

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí
Katedra: Katedra krajinného managementu
Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vyhodnocení vlivu potenciálně vybudovaných protierozních opatření
pomocí modelování v GIS

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.

Autor: Bc. Karel Kokejl

České Budějovice, červen 2020

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Karel KOKEJL**
Osobní číslo: **Z18034**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Téma práce: **Modelování vlivu potenciálně vybudovaných protierozních opatření na vybraném území**
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

Zásady pro vypracování

Eroze půdy je proces degradace půdy způsobující omezení či úplnou ztrátu jejich produkčních schopností. Jedná se o přírodní proces, který je ale stále více zesilován činností člověka, což se projevuje rostoucím odnosem půdy. Zmírnit tento proces lze aplikací protierozních opatření. Cílem této práce je modelové ověření účinnosti potenciálně vybudovaných protierozních opatření na vybraném území.

Rámcový obsah DP:

Rešerše na dané téma.

Výběr vhodného území a jeho popis.

Výběr vhodného modelu a jeho popis.

Zpracování problematiky na konkrétních datech:

- analýza současného stavu území z pohledu eroze
- návrhy PEO
- kvantifikace vlivu navržených PEO

Vyhodnocení, diskuze a závěr.

Rozsah pracovní zprávy: **50 stran textu**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Doležal, P., Pavlík, M., Střítecký, L., Dumbrovský, M., Martének, J. 2010. Metodický návod k provádění pozemkových úprav. Praha: Ministerstvo zemědělství – Ústřední pozemkový úřad. 173 s.
- Daňhelka, J., Krejčí, J., Šálek, M., Šercl, P., Zezulák, J. Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. ČZU Praha, Praha, 2002, 214 s.
- Janeček, M. Ochrana zemědělské půdy před erozí (Agricultural land protection against erosion). Prague: ISV nakladatelství; 2002, 254 p.
- Kovář, P. Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích. ČZU Praha, Praha, 2000, 136 s.
- Manuály programů pro hydrologické modelování.

časopisy: Journal of hydrology, Physics and chemistry of the earth, Water science and technology, Soil and water research, atd.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.
Katedra krajinného managementu

Datum zadání diplomové práce: 11. března 2019

Termín odevzdání diplomové práce: 15. dubna 2020

V Českých Budějovicích dne 11. března 2019

ČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentická 1698, 370 05 České Budějovice



prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

L.S.



doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum: 30.6.2020

.....

Bc. Karel Kokejl

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá tématem vodní eroze. Konkrétně se jedná o zmírnění tohoto procesu pomocí aplikace vhodného protierozního opatření. Jedním z cílů této práce je tedy pro vybrané území navrhnout vhodný systém protierozního opatření se zaměřením na technické protierozní opatření. Dalším cílem je toto technické protierozní opatření implementovat do stávajícího digitálního modelu reliéfu a ověřit jeho funkčnost pomocí rovnice USLE v GIS (v tomto případě v programu ArcMap) a modelováním povrchového odtoku. V teoretické části práce je čtenář seznámen se základy vodní eroze, jejím stanovení a protierozní ochranou. Poté je představeno zájmové území a metodický postup práce, který je zaměřen především na výpočet eroze a dimenzování protierozních opatření.

Klíčová slova: vodní eroze, protierozní opatření, USLE, CN křivky, GIS, digitální model terénu

Abstract

This diploma thesis deals with the topic of water erosion. Specifically, it is a matter of mitigating this process by applying a suitable anti-erosion measure. One of the goals of this work is that a suitable system of anti-erosion measures with a focus on technical anti-erosion measures is proposed for the selected area. Other technical aspects of implementation into the existing digital elevation model and verification of its functionality using the USLE equation in GIS (in this case in the ArcMap program) and modeling of surface runoff. In the theoretical parts of the work, the reader is acquainted with the basics of water erosion, detection of water erosion and anti-erosion hazards. Then it is introduced the introduction of the area of interest and the methodological procedure of the work, which is focused mainly on the calculation of erosion and dimensioning of anti-erosion measures.

Keywords: water erosion, anti-erosion measures, USLE, CN, GIS, digital elevation model

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné a vstřícné vedení, trpělivost, ochotu a cenné rady během tvorby této diplomové práce. Poděkovat bych chtěl také Ing. Janě Moravcové, Ph.D. a Ing. Miloslavu Jodlovi za doplňující rady. Závěrem bych chtěl poděkovat mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala a motivovala.

Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Literární přehled problematiky	10
2.1	Pozemkové úpravy	10
2.1.1	Protierozní opatření v plánu společných zařízení	10
2.2	Vodní eroze	11
2.2.1	Druhy vodní eroze.....	12
2.2.2	Příčiny vodní eroze	13
2.2.3	Dopady vodní eroze	14
2.3	Stanovení eroze	16
2.3.1	USLE.....	16
2.3.2	Další metody pro stanovení eroze	19
2.4	Ochrana půdy a protierozní opatření proti vodní erozi	21
2.4.1	Plánování protierozních opatření	22
2.4.2	Organizační PEO.....	23
2.4.3	Agrotechnická PEO.....	24
2.4.4	Technická PEO.....	26
3.	Cíl práce	30
4.	Materiály	31
4.1	Zájmové území	31
4.2	Digitální model reliéfu 5. generace	34
4.3	Podklady pro výpočet eroze	35
5.	Metodika	37
5.1	Stanovení erozní ohroženosti pomocí USLE v GIS	37
5.1.1	Vyjádření faktorů v GIS.....	37
5.1.2	Dosazení do rovnice USLE.....	39
5.2	Dimenzování technických protierozních opatření.....	39
5.2.1	Umístění technických protierozních opatření	39
5.2.2	Stanovení přímého odtoku pomocí CN křivek.....	40
5.2.3	Dimenzování příkopů a průlehů.....	42
6.	Výsledky a diskuse.....	45

6.1	Vytvoření DMR 5G.....	45
6.2	Modelování eroze v prostředí ArcMap.....	46
6.3	Návrh PEO	52
6.3.1	Protierozní řešení DPB č. 5.....	56
6.3.2	Protierozní řešení DPB č. 2.....	58
6.3.3	Protierozní řešení zbylých DPB.....	60
6.4	Dimenzování TPEO	62
6.5	Modelování TPEO do digitálního modelu reliéfu.....	65
7.	Závěr	72
8.	Seznam literatury	73
9.	Seznam obrázků, map, tabulek a grafů:	82
10.	Přílohy	84

1. Úvod

Od počátku věků člověk mění krajinu kolem sebe. Za posledních pár desítek let se však tento proces výrazně urychlil. Lidé často nehledí na rozumné využívání půdy a vysávají půdu za účelem větší produkce. Jaké má toto jednání důsledky, se dnes můžeme přesvědčit velmi jednoduše. Konkrétně v České republice jsou pole v důsledku minulého režimu a dnešního intenzivního zemědělství tak velká rozlohou, že je obtížné ochránit tuto půdu před následky vodní či větrné eroze. Právě vodní eroze, která degraduje půdy a snižuje jejich produkční sílu, je v České republice nejničivější. Velký problém je také sucho. Z polí vymizely remízky a ostatní prvky zeleně, které pomáhaly zadržovat vodu. Naštěstí lidstvo došlo k poznání, že tento vývoj je neudržitelný a začalo přírodu chránit.

Jedním z možných nástrojů nápravy jsou pozemkové úpravy. Vzhledem k zaměření práce je vhodné zmínit opatření právě proti nejrozšířenější erozi u nás – vodní erozi. Protierozní opatření v rámci pozemkových úprav můžeme vnímat několika způsoby – rozdělení velkých půdních bloků, změnou hospodaření na pozemku či vytvoření technických prvků, které snižují erozní účinnost vody nebo ji můžou dokonce zadržovat. Hlavní podstatou je, že na takto chráněné zemědělské půdě nedochází ke škodám, ať už se jedná přímo o ztrátu půdy, poškození plodin apod.

Stejně jako v ostatních oborech se pomocníkem pozemkových úprav během posledních desetiletí staly informační technologie. Ty slouží v mnoha podobách (GIS, CAD apod) ke zpracování dat o území (digitální model), k přímému stanovení eroze, k vymezení odtokových poměrů nebo pro samotné návrhy právě protierozních opatření.

Jednotlivé kapitoly práce jsou provázané tak, abychom mohli použít obecné znalosti k řešení problematiky. Nejprve je třeba seznámit se s problematikou v teoretickém přehledu problematiky týkající se vodní eroze, jejího stanovení a protierozních opatření. V následující kapitole je poté čtenář seznámen s materiálem a s územím, na kterém je problematika řešena. V kapitole Metodika jsou shrnuty postupy a metody, podle kterých je v práci postupováno.

2. Literární přehled problematiky

Tato práce se neobejde bez teoretických a informačních základů, se kterými se lze seznámit prostřednictvím publikací zkušených specialistů na dané téma. Tyto základy přináší následující stránky této kapitoly v podobě literárního přehledu problematiky

2.1 Pozemkové úpravy

Pozemkové úpravy přibližuje Burian (2010) jako změnu v chápání vztahu ke krajině a přírodě ve smyslu obnovení osobního vztahu lidí k půdě a místu, kde žijí. Zároveň má tento nástroj přinést hospodářský růst a ekonomickou stabilitu venkova. Funkční a prostorové uspořádání pozemků, scelování a dělení pozemků, zabezpečení přístupnosti a využití pozemků, vyrovnání hranic – to vše pro vytvoření racionálního hospodaření vlastníků půdy zadává pozemkovým úpravám konkrétně zákon o pozemkových úpravách a pozemkových úradech č. 139/2002 Sb. Určitě nesmí být opomenuto to, že pozemkové úpravy také zajišťují zvýšení ekologické stability krajiny, zlepšení podmínek pro životní prostředí, vodní hospodářství a pro tuto práci podstatnou ochranu a zúrodnění půdního fondu (Podhrázká, 2010). Výsledkem provedených úprav je obnovený digitalizovaný katastr nemovitostí, uspořádané pozemky a k nim jasně definovaná práva. Další zásadním výsledkem je plán společných zařízení, který je přiblížen v následující podkapitole. Ukončená pozemková úprava také slouží jako podklad pro další rozvoj území – např. územní plánování (Ministerstvo zemědělství, 2010).

2.1.1 Protierozní opatření v plánu společných zařízení

Ochranná opatření proti vodní erozi jsou v pozemkových úpravách řešeny (společně s opatřeními k zpřístupnění pozemků, vodohospodářských opatření apod.) v tzv. plánu společných zařízení. Ten tvoří kostru nového uspořádání zemědělské krajiny, a plní tak cílených výsledků pozemkových úprav, které jsou uvedeny v zákoně 139/2002 Sb. nebo 254/2001 Sb., o vodách a změně některých zákonů. Konkrétněji se jedná o vytváření podmínek k racionálnímu hospodaření a zabezpečení ochrany půdního fondu (Homoláčová a Groušlová, 2019). S opatřeními proti vodní erozi, které jsou vlivem plánu společných zařízení spjaty s pozemky, se musí dle vyhlášky č. 13/2014 Sb. seznámit také všichni majitelé.

Plán společných zařízení tvoří projektanti, kteří v rámci pozemkové úpravy řeší hydrotechnické, hydrologické či hydrogeologické podmínky navržených protierozních opatření a projektují tato opatření dle platných norem a předpisů (Němec, 2014). Takto navržená opatření jsou poté projednána se sborem zástupců, zastupitelstvem a v neposlední řadě také s vlastníky a státní správou. Vlastnictví přechází většinou na obec nebo na stát (Ministerstvo zemědělství, 2010). Podhrázská (2010) poukazuje na to, že společná zařízení by se měla vzhledem k záboru půdy navrhovat polyfunkční, protože státních pozemků pro realizaci společných opatření je minimum a při nedostatku se pro účel výstavby úměrně odebírá půda od všech vlastníků. Ukázkovým příkladem může být cesta, která slouží jednak jako opatření k zpřístupnění pozemků a jednak jako protierozní opatření.

