteckými snímky a případné neshody opraveny. Zde se jednalo zejména o nesprávné zařazení

do kategorie zpevněných ploch, i když tyto plochy byly podle ortofotomapy zřejmě souvislou vegetací porostlé plochy zahrad nebo parků.

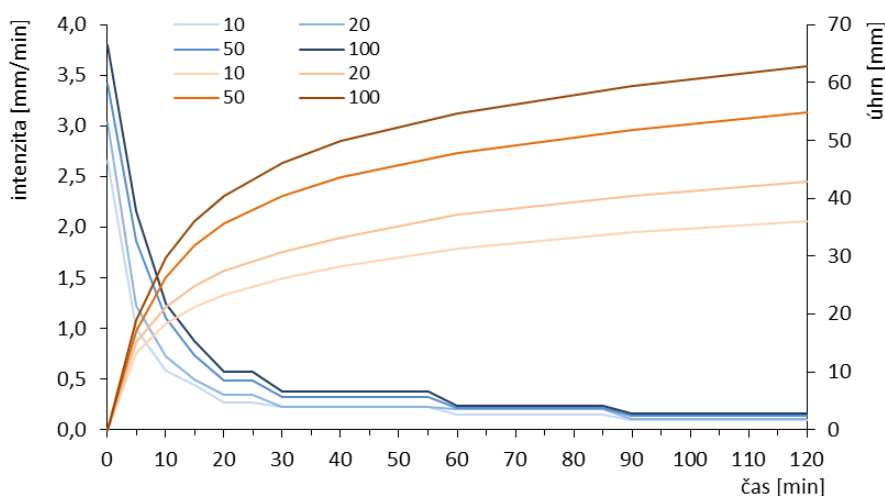
Takto vzniklá vrstva využití ploch je použita pro 2. scénář, protože všechny použité podklady zachycují situaci již s realizovanými TPEO. Z této vrstvy byla následně odvozena vrstva pro 1. modelovaný scénář a to změnou definice kategorií odpovídající situaci před realizací TPEO tak, že kategorie využití území pro plochy protierozních prvků byla změněna na ornou půdu a plochy poldrů byly změněny na příslušnou kategorii podle podkladů ZABAGED[®], viz. Obr. 3.

V rámci jednotlivých kategorií využití území byly půdní vlastnosti uvažovány jako homogenní. Zrnitostní složení půdy bylo určeno z odebraných vzorků a další půdní parametry byly následně odvozeny z katalogů vstupních dat software Erosion 3D (Michael, Schmidt, Schmidt, 1996). Parametry antropogenních ploch byly určeny podle zkušeností z minulých let a doporučení Michaela von Wenera, jednoho z tvůrců modelu. Stav povrchu orné půdy byl v celém území uvažován pro nejhorší možný případ tedy seťové lůžko v jarních měsících těsně před nebo po zasetí plodiny. Z toho vyplývá i parametr půdního pokryvu, který byl pro ornou půdu uvažován nulovou hodnotou.