2.2 Vodní eroze

Eroze je přirozený jev způsobující degradaci půdy vlivem většinou biotických činitelů. Na naší planetě se vyskytuje již od nejstarších dob a postupem času přispívala a nadále přispívá k modelování zemského povrchu. S růstem populace a s intenzifikací zemědělství už eroze nepůsobí jen jako přírodní proces, ale nese také ekologické a ekonomické dopady. Vodní erozi, která je nejrozšířenější z erozních procesů, popisuje Lal (2001) jako třífázový proces. První fáze je označována jako oddělení půdních částic – u vodní eroze je to kapka, přesněji řečeno její kinetická energie, která narušuje půdu. V druhé fázi jde o transport erodovaných půdních částic (především plošným odtokem), které jsou následně ve třetím procesu sedimentovány.

Tento druh eroze působí ve střední Evropě mezi dalšími druhy (ledovcová, sněhová, větrná, zemní, antropogenní) největší škody. Vodní eroze může škodit ve čtyřech formách. Korozí se označuje proces mechanického působení, chemické působení se nazývá koroze. Ve vodních korytech dochází k vymílání krouživými pohyby neboli everzi (také evorzi) a obušování skalního podkladu v řekách a na pobřeží dochází k abrazi (Holý, 1994).

Podle databáze Eurostatu (2020) z roku 2016 jsou vodní erozí zasaženy předně alpské země EU (Itálie, Slovinsko nebo Rakousko), dále například Španělsko, jižní Francie nebo Skotsko. Naopak nejméně jsou zasaženy rovinaté země – Finsko, Estonsko nebo Nizozemsko. Celkově je dle Šarapatky (2014) zasaženo vodní erozí na 112 mil. ha Evropského kontinentu. Novotný a kol. (2017) uvádí, že v České

republiky je zasaženo vodní erozí až 50 % výměry zemědělsky obhospodařované půdy (následuje větrná eroze, která zasahuje na 10 % půdy). K tomuto údaji přispívá fakt, že na většině zemědělské půdy chybí ochranná opatření, která by škodám zamezovala. K snížení dopadů vodní eroze však také nepomáhá ani to, jakým způsobem je zemědělská půda obdělávána. Podrobněji v následujících kapitolách.

2.2.1 Druhy vodní eroze

Vodní erozi lze rozdělit dle různých kritérií. Jedním z nich může být vliv antropogenní činnosti. Eroze ovlivněná touto činností se nazývá zrychlená. Zrychlená kvůli antropogenní činnosti při hospodaření, po kterém se půda nestačí přirozeně obnovit, čímž dochází ke ztrátě půdy (Novotný a kol., 2017). Naopak eroze normální je přirozeným přírodním jevem a je jedním ze základních půdotvorných procesů. Jejím vlivem dochází, stejně jako u antropogenní, k přetváření reliéfu, avšak půda se při této erozi stačí postupně obnovovat (Vopravil a kol., 2013).

Z hlediska účinku vody na půdním povrchu lze erozi členit na plošnou, rýhovou výmlovou nebo proudovou. Jak již název napovídá, u *plošné eroze* se narušení a transport půdních částic odehrává na celé ploše poškozeného území. V první řadě se jedná o narušování půdy dopadem kapek na zemský povrch, čímž jsou uvolněny částičky půdy. Nejprve jsou vodou odnášeny nejjemnější částičky (selektivní eroze) s obsahem živin a humusu, a eroze tak za sebou zanechává půdu s nižší úrodností. Tato část je při prvním pohledu těžko zpozorovatelná. Při větším přívalovém dešti nebo záplavách dokonce může nastat situace, kdy je smyta celá orníční vrstva – tento druh eroze má přívlastek vrstevnatá (Soukup, 2008).

Dalším typem je *eroze rýhová*. Dá se říci, že volně navazuje na předchozí typ. Zde už nedochází ke splachu, ale k vymílání přímo tekoucím proudem vody. Voda způsobující plošnou erozi se nestačí vsakovat a naakumuluje se na povrchu půdy, kde začínou vznikat malinkaté brázdičky nebo rýhy. Často je jich na jedné ploše více, jsou souběžné a přímočaré, jejich směr však může ovlivnit orientace agrotechnických prací. V průběhu srážek se začínají tvořit menší rýhy a brázdy, které se se sílící intenzitou spojují a voda získává na síle, čímž se vytvářejí větší a hlubší rýhy. V nich dochází k soustřednému odtoku, a tedy i vymílací schopnost vody je mnohem větší. Přejít na erozi rýhovou ovlivňuje především délka a sklon svahu a intenzita srážek (Holý, 1994).

Třetím druhem je *eroze výmolová* – v podstatě další navazující cyklus na předchozí rýhovou erozi. Vlivem spojování erozních rýh se vymílací síla vody zvětšuje a nastává proces vymílání půdy v zhlaví rýhy. V rýze je pak více prohlubováno dno zářezu a posouvá se postupně směrem ke svahu (označována jako zpětná eroze). Zatímco rozměry rýh u rýhové eroze se pohybovaly v centimetrech, u výmolové eroze se jedná až o jednotky metrů. S větší vymílací schopností pak vznikají postupně výmolové brázdy, výmoly a konečně strže a rokliny, které mohou dosahovat až desítky metrů do hloubky.

Eroze proudová (nebo také říční) se už téměř netýká zemědělské půdy. Jedná se o erozi, která probíhá v korytech vodních toků. Dělit ji ještě lze podle toho, kde probíhá – zda na dně (eroze dnová), nebo voda vymílá břeh (eroze břehová) (Cáblík a Jůva, 1963).

2.2.2 Příčiny vodní eroze

Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole, erozní ohroženost půd zapříčiňuje několik faktorů, které budou následně popsány. Pro vodní erozi na zemědělské půdě ve vnitrozemí jsou prvořadým činitelem kapalná srážky. Každá kapka deště má kinetickou sílu, kterou odlamuje částičky půdy od země. Pro erozi je zásadní množství a intenzita srážek – jako erozně nebezpečné jsou dle rovnice USLE považovány hodnoty, kdy úhrn překročí 12,5 mm nebo kdy je intenzita srážky 6,25 mm za 15 minut. Platí, že v České republice probíhají 4 z 5 erozně nebezpečných dešťových srážek během měsíců červen – srpen (Novotný a kol., 2017).

Vodní erozi v nemalé míře ovlivňují také morfologické charakteristiky – sklon, délka a tvar svahu. U sklonu je logické, že čím je sklon svahu vyšší, tím větší jsou škody. Lze se také setkat s označením kritického sklonu, což je sklon, kdy se plošný odtok mění v soustředěný. Co se týče délky svahu, je počítáno s tím, že čím delší je svah, tím větší rychlost nabírá odtok a tím se zvětšuje i jeho schopnost narušovat a unášet půdní částice. Tvar svahu (vypouklý, vydutý, přímý a kombinovaný) také neméně ovlivňuje míru eroze. Největší intenzitu nabírají erozní procesy na vypouklých svazích, kde dochází až k 1,25krát vyššímu smyvu než u ostatních typů (Holý, 1994).

Třetím významným činitelem jsou pedologické poměry (půdotvorný substrát, zrnitost, obsah humusu), které ovlivňují, jak lehce půda erozi podlehne. Jak popisují

Cáblík a Jůva (1963), tak obecně platí, že půdy, které obsahují menší půdní částice a zároveň špatně propouští vodu, snáze podléhají vodní erozi. Naopak půdy jílovité nebo půdy s hrubší zrnitostí jsou více odolné. Důležitá je však také skladba vrstev v půdním profilu.

Předposledním faktorem jsou biologické poměry, kde se jedná zejména o vegetační pokryv půdy. Ten chrání půdu před ničivým působením dešťových kapek, zároveň zpomaluje povrchový odtok a současně také zpevňuje půdu díky svým kořenovým systémům. Je také známo, že kořenové systémy rostlin mění k lepšímu infiltraci vody do půdy. Vliv má také to, jak husté řádkování má zasetá rostlina. Širší řádky znamenají menší pokryv před dešťovými srážkami, a tím pádem větší erozi půdy (Janeček, 2012).

Vyjmenovány byly především vlivy, které souvisí s přirozeným prostředím. Poslední, a možná nejzásadnější příčinou je antropogenní vliv člověka. Speciálně pro Českou republiku je potřebné uvést příklad lidského zásahu na vytvoření velkých půdních bloků (většinou s monokulturou). Ty byly dle Buriana a kol. (2011) vytvořeny za minulého totalitního režimu v jednotlivých fázích pozemkových úprav především mezi léty 1950-1974. Důvodem bylo maximální využití půdního fondu pro zemědělskou výrobu. Z krajiny také zmizely meze a remízky – tedy prvky, které přerušovaly délku svahu, a tím i zastavovaly vodní erozi. Vliv velkých půdních bloků by mohla změnit novela zákona, kterou připravuje Ministerstvo zemědělství. Ta plánuje rozdělit půdní bloky na menší části s výměrou maximálně 30 ha (Ministerstvo zemědělství, 2019). Vodní erozi také napomáhají samotní zemědělci, kteří nevhodně obhospodařují zemědělskou půdu. Jedná se především o špatnou organizaci zemědělského půdního fondu, pěstování nevhodných rostlin vzhledem ke svažitosti pozemků, špatné umístění osevních řádků nebo působení těžké agrotechniky (Švehlík, 2005). Nerušil a kol. (2015) přidává k nevhodným způsobům hospodaření pěstování monokultur, chybějící hluboko kořenicí kultury či rušení krajinných prvků.

2.2.3 Dopady vodní eroze

Eroze nenávratně poškozuje to, co je na orné půdě nejdůležitější – ornici. Nejprve jsou odnášeny nejmenší částice – ty jsou zastoupeny především velmi důležitou organickou složkou půdy (humusové částice, organismy a živiny), následují neméně důležité minerální složky (Nerušil, 2015). Tento smyv připravuje půdu o její

produkční schopnost. Novotný a kol. (2017) uvádí, že silně erodované půdy přicházejí až o 75 % hektarové výnosnosti, a tím pádem i o peněžní hodnotu pozemku. Ztráta půdy je nenávratná. Přestože se budují protierozní opatření zachytávající půdní sedimenty, nedochází k jejich návratu. Půda se tak obnovuje přirozenou cestou, jenže dva až třicetimetrová vrstva půdy trvá přírodě vytvořit minimálně stovku let. Mimo to se mění k horšímu fyzické vlastnosti půdy, jako je snížení propustnosti půdy nebo například k zvýšení šterkovitosti. Dochází rovněž ke ztrátě osiv, pesticidů a hnojiv.

Jak již bylo zmíněno, vodní eroze při transportu unáší mimo půdní částice i pesticidy a hnojiva. Tyto chemické složky (zastoupeny především dusíkem a fosforem) se se sedimentační vrstvou naakumulují např. na úpatí svahu, kde se mohou vsáknout do půdy a následně do spodních vod, které mohou být kontaminovány. Chemické látky se vlivem erozního odtoku dostávají také do povrchových vod. Především fosfor způsobuje tzv. eutrofizaci vody, která je charakteristická především pro stojaté vody. Jde o proces, při kterém dochází k podpoře množení a růstu řas, které z vody vyčerpávají kyslík. To má fatální následky především pro vodní živočichy, kteří jsou závislí právě na kyslíku (Kvítek a Tippl, 2003).

Nejen kvalitativně, ale i kvantitativně jsou erozí ovlivňovány vodní zdroje. Vodní toky jsou vlivem transportu erodovaných částic až do jejich koryt těmito částicemi zanášeny. Dochází tak k zvýšení dna, které zapříčiňuje zvýšení hladiny podzemních vod, což může znamenat vylívání vody z koryta. Takto zanesená koryta je poté nutno vyčistit, avšak vlivem čištění se naruší přírodní hodnoty toku. Problém se sedimenty je také u vodních nádrží. Když do nich voda vtéká, ztrácí rychlost, a tedy i sílu nést půdní částice, které se tak usazují u vtoku vodní nádrže. Stejně jako u vodních koryt dochází k zvýšení nivelety dna, klesá hladina vody, a to umožňuje růst vodních rostlin, které postupně snižují rychlost přitékající vody, čímž se ještě více umocňuje smytý nános zeminy. Nádrže je poté nutné odbahnit za nemalé finanční obnosy (Novotný a kol 2017).

Vodní eroze působí kromě zemědělské půdy také na samotný intravilán obcí a na technickou infrastrukturu. Ničivými faktory jsou povrchový odtok ze zemědělských pozemků a následný transport splavenin. Dle statistik vypracovaných Kapičkou a kol. (2014-2018) z dat Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy jsou v České republice spolu se zemědělskými plodinami erozí nejvíce postižené

komunikace (nad 40 % všech událostí), následují stavby a infrastruktury obcí a nejméně ničivé jsou erozní účinky na vodních útvarech.

2.3 Stanovení eroze

Otázku „Jak vyčíslit erozní ohroženost půdy?“ si kladli vědci již od 30. let 20. století. Jednalo se o empirické modely, tedy výpočty provedené na základě sběru dat pomocí experimentálního sledování vlivu již výše zmíněných příčinných faktorů na vodní erozi. Lal (2001) uvádí jména, jako jsou Baver, Zingg, Horton, Ellison nebo Musgrave, kteří v historii svými vědeckými postupy pomohli dojít asi k nejužnavanější rovnici USLE Wischmeiera a Smitha. Nevýhodou empirických modelů jsou dle Holého (1994) složité vazby velkého množství činitelů, které si žádají zjednodušení, a vedou tak k nepřesnosti výsledků. Často jsou také tyto modely vytvářeny pro konkrétní oblasti a pro ostatní místa je nutno přizpůsobit vliv činitelů. Podhrázká a kol. (2008) naopak vidí výhodu ve snadném určení vstupních dat a jednoduchosti výpočtů.

Druhá varianta výpočtu vodní eroze jsou simulační modely, které jsou založeny na matematickém vyjádření fyzikálních procesů zahrnující uvolnění, transport a sedimentaci půdních částic (Janeček a kol., 2012).

2.3.1 USLE

Pro stanovení erozní ohroženosti na území České republiky stejně jako pro ostatní státy je podle Janečka a kol. (2012) nejčastěji užívána The Universal Soil Loss Equation - USLE (v překladu Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí), kterou stanovili ve své příručce Wischmeier a Smith (1978). Tito autoři podle Holého (1994) doplnili a rozšířili rovnici sestavenou G. W. Musgravem a stanovili ji pro modelové území, jež má při sklonitosti 9 % délku svahu 22,134 m (72,6 stop), a které je po každém přívalovém dešti mechanicky kypřeno ve směru svahu, jako by to byl úhor bez vegetace. Faktory, které budou popsány detailněji níže, zohledňují způsob hospodaření, půdní poměry, vegetaci, dešťové srážky a topografii území. Výpočet se provede pomocí stanovené rovnice:

$$G = R * K * L * S * C * P$$

Faktor erozní účinnosti deště – R

Erozní účinnost deště vyjadřuje vliv především intenzity a úhrnu dešťových srážek na dlouhodobou ztrátu půdy. Je vypočítán podle následujícího vzorce (převzato z Kubátové a kol., 2000):

$$R = E * I_{30}/100$$

kde: R - faktor erozní účinnosti deště ($MJ.ha^{-1}.cm.h^{-1}$)

I_{30} - maximální 30 minutová intenzita deště ($cm.h^{-1}$)

E - celková kinetická energie deště ($J.m^{-2}$)

$$E = \sum_{i=1}^n E_i$$

E_i – kinetická energie i -tého úseku deště (n -počet úseků deště),

$$E_i = (206 + 87 \log i_{si}) * H_{si}$$

i_{si} – intenzita i -tého úseku deště ($cm.h^{-1}$)

H_{si} – úhrn deště v i -tém úseku (cm)

Pro výpočet se používají data z dlouhodobých záznamů o srážkách, mimo dešťů, které měly celkový úhrn menší než 12,5 mm a byly oddělené od ostatních dešťů mezerou 6 hodin. Pokud však dosáhly intenzity nejméně 6,25 mm za 15 minut, pro výpočet se používají (Wischmeier a Smith, 1978). Z těchto naměřených dat jsou pomocí ombografů v jednotlivých hydrometeorologických stanicích vypočítány hodnoty pro blízké okolí těchto stanic. Dle Vašinové a kol. (2012) je nutné používat dlouhodobý průměr srážek. Jak dále autoři uvádějí, byl pro naše území faktor R při zachování obou kritérií mezi 42-106 $MJ.ha^{-1}.cm.h^{-1}$. Pro Českou republiku je dle platné metodiky Janečka (2012) používána hodnota 40 $MJ.ha^{-1}.cm.h^{-1}$. Podle monitoringu Kapličky (2014-2018) je však pravá hodnota větší (50 až 60 $MJ.ha^{-1}.cm.h^{-1}$).

Faktor erodovatelnosti půdy – K

Tento faktor představuje odolnost půdy proti erozním účinkům deště a transportu povrchového odtoku. Vyčíslen je následovně (převzato z Vopravil, 2002):

$$100K = 2,1M^{1,14} * 10^{-4} * (12 - a) + 3,25 * (b - 2) + 2,5 * (c - 3)$$

kde: M – součin (% prachu + % práškového písku) x 100 - % jílu)

a - % organické hmoty

b - třída struktury ornice

c - třída propustnosti půdního profilu

Jak je patrné z rovnice, tak pro stanovení faktoru K je potřeba sběr dat o určitých vlastnostech půdy – zrnitost, podíl organické hmoty, struktura ornice a propustnost. U zrnitosti se jedná o poměr obsahu písku, prachu a jílu dle hranic kategorie zrnitosti. U propustnosti (6 tříd) a struktury (4 třídy) je třeba půdu zařadit podle rozborů. Pro Českou republiku je možné určit K faktor buďto podle nomogramů, nebo jednodušeji dle bonitované půdní ekologické jednotky (BPEJ), kde pro každou jednu jednotku byla stanovena hodnota faktoru K podle hlavní půdní jednotky (HPJ) (Janeček, 2008). Ten samý autor ve své metodice (2012) přidává možnost určení hodnoty K faktoru podle půdních typů a subtypů.

Faktor délky svahu – L a faktor sklonu svahu – S

Tyto topografické faktory mají podstatný vliv na erozi půdy, neboť délka a sklon ovlivňují erozní a odnášecí sílu odtoku na daném půdním bloku. Faktor L je možné vyjádřit takto:

$$L = \left(\frac{l_d}{22,13} \right)^p$$

kde: l_d = nepřerušovaná délka svahu

p = exponent zahrnující vliv svahu (čím větší sklon, tím větší hodnota)

Faktor S pak lze vypočítat z rovnice:

$$S = \frac{0,43 + 0,30s + 0,043s^2}{6,613}$$

Lze je uvádět jako jednotný faktor LS, který vyjádřili Wischmeier a Smith následovně (Podhrázká a Dufková, 2005):

$$LS = l_d^{0,5} (0,0138 + 0,0097s + 0,00138s^2)$$

Faktor LS kromě výpočtu lze (podobně jako faktor K) odečíst z nomogramů.

Nesmí být ovšem opomínáno to, že přírodní svah nemá průřez jako přímou linku. Svahy v krajině bývají nepravidelné, mají konvexní, konkávní či kombinované tvary. Proto je potřeba svahy dělit na úseky s odlišným tvarem a je nutné zvlášť

vypočíst hodnoty faktoru S pro všechny části a poté je sečíst (Podhrázská a Dufková, 2005).

Faktor ochranného krytu vegetace – C

Faktor C je číslo, které udává poměr smyvu na pozemku s pěstovanými rostlinami ku smyvu půdy na pozemku kypřeného úhoru o délce svahu 22,13 m a sklonem 9 %. Za celý rok se však na půdě vystřídá pět pěstebních období a každé z těchto období má vzhledem k rozličnému pokryvu půdy jinou hodnotu C faktoru. Po celý rok se také liší rozložení a síla srážek (faktor R), proto je nutné hodnotu ochranného krytu vegetace v tomto směru zohlednit. Faktor C za každé období je násoben procentuálním dílem, který je úměrný množství a síle srážek v tomto období (Janeček, 2012; Pasák, 1984). Tento způsob vytvořili Wischmeier a Smith především pro půdu a rostliny USA. Pro podmínky střední Evropy a její rostliny je potřeba stanovit číselnou hodnotu faktoru C pomocí experimentálních postupů, jak ukazuje například metodika Mistra a kol. (2016), kde byl použit pro stanovení simulátor deště.

Faktor účinnosti protierozních opatření – P

Stanovení hodnoty faktoru F je poměr mezi hodnotou smyvu na pozemku chráněném daným protierozním opatřením a standardizovaným pozemkem Wischmeiera a Smitha. U organizačních a agrotechnických opatření se hodnota účinnosti protierozních opatření liší s hodnotou sklonu svahu – čím větší je svah, tím menší je hodnota P. Nejmenší hodnotu mívají technické protierozní opatření (Holý, 1994).

Celková ztráta půdy – G

Výsledkem rovnice USLE je vypočtená hodnota udávající váhu smyté zeminy v tunách na jeden hektar za rok. Pro Českou republiku je u půd středně hlubokých a hlubokých dle Janečka (2012) hranice přípustné ztráty půdy 4 t/ha/rok.

2.3.2 Další metody pro stanovení eroze

USLE2D

Jedná se o software vytvořený Van Oostem, Goversem a Desmetem (2000) na přelomu druhého tisíciletí v Belgii. Jeho vstupními daty jsou rastry reprezentující každý faktor zvlášť – jde tedy o výpočet rovnice pomocí rastrového kalkulátoru.

Postupuje se podobně jak u USLE, jediný rozdíl je při stanovení LS faktoru. Ten je zde totiž vypočítán z digitálního modelu reliéfu, který je následně přerušen hranicemi různých půdních bloků, takže se přeruší délka svahu a výsledky jsou poté mnohem přesnější (Dufková a Toman, 2014).

RUSLE

Jakubíková a Váška (2005) představují ve své studii metodu *RUSLE* jako upravenou rovnici *USLE*. Byla revidována v 90. letech 20. století především pro potřeby USA a používá se ve formě počítačového programu. Rozdíl v porovnání s *USLE* je v tom, že pro tuto rovnici je nutné rozšířit množství vstupních dat. Jedná se například o zpřesnění výpočtu faktoru *R* a *K* vzhledem k tomu, že jsou časově proměnné během roku, zavedení vztahu pro vliv *LS* faktoru nebo nový přístup k vyjádření protierozního účinku vegetačního pokryvu. To dělá *RUSLE* přesnější, nicméně problém je v tom, že data pro tuto rovnici je potřeba získat v dlouhodobém a podrobném průzkumu, a tak pro Českou republiku nebyla vytvořena na rozdíl od *USLE* žádná databáze dat, a ty jsou přebírány ze zahraničních databází – např. *CROP* (vegetace), *CITY* (klíma) a *OPERATION* (agrotechnické operace).

SMODERP

Tento matematický simulační model, který byl vyvinut na katedře hydromeliorací Stavební fakulty Českého vysokého učení technického v Praze, je založen na řešení srážkoodtokových procesů a erozních procesů. Model je tvořen díky hydrologickým rovnicím (zahrnující intercepci, retenci a infiltraci vody) a porovnáváním objemu uvolněných půdních částic a transportní schopnosti povrchového odtoku, díky kterým je možno stanovit charakteristiku povrchového odtoku, přípustnou délku svahu a ztrátu půdy. Model je rovněž používán jako podklad pro návrh protierozního opatření. Základními vstupy jsou morfologické a pedologické údaje doplněné o vegetační poměry *SMODERP* dokáže simulovat povrchový odtok a erozi půdy na ploše do velikosti cca 100 ha, který je pro výpočty rozdělen na několik menších úseků (Vrána, 1996).