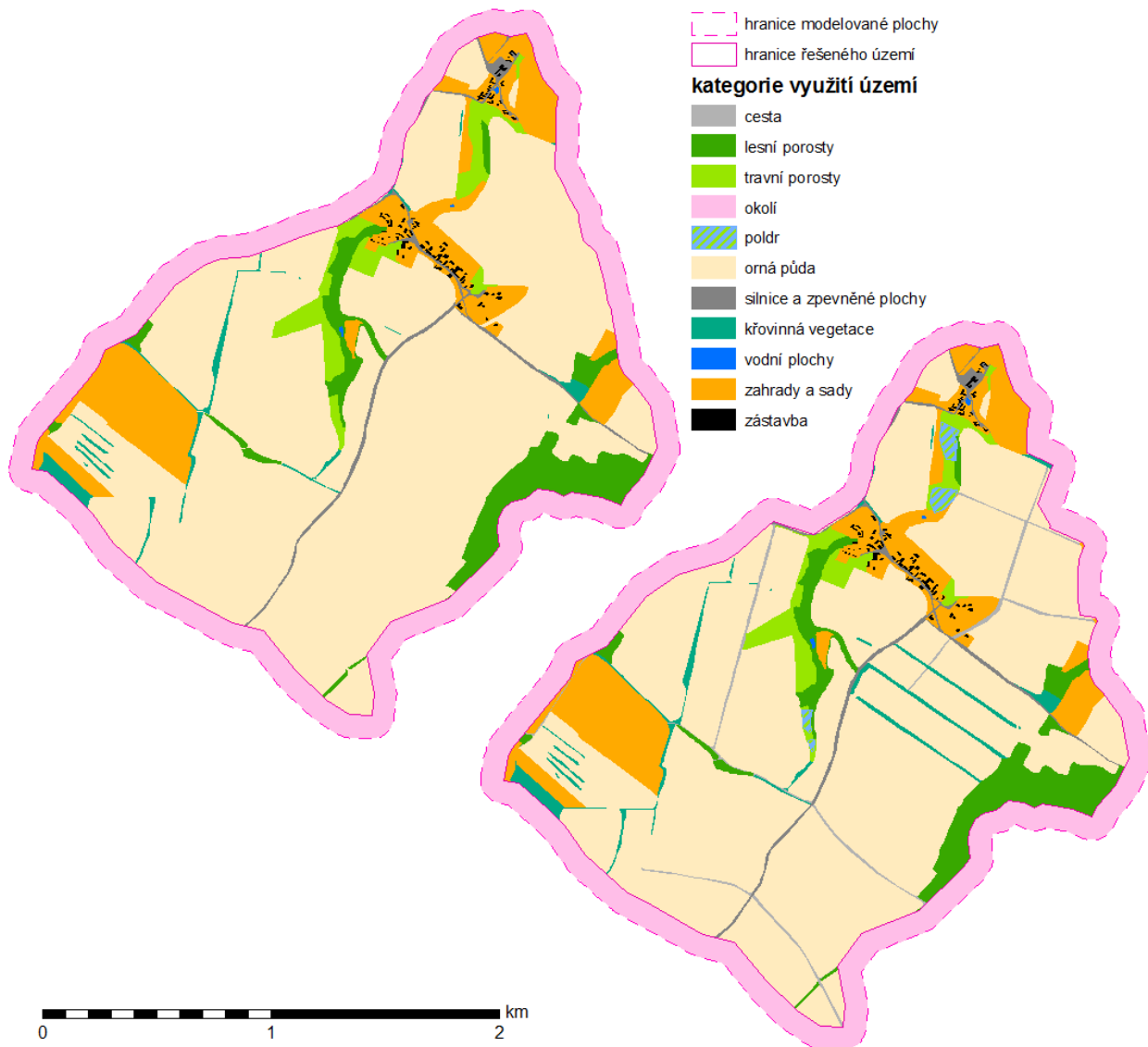
Pro scénář 2 byla rastrová vrstva využití dále upravena tak, aby se předešlo nežádoucím efektům v korytě a na březích, které by mohly být způsobeny snížením koryt příkopů a vodních toků, tak jak je popsáno v kapitole o přípravě DMT. Pomocí logických operací byl porovnán model terénu před a po „zapuštění“ koryt, a pokud se v daném pixelu lišila nadmořská výška terénu nebo hodnota sklonu terénu, byla kategorie v tomto pixelu nahrazena novou hodnotou reprezentující koryto vodního toku. Tento postup zajistil, aby se uměle vytvořené cesty soustředěného odtoku nevyskytovaly ve „snadno erodovatelné“ kategorii využití území, zejména na orné půdě.

Srážky

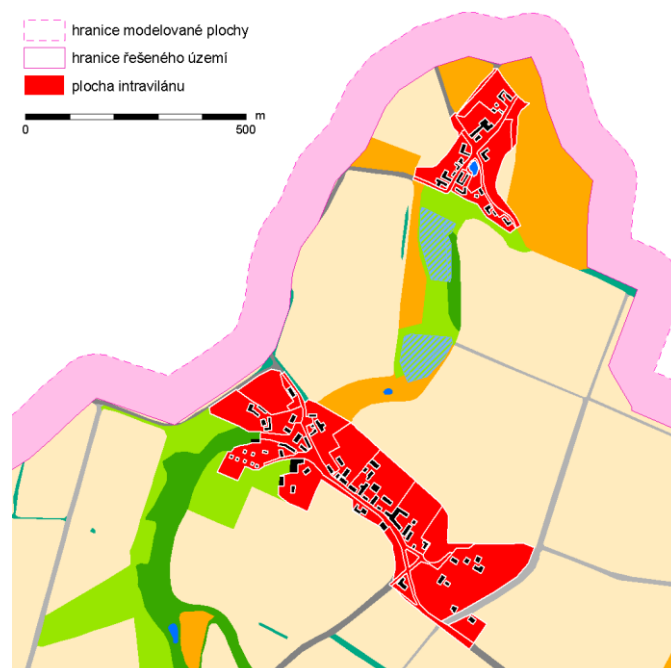
Jednotlivé scénáře byly zatěžovány syntetickými srážkami s dobou trvání 120 minut a dobou opakování 10, 20, 50 a 100 let. Celkový úhrn návrhové srážky s dobou trvání 120 minut byl získán pomocí redukce 1-denních maximálních úhrnů podle Trupla (1958) in Hrádek a Kovář (1995). Denní úhrny srážek byly získány z údajů pro stanici Nová Ves u Kolína získaných z Truplovy (1958) publikace pro dobu opakování 10 a 20 let, pro dobu opakování 50 a 100 let pak pro stejnou stanici z publikace Šamaj a Valoviče (1985). Časový průběh srážky byl odvozen analogií s Truplovým postupem pro redukci 1-denních úhrnů. Získané hodnoty úhrnů byly převedeny na sérii intenzit v mm/min, tak jak jsou potřeba pro použití v modelu Erosion 3D, viz Graf 1. Pro všechny modelované situace byl zvolen časový krok výpočtu 5 minut.



Graf 1. Časový průběh úhrnu a intenzity návrhových srážek



Obr. 3. Definice kategorií využití území (scénář 1 vlevo nahoře)



Obr. 4. Plošná definice ploch intravilánu (obec Čertovka severně)

3. VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

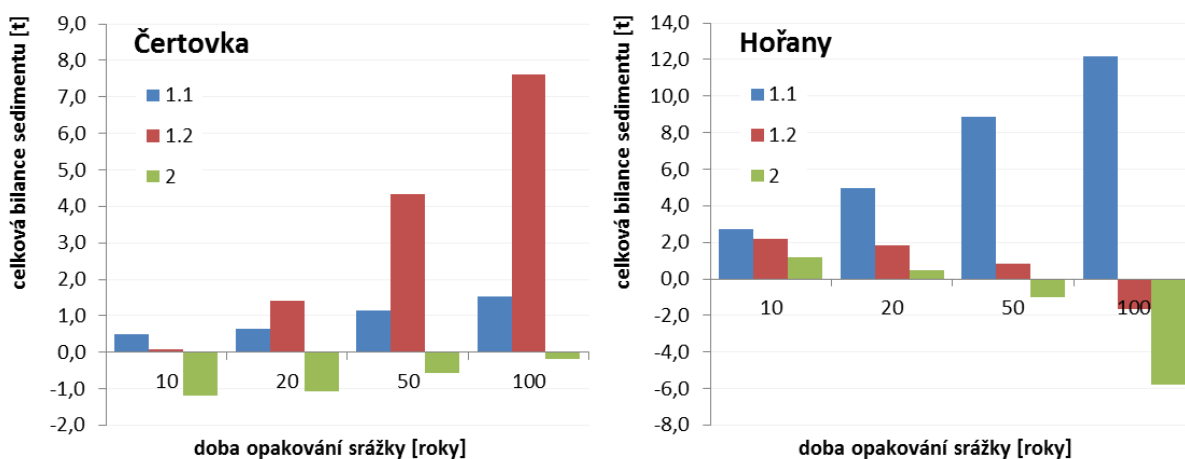
Výstupem modelování v software Erosion 3D je množství rastrových vrstev, z nichž byla pro porovnávání výsledků zvolena vrstva „sedbudget“, která reprezentuje výslednou bilanci materiálu v každém pixelu modelovaného území v posledním časovém kroku simulace. Hodnoty jsou programem ukládány v kg/m^2 a jsou dále přepočteny na hodnoty v t/ha . Záporná hodnota značí erozi, kladná depozici. Dopad erozních jevů byl kvantifikován pomocí statistik hodnot rastrové vrstvy sedbudget v plochách jednotlivých kategorií využití území (Zonal Statistics as Table).