EROSION 3D

Routschek a kol. (2013) představuje *EROSION 3D* jako další simulační model, který řeší ztráty půdy na svahu (počítá ztrátu z plošného i soustředěného odtoku). Je

charakteristický tím, že jako jedním ze vstupních z dat používá čtvercový rastr digitálního modelu reliéfu, čímž zpřesňuje topografické údaje. Dále jsou vstupní data dělena na charakteristiku půdy (objem, vlhkost, obsah živin, vegetace apod.) a srážky (doba trvání a intenzita). Z těchto dat poté program vypočítá údaje o odtoku, odnosu a charakteru splavenin pro každý jeden čtverec z rastru (např 1x1 m, záleží na vstupním rastru). Výstupem jsou poté data o intenzitě eroze, ztrátě půdy a množství usazeného materiálu. Program spolupracuje s GIS a výsledky dokáže zobrazit trojrozměrně.

2.4 Ochrana půdy a protierozní opatření proti vodní erozi

Půda jako taková patří mezi přírodní zdroje, bez kterých by na zemi nemohl existovat život. Bohužel je však těžko obnovitelná, a zatímco poškodit se dá velice rychle, pouhý jeden centimetr půdy vzniká mnohdy i stovky let. Pro člověka je důležitá její produkční funkce v zemědělství a v lesnictví nebo jako plocha k zástavbě. Často je však přehlížena její funkce v ekosystému, kde je důležitá pro jeho stabilitu, zejména jako stanoviště pro floru. Funguje také jako filtrační a kumulační prvek pro vodu nebo v ní probíhají různé výměny látek a energií (Vopravil a kol., 2011).

Ochrana zemědělského půdního fondu je mimo zákonu o pozemkových úpravách v první řadě zakotvena v zákoně 334/1992 Sb., kde v § 3 ukládá povinnost zajistit ochranu před znečišťováním a jinými škodlivými vlivy. Ochranu půdy také ukládá vodní zákon č. 254/2001 sb., kde je v § 27 jasně vedeno, že vlastník má zajistit péči o svůj pozemek. Mimo jiné zde zákon říká, aby nedocházelo k odnosu půdy erozní činností vody. (Šarapatka, 2014). V současné době je také připravována vyhláška o ochraně zemědělské půdy před erozí, která by měla upravit přípustnou míru erozního ohrožení a způsob hodnocení erozního ohrožení (Ministerstvo zemědělství, 2019).

S ochranou půdy také souvisejí Standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy (DZES). Konkrétně protierozní opatření se týká standard DZES 5. Ten se věnuje především prevenci před erozí pomocí regulace způsobu pěstování plodin. Z hlediska ohroženosti půdy dělí pozemky na: půdu bez ohrožení erozí, mírně erozně ohrožené pozemky (MEO) a silně erozně ohrožené pozemky (SEO). DZES 5 je zahrnut do GIS aplikace Veřejného registru půdy neboli LPIS. Tato aplikace zaznamenává různé informace o jednotlivých dílech půdních bloků (DPB), což je základní jednotka pro zemědělskou evidenci půdy. Jedná se

například o uživatelské vztahy, výběry, topografické údaje, kulturu a míru erozního ohrožení (Novotný, 2017).

Vzhledem k výše uvedeným důvodům je proto důležité půdu chránit před její degradací. Burian a kol. (2011) více konkretizují – opatření by měla také podporovat vsak vody do půdy nebo bezpečně odvést tekoucí vodu, omezit unášecí sílu soustředného odtoku, zlepšit soudržnost půdy a případně zachytávat unášenou půdu. Ochrana před vodní erozí tak má, jak uvádí Podhrázká (2014), za úkol přerušit neúměrnou délku svahu po spádnicí a pokrýt půdu vegetací nebo posklizňovými zbytky na co možná nejdelší období. K zavedení výše vyjmenovaných opatření slouží hlavně pozemkové úpravy, konkrétně v komplexních pozemkových úpravách jde o plán společných zařízení, ve kterém je možné plánovat a realizovat právě protierozní opatření. Ta je potřeba navrhovat v souladu se zájmy vlastníků a uživatelů půdy, ochrany životního prostředí a tvorby krajiny (Janeček a kol., 2012).

2.4.1 Plánování protierozních opatření

Základem plánování protierozních opatření v rámci plánu společných zařízení je zhodnocení všech dostupných podkladů (topografické mapy, mapy BPEJ, LPIS, územní plán atd.) a průzkumů (klíma, hydrologie, pedologie, ekologie, vlastnické vztahy apod.). Neodlučný podklad pro plánování protierozních opatření je hodnocení odtokových poměrů. K tomu je nejčastěji používána metoda CN (z anglického curve number) křivek stanovující objem odtoku, které jsou založeny na klimatických, pedologických a vegetačních faktorech. Samotná erozní ohroženost je poté vypočítána pomocí rovnice USLE (viz kapitola Metodika) (Uhlířová a kol. 2005).

Navrhnutí jednotlivých protierozních opatření podle Hovorky a kol. (1990) záleží na jejich účinnosti ve směru snížení ztráty půdy a míře ochrany objektů. Zároveň musí splňovat zájmy vlastníků. Dle ČSN 75 400 jsou protierozní opatření dělena na tři typy – organizační, agrotechnická a technická. V tomto pořadí je také posuzován vliv jednotlivých opatření na smyv půdy, tzn. navrhne se organizační opatření, a pokud žádné smyv nevyřeší, je navrhnuo agrotechnické opatření apod. Hodnocení návrhu je prováděno výpočtem erozního smyvu, který je srovnáván s limitním odnosem půdy. Hodnotící kritérium je procentně vyjádřený plošný podíl zemědělské půdy, který je menší než stanovený limit (Konečná a kol. 2014). Samozřejmostí návrhu protierozního

opatření je dokumentace obsahující původní zprávu, souhrnnou technickou zprávu a mapovou dokumentaci.

2.4.2 Organizační PEO

Tato opatření jsou spjatá s ochranným účinkem vegetačního pokryvu půdy (ochrana před přímým dopadem kapek, podpora vsaku vody do půdy a zvýšení soudržnosti půdy vlivem kořenového systému) a s hospodařícími subjekty, které umístění vegetačního krytu určují. Obecně platí, že se jedná o nejjednodušší a rychle realizovatelné protierozní opatření, které je možné vybudovat pouze v projektu komplexních pozemkových úprav. Samozřejmě je, že organizační opatření lze kombinovat s opatřeními ostatních skupin – mnohdy jsou podmiňována technickými opatřeními, např. polními cestami, které dělí pozemek (Cihlár a kol., 2005).

Tvar a velikost pozemku

Ve smyslu tvaru se jedná především o souvislost s vrstevnicemi – účinnost vychází z předpokladu, že pokud delší strana pozemku či DPB bude rovnoběžná s vrstevnicemi, hospodařící subjekty budou orat a zasévat po vrstevnici. Velikost i změna se také snaží zkrátit délku pozemku ve směru po spádnici. Tím se zkrátí odtokové linie, aby nedosahovaly takové délky, kdy by mohlo docházet k nepřijatelnému odnosu půdy (Novotný a kol, 2017).

Delimitace kultur

Jak uvádí v metodice Ministerstva životního prostředí Jáglová (2008), s půdní ochranou se pojí také pojem delimitace, což znamená funkční a prostorovou optimalizaci pozemku. V souvislosti s vodní erozí jde především o rozmístění trvale travních porostů jako opatření proti vodní erozi. Ty jsou lokalizovány především na pozemcích se sklonem vyšším než 20 %, na měkkých a středně skeletovitých půdách se sklonem 10 – 20 % nebo na zamokřených půdách. Doporučené je také zatravnit údolnice, pásy okolo technických protierozních opatření nebo břehy vodních toků a nádrží.

Vhodné umístění plodin

Jedná se o protierozní rozmístění plodin primárně vzhledem ke sklonu svahu. Platí, že každá plodina má jiný protierozní účinek. Jde tedy o přímou úměru – kde je větší sklon svahu, tam je vhodné umístit plodinu s vyšším protierozním účinkem, jako je v první řadě trvalé travní porost, jetel, vojtěška nebo obilniny. Naopak na rovinatých pozemcích by se měly pěstovat okopaniny – brambory, cukrovka nebo kukuřice (Janeček a kol., 2012).

Pásové pěstování plodin

Toto protierozní opatření je dle Janečka a kol. (2012) založeno na využití protierozní funkce plodin, které mají předpoklady k tomu, aby chránily půdu. Tyto plodiny (např. jetel, travní porost) jsou ve vrstevnicových pásích (šířka pásů se pohybuje od 20 do 40 m, záleží na sklonu svahu) střídány s plodinami (brambory, kukuřice), které mají nízký protierozní účinek, ale zároveň jsou mnohdy prioritou, co se týče pěstování na daném půdním bloku. Proto jsou většinou tyto pásy širší. Plodiny s vyšším protierozním účinkem tak chrání před erozí plodiny s nižším protierozním účinkem.

2.4.3 Agrotechnická PEO

Holý (1994) tvrdí, že pro zemědělské pozemky, které jsou ohroženy vodní erozí, je nutné zabezpečit dobré podmínky pro sklizně, umožnit vsak vody do půdy, případně neškodně odvést povrchový odtok. Aby takový zemědělský pozemek odolával vodní erozi, je nutné, aby pro půdu byly zajištěny dobré fyzické, biologické a chemické vlastnosti. Proto jsou tu agrotechnická protierozní opatření, která definují vhodný způsob obhospodařování vzhledem k působení vodní eroze.

Vrstevnicové obdělávání

Půda chráněná tímto opatřením je obdělávána ve směru vrstevnic s maximálním odklonem 30 stupňů. Jedná se především o orbu, kde je důležité překlápet půdu proti svahu, aby bylo zabráněno erozi orbou. K snížení povrchového odnosu je dobré respektovat vrstevnice při dalších agrotechnických operacích jako je setí apod. (VÚMOP PRAHA, 1995).

Ochranné obdělávání

Hůla a kol. (2003) dávají ochrannému obdělávání největší váhu z agrotechnických opatření. Zahrnuje dvě hlavní myšlenky – pokrytí alespoň třetiny povrchu půdy rostlinným materiálem tvořeným předplodinovými nebo meziplodinovými zbytky před zasetím samotné plodiny a minimální rozrušování povrchu, tzn. obracování půdy radlicí a hlubokou orbu, aby nedocházelo k zaorávání rostlinných zbytků a zachovala se stabilní struktura půdy. Plodiny, které jsou takto chráněny, jsou především kukuřice, brambory či cukrová řepa. Mezi hlavní nástroje ochranného obdělávání patří setí plodiny do mulče (zbytků předplodin nebo meziplodin). Toto opatření má mnoho variant podle druhu plodiny nebo období, kdy je plodina zasévána. Další varianta může být zasévání hlavní plodiny společně s plodinou, která má hlavně za úkol zpevňovat půdu a krýt ji před dešťovými kapkami.

Setí kukuřice do úzkého řádku

Jedná se o zúžení řádků z původního 75 cm sponu na poloviční, tedy 37,5 cm. Díky této hustotě je půda lépe zpevněna a co je důležitější, více plošně pokryta před dopadem samotných dešťových kapek na holou půdu. Navíc podle statistik rostliny jsou rostliny vyšší a dosahují až o 9 % více výnosnosti, než s širokými řádky (Nerušil a kol., 2015).

Hrázkování, důlkování

V širším pojetí by se dalo říci, že se jedná o zmenšeninu protierozních příkopů, mezi průlehů apod. Toto opatření je, jak uvádí VÚMOP (2018), založeno na zabránění vzniku soustředěného povrchového odtoku. K němu by nemělo dojít díky hrázkám a důlkům, které jsou vytvořeny agrotechnikou mezi řádky zejména širokořádkových plodin. Kromě zamezení vzniku plošné eroze jsou hrázky a důlky také důležité k akumulaci vody v krajině a zabránění odnosu jemných půdních částic.