V plochách intravilánu obcí byly vypočteny statistiky jak celkově za celou obec tak na jednotlivých polygonech odvozených z definice ploch dle mapového díla ZABAGED® (viz Obr. 4). V Tab. 1 je uvedená celková bilance materiálu v jednotlivých obcích (eroze záporná), v Graf 2 pak tytéž hodnoty graficky.

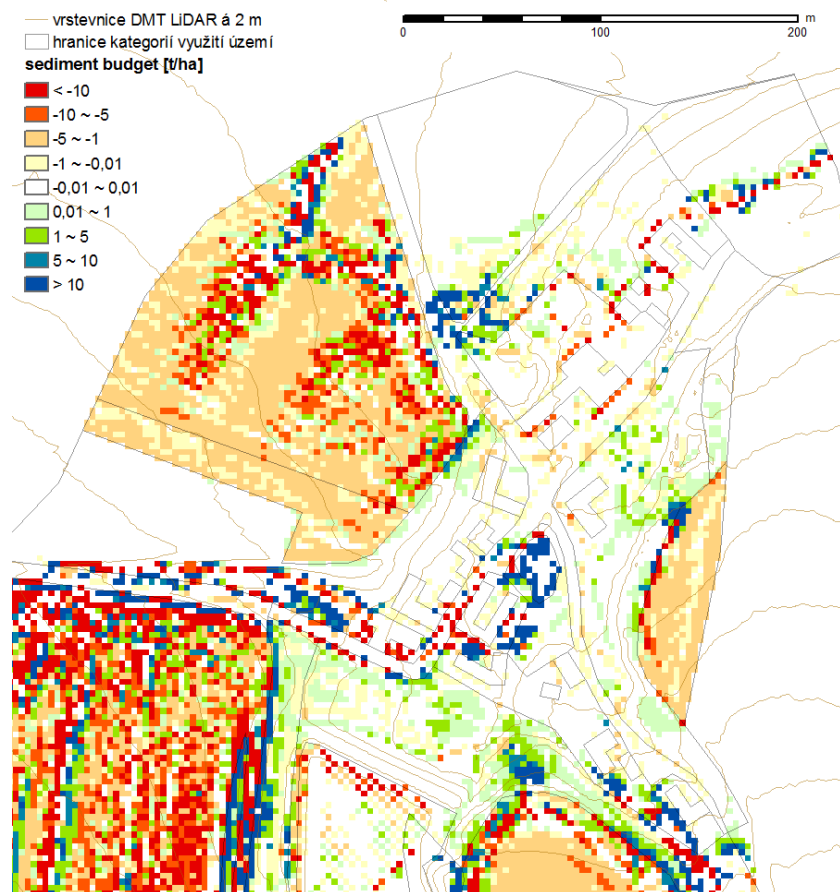
Plošná distribuce erozních jevů je ilustrována ukázkou map „sedbudget“ pro scénáře 1.2 a 2 a návrhovou srážku s dobou opakování 100 let na Obr. 5 až Obr. 8.

Tab. 1. Celkové množství materiálu erodovaného/deponovaného v intravilánu v tunách

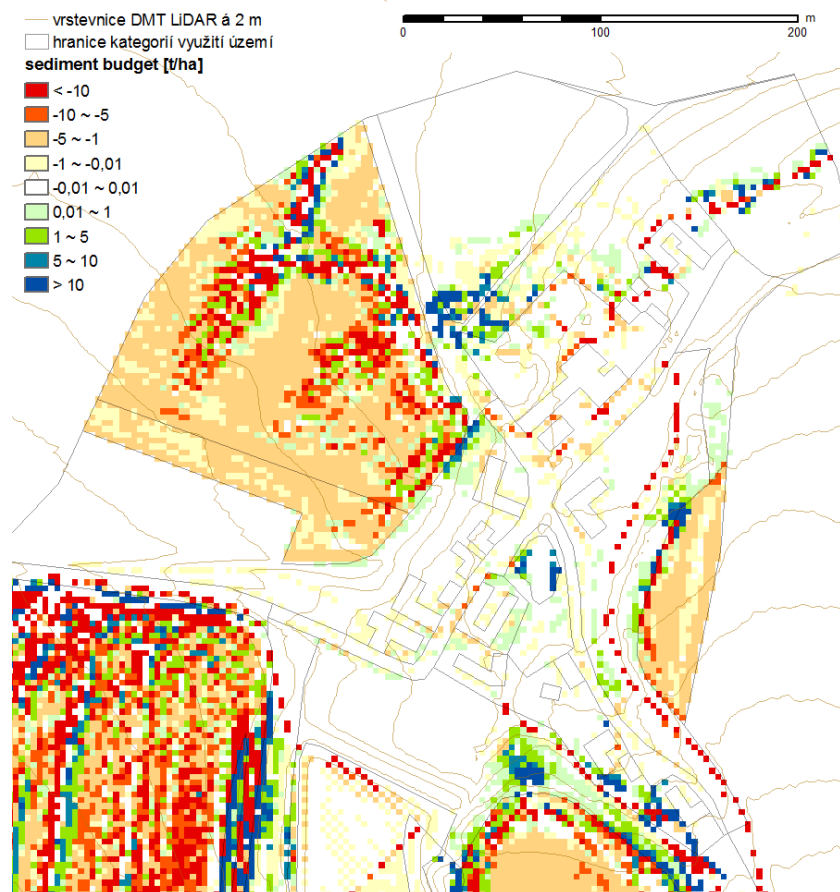
scénář:		1.1				1.2				2			
obec ↓	doba opakování →	10	20	50	100	10	20	50	100	10	20	50	100
Hořany		2,7	5,0	8,9	12,2	2,2	1,8	0,8	-1,7	1,2	0,5	-1,0	-5,8
Čertovka		0,5	0,6	1,1	1,5	0,1	1,4	4,3	7,6	-1,2	-1,1	-0,6	-0,2



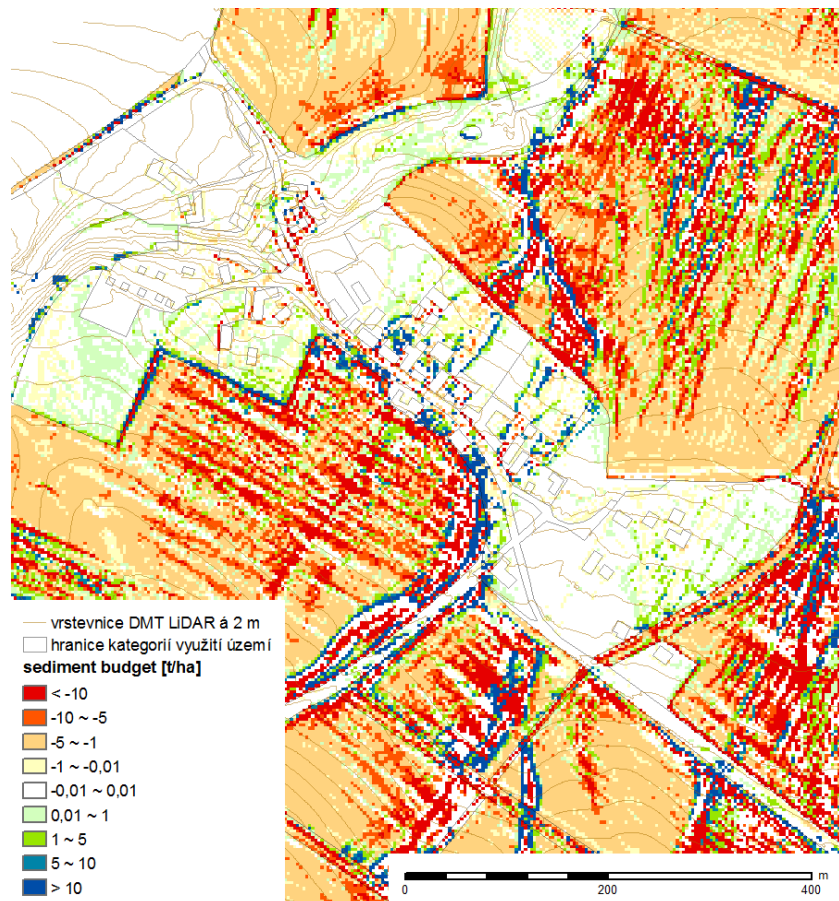
Graf 2. Celková bilance materiálu v intravilánu sídel podle jednotlivých scénářů a zátěžové srážky