Plečkování, dlátování, podryvání

Efektivnost těchto protierozních opatření vysvětluje Novotný (2017) tak, že podporují vsak spadené srážkové vody do půdy, a zamezují tak zrychlenému odtoku. Plečkování, které se používá u širokořádkových kultur, kypří (hlavní protierozní účinek) a odpleveluje půdu. Dlátování se používá zejména u cukrové řepy a díky hlubšímu kypření je efektivnější než plečkování. Podryvání má nejhlubší úroveň

kypření (minimálně 35 cm) a mimo kypření také snižuje zhutnění půd, čímž ještě více zlepšuje infiltraci vody, a proti působení vodní eroze je tak nejvíce efektivní z těchto způsobů.

2.4.4 Technická PEO

Technická protierozní opatření jsou většinou navrhována tam, kde už organizační ani agrotechnická opatření nestačí na velký objem povrchového odtoku při extrémních srážkách (Kadlec a kol., 2014) nebo, jak uvádí Janeček (2012), je ohrožena zástavba. Němec (2014) doplňuje zmíněné autory o další důvod, proč jít cestou technických protierozních opatření. Tím je zvyšování produkční schopnosti půdy, kdy se pozemek zabezpečí proti erozi tak, aniž by vlastník musel změnit hospodaření na pozemku. Jak uvádí Kvítek (2015), tato opatření se navrhuji polyfunkční, kdy kromě přerušení svahu neboli retardaci řeší současně bezpečné odvedení, akumulaci a sedimentaci splavenin. Mezi základní principy patří také změna sklonu pozemku (terasy). Často jsou také kombinována s opatřeními patřící pod organizační či agrotechnickou kategorii, čímž se zvyšuje jejich účinnost. Kadlec a kol. (2014) dále dodává, že oproti výše zmíněným opatřením jsou tato opatření posuzována dle stavebního zákona a je potřeba je navrhovat a dimenzovat na předem určenou míru bezpečnosti, která vychází z charakteru umístění v krajině.

Protierozní příkopy

Protierozní příkop patří k liniovým protierozním opatřením. Orientace bývá vrstevnicová, tedy souběžně s vrstevnicemi. Pokud se nejedná o příkop vsakovací, měl by mít podélný sklon, aby mohl odvádět vodu mimo ohrožené území. Zásadní je, aby voda byla odvedena do vhodného recipientu. Podle toho, čemu příkop slouží, se dělí na více druhů. Prvním je *příkop záchytný*, který brání přitékající vodě, aby se vůbec dostala na chráněnou půdu. Navrhuje se tedy na vnějších hranicích chráněného území – nejčastěji se jedná o vrchní hranici. Dalším druhem je *příkop sběrný*. Ten je již navrhovaný přímo v chráněném pozemku, a slouží k přerušení souvislé délky svahu a zároveň odvádí vodu pryč z území. Záchytné a sběrné příkopy mohou ústit do *příkopu svodného*. Jak je z názvu patrné, tento příkop nemá jinou funkci než odvést přivedenou vodu do nejbližšího recipientu. Většinou je tento příkop veden s větším podélným sklonem (Kadlec a kol., 2014). Podle Podhrazské (2010) by konečný recipient neměla být vodoteč, ale vybudovaná nádrž, která bude zachycovat vodu

svedenou ze zemědělského pozemku (podpora retardace vody v krajině) a ve které se budou ukládat sedimenty.

Průlehy

Obdobně jako protierozní příkopy se jedná o liniový prvek, který je umístěn ve svahu s vrstevnicovou orientací a slouží jako přerušení svahu. Průlehy jsou děleny stejně jako příkopy podle funkce na záchytné, sběrné a svodné (vysvětleno výše). Ve srovnání s protierozními příkopy jsou však průlehy mnohem širší, mělčí a s menším sklonem svahu. Další rozdílem je fakt, že díky zmíněným parametrům – především šířce, je zlepšena infiltrace, a průlehy jsou tak nejčastěji používány jako opatření zajišťující vsak vody a zachycení unášených částic (sběrné průlehy). Ačkoliv jsou průlehy velmi efektivním opatřením, ne všude jsou kvůli jejich šířce vhodné (Soukup a kol., 2008).

Zasakovací pásy

Podhrázská a kol. (2008) označuje zasakovací pásy jako účinné, a přitom na náklady levné, protierozní opatření. Podle vegetace lze pásy dělit na travní, křovinné nebo lesní. Úkolem zasakovacích pásů je zpomalit a převést povrchový odtok na podpovrchový odtok. Jsou umístěny ve směru vrstevnic (šířka pásu by měla být minimálně 20 m, záleží na sklonu svahu) a střídají se s méně půdoochrannými plodinami, někdy jsou také umístěny podél vodotečí jako poslední záchranný prvek proti smyvu půdy.

Zatravnění údolnice

Toto opatření, též označováno jako asanace drah soustředěného povrchového odtoku, je užíváno především na příčně zvlněných pozemcích. V údolnicích totiž během dešťů nebo tání dochází k soustředěnému odtoku, který v nich vytváří hluboké erozní rýhy. Proto je nutné tyto údolnice a úžlabiny zatravnit. Travní porost snižuje kinetickou energii tekoucí vody, čímž sníží její transportní a vymílací sílu, jeho kořenový systém zase zpevňuje povrch svahu (seté jsou trávy s pevnějším drnem např. výběžkaté). Ve většině případů se údolí nechává bez vnějších úprav, pokud je to ale nezbytné, musí se povrch upravit – nejlépe do tvaru široké paraboly (Podhrázská a Dufková, 2005).

Polní cesty s protierozní funkcí

Příkladem polyfunkční funkce protierozního opatření mohou být polní cesty. Ty jsou navrhovány v komplexních pozemkových úpravách jako zařízení k zpřístupnění pozemku. Dají se však využít jako protierozní opatření, a to díky jejich situování rovnoběžně s vrstevnicemi, kdy cesta přerušuje délku svahu. Zároveň díky odvodňovacím zařízením, jako jsou dle příručky Státního pozemkového úřadu (2018) příkopy, rigoly, svodné žlábkové drenáže a trativody, lze vodu bezpečně odvést nebo dokonce pomocí vsakovacích příkopů a jam zachytit a infiltrovat. Cesty by měly být při křížení se soustředěnou dráhou odtoku doplněny o propustek či jiné zařízení pro bezpečné odvedení vody (Novotný, 2017).

Ochranné hrázky

Jak je uvedeno v katalogu VÚMOP (2018), hrázky jsou budovány většinou na úpatí svahu ve vrstevnicovém směru, kde často bývají kombinovány s příkopy nebo průlehy. Důležité je správně nadimenzovat prostor před hrázkou a výšku hrázky, aby hrázka bez problému zachytila akumulující se vodu a nebyla protržena. K opevnění je používáno zatravnění. Hrázky jsou situovány do území, kde je většinou menší podélný sklon, který by zavinil zanášení případných příkopů nebo průlehu.

Protierozní nádrže

Jedná se o hydrotechnickou stavbu, u které je nutné přesně navrhnout její parametry dle platných norem tak, aby bezpečně plnila svoji funkci. Obecně se nádrže dělí na suché nebo nádrže s trvalým nadržением vody. Tyto ochranné nádrže jsou budovány za účelem zadržování nárazového odtoku povrchové vody (chrání tak nejen zemědělskou půdu, ale i intravilán), zachycení unášených splavenin, dále také zvyšují retenční a infiltrační schopnost krajiny. U nádrží s účelem zachycení splavenin je důležité navrhnout stavbu tak, aby bylo možné vyčistit dno od sedimentů (Novotný, 2017). Často jsou to poslední prvky v systému několika protierozních a protipovodňových opatření. Nádrž se skládá z hráze, výpustného zařízení, výpusti, bezpečnostního přelivu a nápusťného objektu (Janeček, 2012).

Terénní urovnávky

Terénní urovnávky jsou mezi protierozními opatřeními poměrně málo používány. Kvítek a Tippl (2003) uvádějí, že se jedná o urovnání terénu v místech,

kde dochází k soustředování povrchového odtoku a docházelo by zde k zvýšené erozi nebo v místech, kde je nutné snížit příčný sklon pozemku.

Terasy

Cihlář a kol. (2005) v katalogu technický protierozních opatření popisuje terasy jako opatření, které je používáno především na svazích s velkým sklonem (více než 15 %). Tyto svahy by nebylo možné jinak efektivně využívat, proto jsou terasováním zmírněny, aby nedocházelo k erozi a aby bylo možné půdu běžně využívat. Plocha je tak dělena na terasové plošiny a terasové svahy. Terasy mohou být realizovány vrstevnicově (zde se mění šířka terasové plošiny podle svahu), paralelně (každá plošina je stejně široká), nebo se jedná o široké terasy (svah musí být logicky větší, aby došlo k vyrovnání – nákladnější realizace). Kromě velké finanční zátěže jsou terasy vzhledem k náročnosti provedení, při kterém dochází k přesunům velmi značné části půdního profilu a k narušení pedologických a ekologických procesů, používány pouze tam, kde je tento zásah opravdu nutný a hospodářsky výhodný.

Protierozní meze

Meze bývaly používány už dříve a bez smyslu ochrany před vodní erozí. Vznikaly především na hranicích pozemků, kde byly skládány nasbírané kameny. Jejich výškovou diferenciací navíc podpořila orba shora a odorávání zdola. Tyto meze, které vznikaly samovolně třeba i několik set let, jsou označovány jako historické. Dnes se meze navrhují již jako protierozní opatření. Jedná se o vyvýšenou hrázku, která bývá doplněna příkopem či průlehem nad nebo pod mezí. Na hrázce je vhodné založit travní porost, který slouží k zachycení, aby nedošlo k zbytečnému smyvu až do příkopu a odvedení půdních částic do recipientu. Výsledný efekt protierozních mezí je podobný jako u průlehmů, příkopů nebo hrázek, navíc jsou meze náročnější na realizaci. Meze bývají také často osazovány vhodně vzrostlejší vegetací. Nemusí tedy sloužit pouze jako protierozní opatření, ale i revitalizaci a diverzifikaci krajiny (Kadlec a kol., 2014).

3. Cíl práce

Tato práce řeší problematiku eroze na zájmovém území pomocí vhodného technického protierozní opatření. Technické protierozní opatření bylo zvoleno jednak proto, že neomezuje zemědělce, co se týče změny osevního postupu a případně nutných agrotechnických opatření. Dalším z důvodů je to, že vytvořené technické protierozní opatření bude pomocí mikromodelování „vloženo“ do digitálního modelu reliéfu (což by u organizačních a agrotechnických protierozních opatření nešlo). Cílem této práce je tedy vytvoření funkčního technického protierozního opatření, díky kterému vybrané DPB budou spadat do kategorie erozně neohrožených a vymodelování přesného a hydrologicky správného digitálního modelu reliéfu po potencionálním vybudování zmíněného opatření.

4. Materiály

Než se přistoupí k metodické části, je vhodné ještě představit zájmové území a podklady se kterými je pracováno v této práci. Vše zmíněné obsahuje tato kapitola.

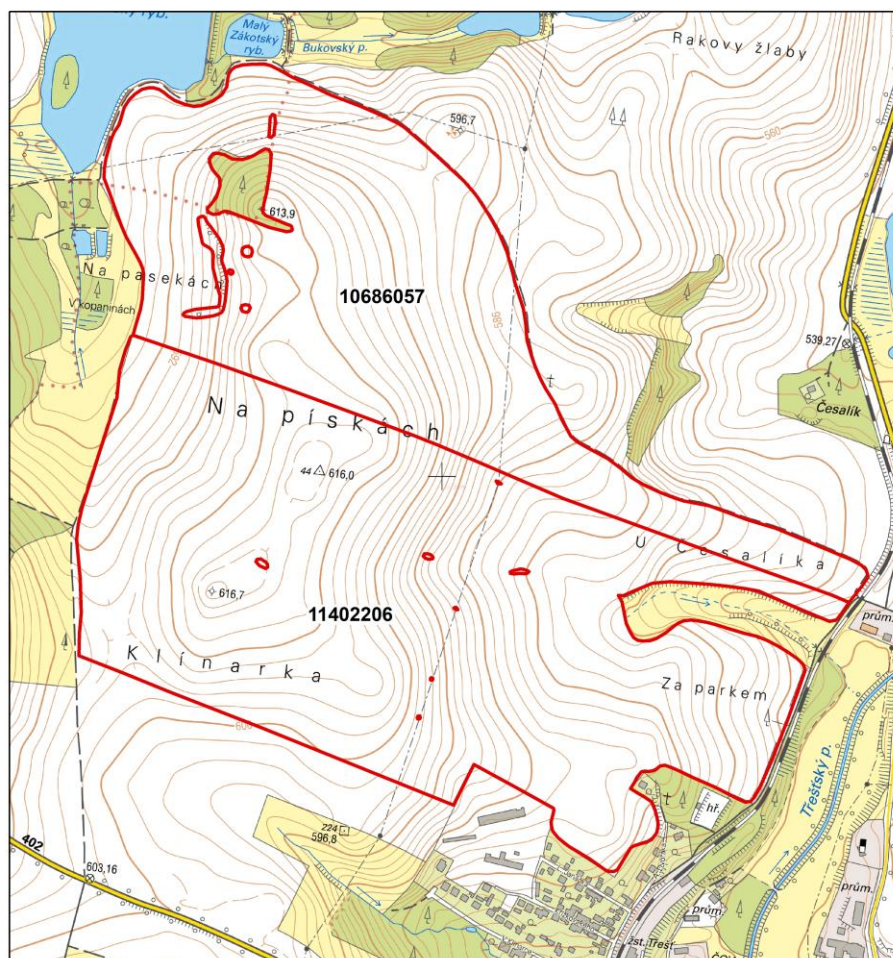
4.1 Zájmové území

K mikromodelování protierozních opatření bylo vybráno území v k. ú. Třešť (okres Jihlava). Přesněji se jedná o dva díly půdních bloků, které jsou vybrány na základě toho, že spadají do mírně a silně erozně ohrožených pozemků. Tato lokalita byla tedy vybrána vzhledem k svému eroznímu ohrožení a zároveň díky blízkosti autorova bydliště. Vybrané díly půdních bloků (Mapa č.1) se nacházejí severoseverozápadně od města. Jejich celková rozloha činí 116,77 ha. Severnější (ID 11402206) obhospodařuje soukromý zemědělec a pozemek patří dle webové aplikace LPIS Ministerstva zemědělství (2020) do mírně erozně ohrožených pozemků (MEO). Uvnitř pozemku se nachází malý lesní útvar a remízky. Na jižním pozemku (ID 10686057) hospodaří zemědělské družstvo Roštýn (největší zemědělské družstvo v okolí). Tento pozemek patří do silně erozně ohrožených pozemků a v práci je pracováno především s jeho plochou.


Co se týče morfologie terénu, jedná se o území, na kterém se nachází pomyslný hřeben, který je tvořen třemi kótami (viz přehledná mapa). Pokud budou pominuty severní a jižní svahy, které tvoří minimální plochu, tak tento hřeben člení území na (plochou menší) západní svah a východní svah. Východní svah tvoří zhruba $\frac{3}{4}$ území a vzhledem k jeho délce a rozloze se dá počítat, že právě zde bude s erozí největší problém. Nesmí být opomenuta zatravněná údolnice, která se zakrojuje do jižního pozemku. Jelikož je východní svah podobný trychtýřovitému tvaru, většina povrchové vody z pozemků ústí právě zde. Nejvyšší nadmořská výška řešeného území je 616,6 m n.m., nejnižší pak 545 m n.m.

DÍLY PŮDNÍCH BLOKŮ

vybrané pro řešení eroze
pomocí TPEO



Vyznačené území:

 hranice vybraných DPB

10686057 ID DPB

0 0,3 0,6 km



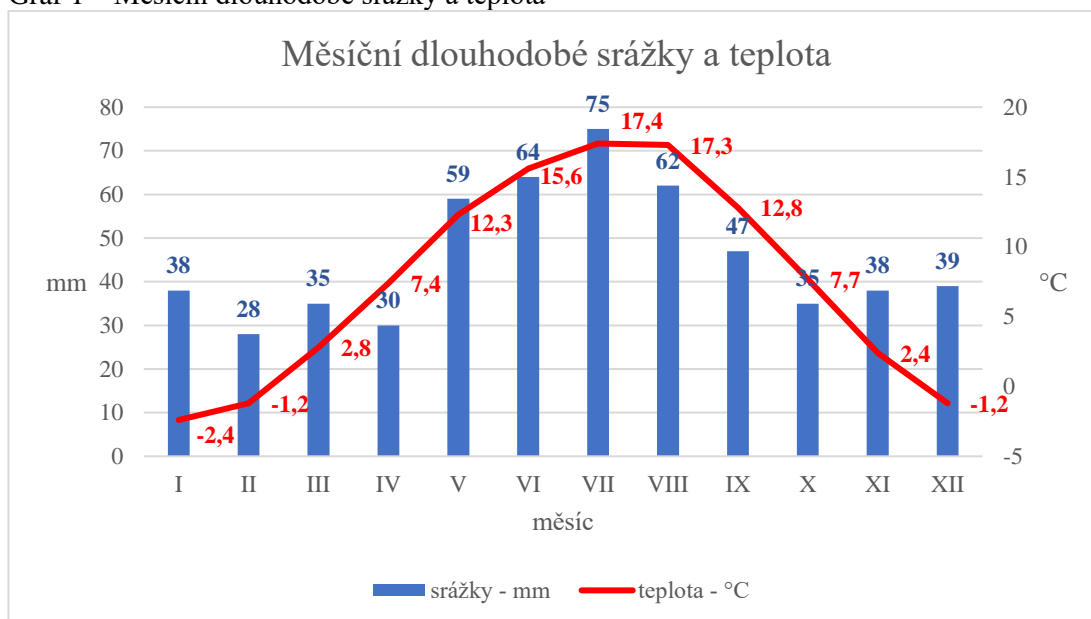
Karel Kokejl, ZF JU, 13.3.2020, České Budějovice.

Mapa č. 1 – Vybrané díly půdních bloků
(Ministerstvo zemědělství, 2020; vlastní zpracování)

Klima

Lokace se dle Quitta (1971) nachází v mírně teplé klimatické oblasti – MT3. Nejblíže meteorologická stanice, ze které jsou dostupná klimatická data (graf č.1), se nachází v obci Kostelní Myslová (565 m n. m.), která je vzdálená zhruba 16 km od zájmového území. Dle dat z National Climatic Data Center (2020), od roku 1952 je zde průměrná teplota 7,5 °C, celkový roční úhrn srážek činí 550 mm.

Graf 1 – Měsíční dlouhodobé srážky a teplota



(National Climatic Data Center, 2020; vlastní zpracování)

Geologie a pedologie

Geologicky oblast patří do Českého moldanubika, podloží tvoří především metamorfované horniny prvohor – v největším zastoupení granulit a amfibolit, stopově se zde nachází křemen či pararula. Nejnižší polohy jsou pak tvořeny kvartérním hlinito-písčítým sedimentem (Česká geologická služba, 2020).

Tabulka č. 1 – Přehled BPEJ pro řešené území

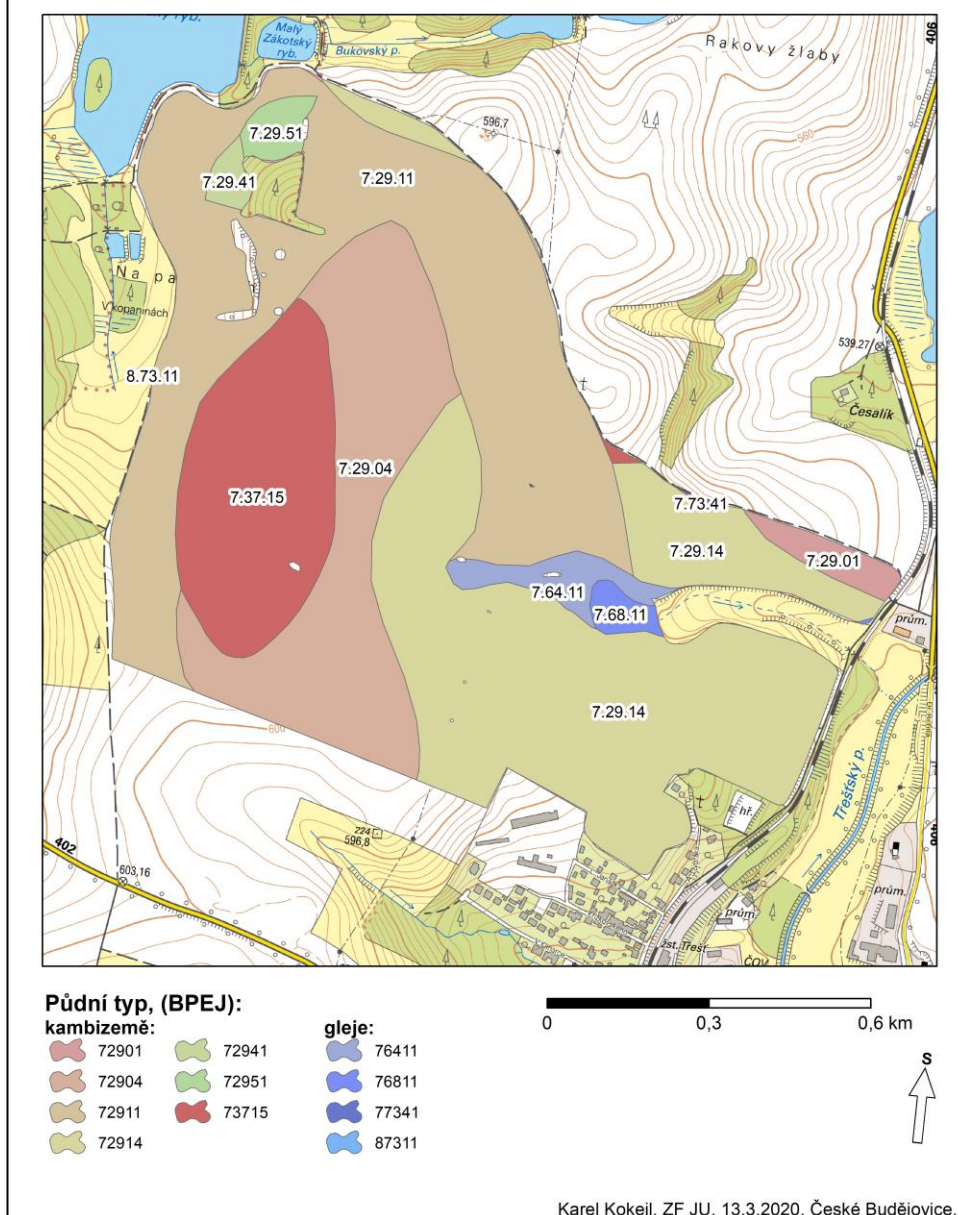
BPEJ	plocha [ha]	třída ochrany	hloubka půdy	půdní typ
7.29.01	1,59	I.	hluboká/středně hluboká	kambizemě
7.29.04	19,51	II.	hluboká/středně hluboká	kambizemě
7.29.11	37,45	I.	hluboká/středně hluboká	kambizemě
7.29.14	38,58	III.	hluboká/středně hluboká	kambizemě
7.29.41	0,74	IV.	hluboká/středně hluboká	kambizemě
7.29.51	1,18	IV.	hluboká/středně hluboká	kambizemě
7.37.15	14,51	V.	mělká	kambizemě, rankery, litozemě
7.64.11	2,18	III.	hluboká/středně hluboká	gleje
7.68.11	0,91	V.	hluboká/středně hluboká	gleje
7.73.41	0,04	V.	hluboká/středně hluboká	gleje
8.73.11	0,0005	V.	hluboká/středně hluboká	gleje

(Státní pozemkový úřad, 2020; vlastní zpracování)

Z hlediska půdních typů (tabulka č.1 a mapa č.2) se na většině území vyskytuje kambizem doplněná gleji. Z hlediska hloubky půdy se jedná o středně hluboké půdy, ve vyšších partiích se nachází půdy mělké. Celkem se zde nachází jedenáct tříd BPEJ (Státní pozemkový úřad, 2020).