Obr. 5. Detail obce Čertovka, scénář 1.2, srážka 100



Obr. 6. Detail obce Čertovka, scénář 2, srážka 100



Obr. 7. Detail obce Hořany, scénář 1.2, srážka 100



Obr. 8. Detail obce Hořany, scénář 2, srážka 100

4. DISKUZE VÝSLEDKŮ

I když nebyl k dispozici digitální model terénu odpovídající situaci před realizací technických protierozních opatření v povodí, byly rozdíly mezi modelovanými scénáři uspokojivě v souladu s očekáváním. Modelovaný scénář 1.1 na DMT GEODIS 10x10 m nelze přímo porovnávat s dalšími modelovanými scénáři na podrobném DMT 3x3 m, neboť zdroj výšek, aktualita i podrobnost jsou zcela odlišné. Odezva modelu na použitý DMT v intravilánu je výrazně odlišná (viz Graf 2). To je zřejmě způsobeno vyzdvižením budov na DMT LiDAR, což výrazně mění směřování odtoku v plochách se zástavbou a tím i intenzitu a distribuci erozních jevů.

Ze srovnání výsledků scénářů 1.2 a 2, je jasně patrný vliv realizovaných TPEO na projevy eroze v intravilánu a to opět v absolutních hodnotách i plošné distribuci. Nejvýraznější je rozdíl v plochách obce Čertovka, kde namodelovaný příkop ve scénáři 2 odvádí naprostou většinu odtoku směrem do Hořanského potoka. Intenzivní a na sediment bohatý odtok z plochy pole jihozápadně od obce se tak nedostává do intravilánu a místo depozice dochází k odnosu materiálu.

V obci Hořany není rozdíl mezi scénáři 1.2 a 2 tak výrazný a oba modely jeví stejný trend s rostoucí intenzitou srážky. V případě situace s realizovanými TPEO je pro stoletou srážku celková hodnota eroze dokonce zhruba 3x větší než pro situaci bez realizovaných TPEO. Důvodem je nedokonalé vymodelování sítě příkopů, která část odtoku svádí přímo do intravilánu. Druhým důvodem je, že většina sedimentu je do obce přiváděna z pozemku orné půdy, který přímo navazuje na „centrum“ obce od jihozápadu, kde se nenacházejí žádné prvky, které by odtok z tohoto pozemku odváděly jinam. Z map bilance materiálu je patrné, že „vyzdvižení“ budov v sídlech přijatelně simuluje složité odtokové poměry v obci, ale reálná situace by byla ještě komplikovanější o přítomné ploty a zídky, které není možné zahrnout do modelování ve zvoleném měřítku.

I když jsou vstupní data odvozena podle postupů doporučených tvůrci programu, jedná se pouze o teoretickou úlohu, protože nejsou k dispozici žádné měřené hodnoty pro verifikaci výstupů a ve zvoleném měřítku je jejich získání prakticky nemožné. Všechny výstupy tedy mohou sloužit pouze pro porovnání modelovaných situací a sledování „chování“ modelu se zvolenými vstupy.

5. ZÁVĚR

Celkově lze říct, že modelování prvků technických protierozních opatření pomocí Erosion 3D na velmi přesném digitálním modelu terénu je možné a při kvalitní přípravě DMT dává uspokojivé výsledky. Při použití uvedeného přístupu pro modelování odtoku v intravilánu jsou off-site efekty zachyceny ve shodě se zkušenostmi z reálného světa. Díky nemožnosti jakkoliv verifikovat výstupní data není vhodné takto sestavený model použít jako zdroj návrhových stavů pro posouzení účinnosti prvků TPEO, je ale možné použít jej pro návrh struktury a umístění těchto prvků. Pro porovnání alternativních návrhů může být jejich namodelování v Erosion 3D velmi cenou pomůckou pro optimalizaci rozsahu a umístování ochranných prvků ve vztahu k ochranně orné půdy i sídel.

LITERATURA

Michael A., Schmidt J., Schmidt W. A. - EROSION 2D/3D, Parameter Catalog Application (2D), Technische Universität Bergakademie Freiberg, 1996

Hrádek, F., Kovář, P. (1997) Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů. Metoda redukce 1-denních maximálních srážkových úhrnů. Vodní hospodářství 11/12, str. 79-53

Trupl, J. (1958) Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Práce a studie č. 97. Praha, VÚV.

Šamaj, F., Valovič, Š., Brázdil, R. (1985) Denné úhrny srážek s mimoriadnou vydatností v období 1901 - 1980. Zborník prác SHMÚ Bratislava