PEDOLOGICKÉ POMĚRY

řešeného území pro řešení eroze
pomocí TPEO



Mapa č. 2 - Pedologické poměry pro řešené území
(Státní pozemkový úřad, 2020; vlastní zpracování)

4.2 Digitální model reliéfu 5. generace

DMR 5G slouží převážně jako zdrojová databáze pro tvorbu vrstevnic v mapách velkého měřítka. Využívá se tak především jako podklad k lokálním charakteristikám terénních poměrů, tedy i k analýzám a projektování při pozemkových úpravách. DMR 5G je poskytován ve formě .txt souborů (obrázek č.1) (ČUZK, 2019).

Digitální model terénu je realizován pomocí leteckého laserového skenování, které je prováděno v průměrné výšce 1200 m nad střední rovinou terénu pro 10 km

široký rozsah. Poté je nutné data dále zpracovat, a to pomocí počítačové techniky, kdy je potřeba provést georeferencování a transformaci polohových souřadnic do pracovních souřadnicových a výškových referenčních systémů. Použity jsou především UTM/WGS 84 a Bpv. Dále je potřeba vyseparovat ty body, kdy paprsek dopadl na něco jiného než na zemský povrch. Tato operace se nazývá robustní formace. Mračno bodů je poté redukováno na jeden bod na čtverec 1 x 1 m (jedná se o bod s nejnižší hodnotou ve čtverci). Následuje interpolace a zjednodušení modelu reliéfu při zachování maximální úplné výškové chyby. Posledním krokem je transformace výškových bodů do souřadnicového referenčního systému S-JTSK. Data jsou nakonec ještě kontrolována pomocí porovnání s geodeticky zaměřenými body (základní polohové bodové pole, kontrolní geodetické měření) (Bělka a kol., 2016).

Digitální model terénu 5. generace je k dispozici od konce roku 2016. Jedná se o nepravidelnou trojúhelníkovou síť bodů se souřadnicemi X,Y,H. V současné době jde prozatím o nejpřesnější digitální model, kde je střední chyba výšky 0,18 m (0,30 m v zalesněném terénu) (Novotný a kol., 2017). Bělka a kol. (2016) však ukazuje, že záleží na kategorii povrchu a půdního krytu. Uváděnou hodnotu 0,18 překračují plochy s loukami a pastvinami, kde je hodnota 0,21 m. U orné půdy, se kterou tato práce počítá, je úplná střední chyba uváděna 0,14 m.

x	y	z
-677001.164	-1134395.637	524.621
-676964.489	-1134112.921	527.286
-677000.064	-1134426.039	525.477

Obrázek č. 1 – Ukázka dat digitálního modelu reliéfu (ČUZK, 2019)

4.3 Podklady pro výpočet eroze

R faktor

Jak již bylo uvedeno, pro Českou republiku je používaná hodnota 40 MJ.ha¹.cm.h⁻¹. Vzhledem k zaměření této práce na určitý region byla pro výpočet R faktoru použita hodnota 56,7 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹. Ta vychází z nejbližší meteorologické stanice vzhledem k zájmovým územím – stanice v Kostelní Myslové. Hodnotu uvádí Rožnovský (2015), který stanovil R faktory pro oblasti daných stanic za období 1985-2014. Tato hodnota koresponduje s mapou uváděnou v aplikaci Protierozní

kalkulačka provozovaná Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy (2020), kde se území nachází v hodnotách 50-60.

K faktor

Tento faktor lze určit odvozením od hlavních půdních jednotek, které jsou součástí kódu BPEJ (konkrétně se jedná o druhé a třetí číslo). BPEJ lze bezplatně stáhnout na webových stránkách Státního pozemkového úřadu (2019) k určitému datu (v práci se objevují data aktuální k 3. 2. 2020) ve vektorovém formátu .shp.

LS faktor

Pro výpočet LS faktoru byl použit Digitální model reliéfu 5. generace poskytnutý ČUZK ve formátu .xyz. Postup získání LS faktoru je popsán dále v kapitole, která se týká metodiky práce.

C faktor

Tento faktor byl stanoven za pomoci projektu Protierozní kalkulačky od Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd (2020) (obrázek č.2). Ta dokáže sestavit osevňovací postup pro dané půdní bloky dle zadaných podmínek (výrobní oblast, počet plodin, typ osevňovacího postupu vzhledem k ochraně před erozí). Protože práce se zabývá technickými protierozními opatřeními, která mají umožnit obhospodařovat pozemek bez omezení, byl sestaven klasický osevňovací postup s osmi plodinami.

Název OP: Klasický						
Faktor ochranného vlivu vegetace (C) zvoleného OP: 0.247						
Plodina	Agrotechnika	Příprava půdy	Setí/Sázení	Sklizeň	Podmínka/Orba	Faktor C
1. Jetel plazivý	podsev do předplodiny	28.03.2020	07.04.2020	15.09.2021	20.09.2021	0.0451
2. Pšenice ozimá	setí do zorané půdy, sláma sklizena	21.09.2021	05.10.2021	04.08.2022	09.08.2022	0.0599
3. Kukuřice siláž	setí do zorané půdy, sláma sklizena	16.04.2023	27.04.2023	05.09.2023	12.09.2023	0.653
4. Ječmen jarní	setí do zorané půdy, sláma sklizena	28.03.2024	07.04.2024	31.07.2024	07.08.2024	0.1741
5. Řepka ozimá	setí do zorané půdy, sláma sklizena	10.08.2024	11.08.2024	27.07.2025	03.08.2025	0.253
6. Pšenice ozimá	setí do zorané půdy, sláma sklizena	21.09.2025	05.10.2025	04.08.2026	09.08.2026	0.2765
7. Brambory	v přímých řádcích libovolného směru, včetně odkameňování	09.04.2027	26.04.2027	01.09.2027	08.09.2027	0.5826
8. Ječmen jarní	setí do zorané půdy, sláma sklizena	28.03.2028	07.04.2028	31.07.2028	07.08.2028	0.1806

Obrázek č. 2 – Klasický osevňovací postup pro vybrané území (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2020)

5. Metodika

Po seznámení se s literární rešerší, cíli práce a materiálech je vhodné představit metody, dle kterých je v práci postupováno k dosažení žádoucích výsledků. Metody se týkají především stanovení eroze a dimenzování protierozních opatření.

5.1 Stanovení erozní ohroženosti pomocí USLE v GIS

Výpočet rovnice pro stanovení erozního ohrožení bude provedena pomocí geografického informačního systému, v tomto případě se jedná o program ArcMap. Díky tomuto programu (a dalším podobným) je možné vypočítat smyv půdy pro každý určitý pixel (pro tuto práci 0,2 x 0,2 m) v zájmovém území (Dostál, 2014). Stanovení výsledného odnosu půdy erozí je možné pomocí rastrů, které reprezentují faktory R, C, LS a K.

5.1.1 Vyjádření faktorů v GIS

Faktor R

Pro Českou republiku je faktor R vyjádřen jako $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Protože je tato práce zaměřena na určitý region, je vhodné, aby faktor erozní účinnosti deště byl stanoven rovněž na daný region. Faktor je do rovnice dosazen ve formě rastru, který nese hodnotu R a který má velikost pixelu stejnou jako rastr digitálního modelu reliéfu.

Faktor C

Faktor ochranného krytu vegetace je vyjádřen rastrem reprezentujícím půdní bloky. Ten je vytvořen z formátu .shp s daty o C faktoru pomocí funkce „Polygon to rastr“. Zde je zvolena hodnota velikosti pixelu a sloupec obsahující hodnoty C faktoru. V rastru je tedy všem pixelům přiřazena hodnota C faktoru dle osevního postupu pro daný půdní blok.

Faktor K

Shapefile BPEJ pro celou Českou republiku je nutné oříznout vybranými půdními bloky pomocí funkce „Clip“. Z oříznuté vrstvy BPEJ jsou odvozeny hlavní půdní jednotky (2. a 3. číslo BPEJ), podle kterých se určí hodnoty K faktoru dle Janečka (2008) (viz obrázek č. 3). Následně jsou hodnoty zapsány do atributové tabulky. Tato vrstva .shp je poté převedena stejně jako u C faktoru na rastr, který zachovává hranice daných hlavních půdních jednotek a hodnotu K faktoru.

HPJ	K - faktor	HPJ	K - faktor
01	0,41	40	0,24
02	0,46	41	0,33
03	0,35	42	0,56
04	0,16	43	0,58
05	0,28	44	0,56
06	0,32	45	0,54
07	0,26	46	0,47
08	0,49	47	0,43
09	0,60	48	0,41
10	0,53	49	0,35
11	0,52	50	0,33
12	0,50	51	0,26
13	0,54	52	0,37
14	0,59	53	0,38
15	0,51	54	0,40
16	0,51	55	0,25
17	0,40	56	0,40
18	0,24	57	0,45
19	0,33	58	0,42
20	0,28	59	0,35
21	0,15	60	0,31
22	0,24	61	0,32
23	0,25	62	0,35
24	0,38	63	0,31
25	0,45	64	0,40
26	0,41	65	nedostatek dat
27	0,34	66	nedostatek dat
28	0,29	67	0,44
29	0,32	68	0,49
30	0,23	69	nedostatek dat
31	0,16	70	0,41
32	0,19	71	0,47
33	0,31	72	0,48
34	0,26	73	0,48
35	0,36	74	nedostatek dat
36	0,26	75	nedostatek dat
37	0,16	76	nedostatek dat
38	0,31	77	nedostatek dat
39	nedostatek dat	78	nedostatek dat

Obrázek č. 3 - Hodnoty faktoru K dle HPJ

(Janeček, 2008)

Faktory L a S

Faktory L a S jsou pro výpočet zkombinovány do LS faktoru. Pro nepřerušenu délku svahu je nejprve z digitálního modelu reliéfu vypočítán rastr „Flow direction“, který reprezentuje směr odtoku, a poté je z něj spočítána nepřerušovaná délka svahu pomocí funkce „Flow length“ (zde je nutné zvolit, aby byla spočítána délka ze shora – upstream). Faktor sklonitosti svahu je vypočítán z digitálního modelu pomocí funkce „Slope“ (zde je nutné nastavit, aby sklon byl v %). Takto připravené výstupy se zkombinují v LS faktor pomocí rovnice:

$$LS = l_d^{0,5}(0,0138 + 0,0097s + 0,00138s^2)$$

Ta je spočítána pomocí funkce „Raster calculator“, kde je hodnota l_d vyjádřena rastrem vzniklým funkcí „Flow length“ a s je vyjádřena rastrem vzniklým funkcí „Slope“ (Šinka a kol. 2013).

Faktor P

S tímto faktorem není v práci počítáno, protože na území se nenachází protierozní opatření. Jeho hodnota je tedy rovna 1. Jeho číselné vyjádření pro některá protierozní opatření však uvádí například Janeček (2008).

5.1.2 Dosazení do rovnice USLE

Po vytvoření jednotlivých rastrů zbývá už pouze dosadit dané proměnné do rovnice USLE. K tomu opět poslouží Raster Calculator, do kterého je zadána rovnice následovně:

$$G = R * K * L * S * C * P$$

kde: R – regionální hodnota R faktoru

K – rastr K faktor

LS – rastr LS faktoru

C – rastr C faktoru

P – hodnota rovna 1

G – výsledný rastr s daty o smyvu

Výsledný rastr tedy představuje, kolik tun půdních částic na jeden hektar bude odneseno erozí z daného pixelu za rok. Pro práci je hlavní, aby v průměru dosahoval půdní blok hodnoty menší než 4 t/ha/rok.

5.2 Dimenzování technických protierozních opatření

5.2.1 Umístění technických protierozních opatření

Aby protierozní opatření bylo co nejefektivnější, je nezbytné ho vhodně umístit do terénu. Umístění lze určit pomocí rovnice USLE přípustnou délku nepřerušného svahu. V širší podstatě jde pouze o vyjádření délky svahu při maximální možné (přípustné) ztrátě půdy. Janeček (2008) uvádí, že pomocí určených faktorů použitých při výpočtu eroze pomocí USLE lze stanovit přípustné hodnoty následovně:

$$Lp = \frac{Gp}{R * K * S * C * P}$$

kde: Lp – přípustná hodnota L faktoru

Gp – přípustná ztráta půdy

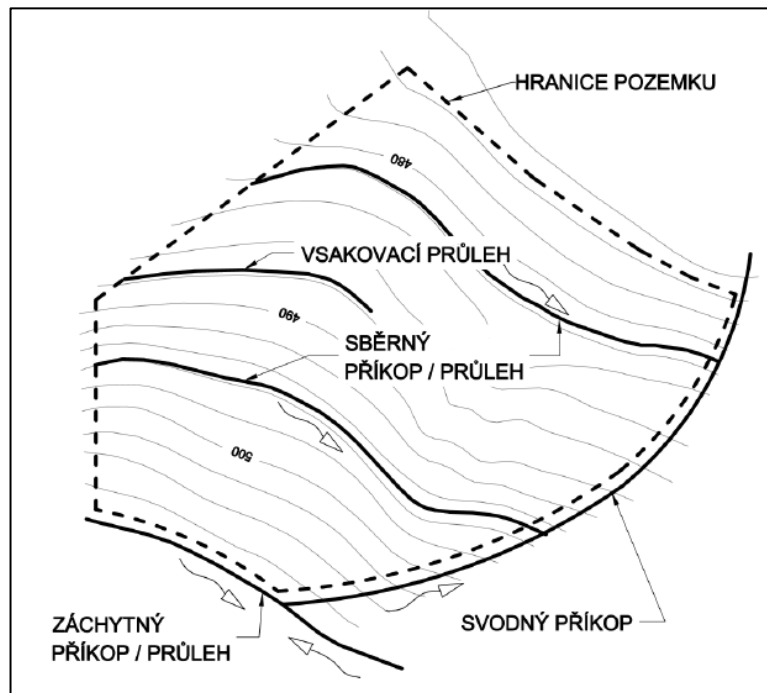
Z přípustného L faktoru je poté vyjádřena přípustná nepřerušená délka svahu:

$$lp = 22,13 * Lp^q$$

kde: lp – přípustná délka svahu

q = exponent zahrnující vliv svahu (čím větší sklon, tím větší hodnota)

Dostál (2014) upozorňuje, že tento výpočet není možné počítat pro každý pixel zvlášť. Doporučuje počítat s průměrnými hodnotami dle svahů. První (záchytný prvek) bude umístěn dle místa vzniku eroze, následující sběrné prvky (obrázek č. 4) pak budou umístěny podle výpočtu.



Obrázek č. 4 – Typy liniových TPEO dle umístění (Kadlec, 2014)

5.2.2 Stanovení přímého odtoku pomocí CN křivek

Aby mohla být opatření navržena, je potřeba stanovit objem přímého odtoku, který má pojmout daný prvek protierozního opatření. K tomu je v této práci využit model CN – křivek. Hodnoty křivek vyjadřují, jaký poměr ze srážky je odveden jako přímý odtok, resp. jaký poměr ze srážky se nevsákne (Antal a kol., 2014).

Číselnou hodnotu CN křivek lze odvodit opět pomocí HPJ, která nám napoví, do jaké kategorie hydrologické půdní skupiny půda patří. Po zařazení do hydrologické skupiny je ještě nezbytné určit využití půdy a hydrologické podmínky. Průnik těchto dat nakonec stanoví hodnotu CN křivky (Janeček, 2008).

Samotné číslo CN křivky poté slouží ke stanovení přímého odtoku podle následujícího postupu (Smelík, 2016). V první řadě je vypočtena maximální potencionální retence:

$$A = 25,4 * \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

kde: A – maximální potencionální retence [mm]

Následně je vypočtena hodnota výšky přímého odtoku:

$$Ho = \frac{(Hs - 0,2 * A)^2}{Hs + 0,8 * A}$$

kde: Ho – výška přímého odtoku [mm]

Hs – srážkový úhrn [mm]

Z výšky přímého odtoku je poté možné vypočíst celkový plošný odtok:

$$Oph = 1000 * Ho * Pp$$

kde: Oph – objem přímého odtoku [m³]

Pp – plocha povodí [km²]

K dimenzování záchytných odváděcích prvků je dle Kadlece (2014) také potřebný výpočet kulminačního průtoku. Ten se dle Janečka a kol. (2008) stanoví dle rovnice:

$$Q_{pH} = 0,00043 * q_{pH} * F_p * H_o * f$$

kde: Q_{pH} – kulminační průtok [m³/s]

q_{pH} – jednotkový kulminační průtok

F_p – plocha povodí [km²]

H_o – výška odtoku [mm]

f – opravný součinitel pro vliv rybníků a mokřadů

Ke stanovení přímého odtoku je dle Podhrázké (2008) možné využít program ERCN (obrázek č.5) vyvinutý ve VÚMOP. Tento program dokáže mimo jiné provést výpočet, který stanoví přímý odtok pomocí zadaných hodnot – srážkový úhrn, vážený průměr CN a plocha povodí. Na vypočítaný objem vody je poté dále možné navázat v dimenzování protierozních opatření.

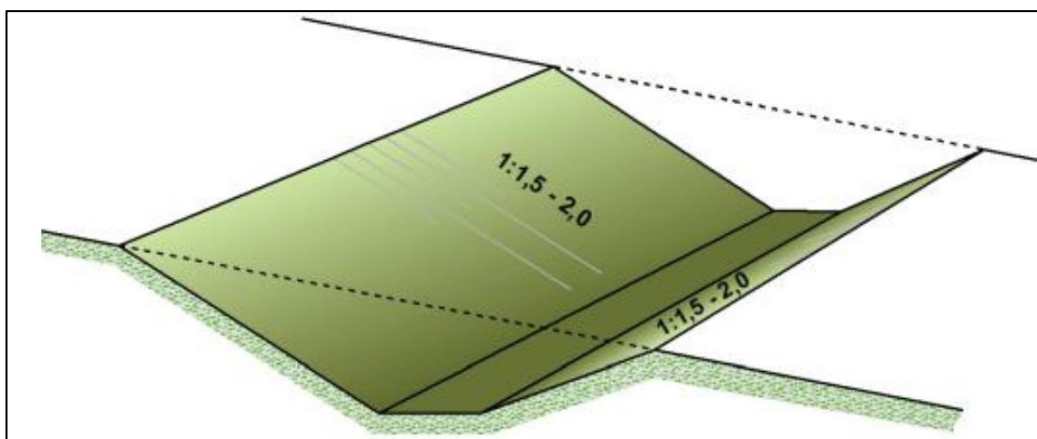
Obrázek č. 5 – Uživatelské prostředí programu ERCN (vlastní zpracování)

5.2.3 Dimenzování příkopů a průlehů

Parametry TPEO

V práci je pracováno především s příkopy a průlehy, proto budou blíže technicky specifikovány. Jak bylo uvedeno v teoretické části, tato opatření mohou být rozděleny na záchytná, sběrná nebo svodná. Na parametrech se autoři jako Kadlec (2014), Janeček (2008), Podhrázká (2005) či VÚMOP (2018) většinou shodují.

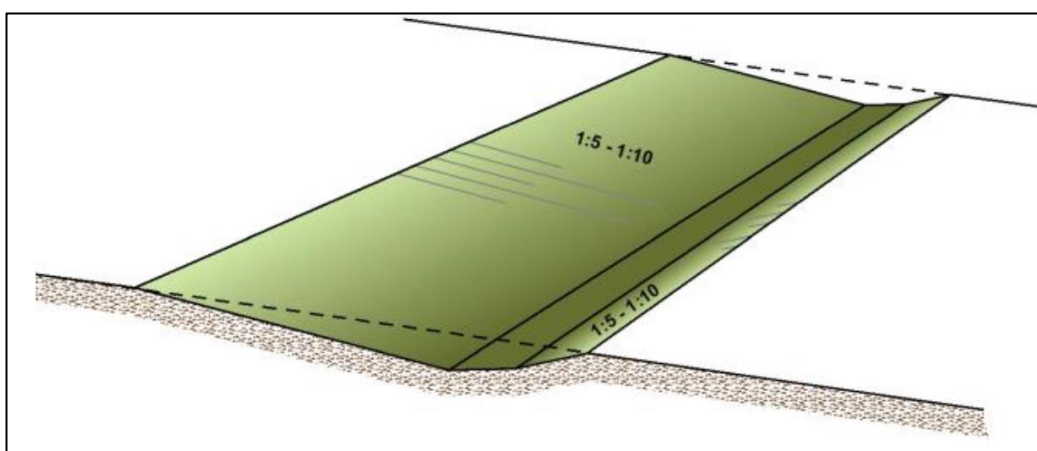
Obecně se u příkopu počítá s lichoběžníkovým příčným profilem, jeho hloubka by se měla pohybovat v rozmezí 0,4-1,2 m, šířka dna by potom měla být 0,3-0,6 m. Co se týče příčného profilu, sklon svahů by měl být mezi 1:1,5 – 1:2. Délka takového příkopu by měla být maximálně 800 m a jeho podélný sklon by měl být maximálně 3 %. Záchytný a sběrný příkop nemusí být opevněn, stačí tedy travní porost. Naopak svodný příkop by měl mít opevněné dno a rozměry a druh opevnění by měl být přizpůsoben podélnému sklonu.



Obrázek 6 – Parametry příkopu

(Kadlec, 2014)

Oproti příkopům jsou průlehy limitovány tím, že mohou být umístěny pouze na svazích do 10 %. Co se týče příčného profilu koryta, je rozdíl také ve sklonu břehu, který má průleh vůči příkopu mírnější – 1:5 až 1:10 (obrázek č. 7). Hloubka je doporučována od 1 m do 0,2 m. Podélný sklon by měl být stejně jako u příkopů do 3 %, zde však platí také podmínka, že by měla být zachována rychlost průtoku maximálně 1,5 m³/s. U průlehů je počítáno s částečným zasakováním a na rozdíl od příkopu se mohou navrhovat průjezdné.



Obrázek 7 – Parametry průlehu

(Kadlec, 2014)

U obou případů je také vhodné vytvořit hrázku na spodní hraně příkopu, která by při vyšší srážce zvýšila retenční schopnost protierozního prvku. Kadlec (2014) také nabízí zatravnit pás před příkopem v šíři 5 metrů.

Hydrologické výpočty

Záchytné, sběrné a svodné příkopy či průlehy je potřebné dimenzovat pro daný průtok odtoku z n-leté srážky, aby byly dostatečně schopné vodu bez problému odvést do nejbližšího recipientu. Pro ochranu zemědělského půdního fondu by mělo jít

o pětiletou srážku. Dimenzování je tedy určováno plošným odtokem, který mají příkopy/průlehy pojmout, a příslušnými technickými parametry z předchozí podkapitoly. Jak uvádí Kadlec (2014), pro výpočet je vhodné použít klasickou rovnici průtoku, kde je rychlost určena Chézyho rovnicí:

$$Q = S * v$$

kde: Q – průtok [m^3/s]

S – plocha průřezu [m^2]

v – rychlost [m/s]

$$v = C\sqrt{R * i}$$

kde: C – Chézyho rychlostní součinitel [$m^{0,5}s^{-1}$]

R – hydraulický poloměr ($R = S/O$; O – omočený obvod)

i – sklon příkopu/průlehu

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}$$

kde: n – Manningův drsnostní součinitel

(Mattas, 2014).

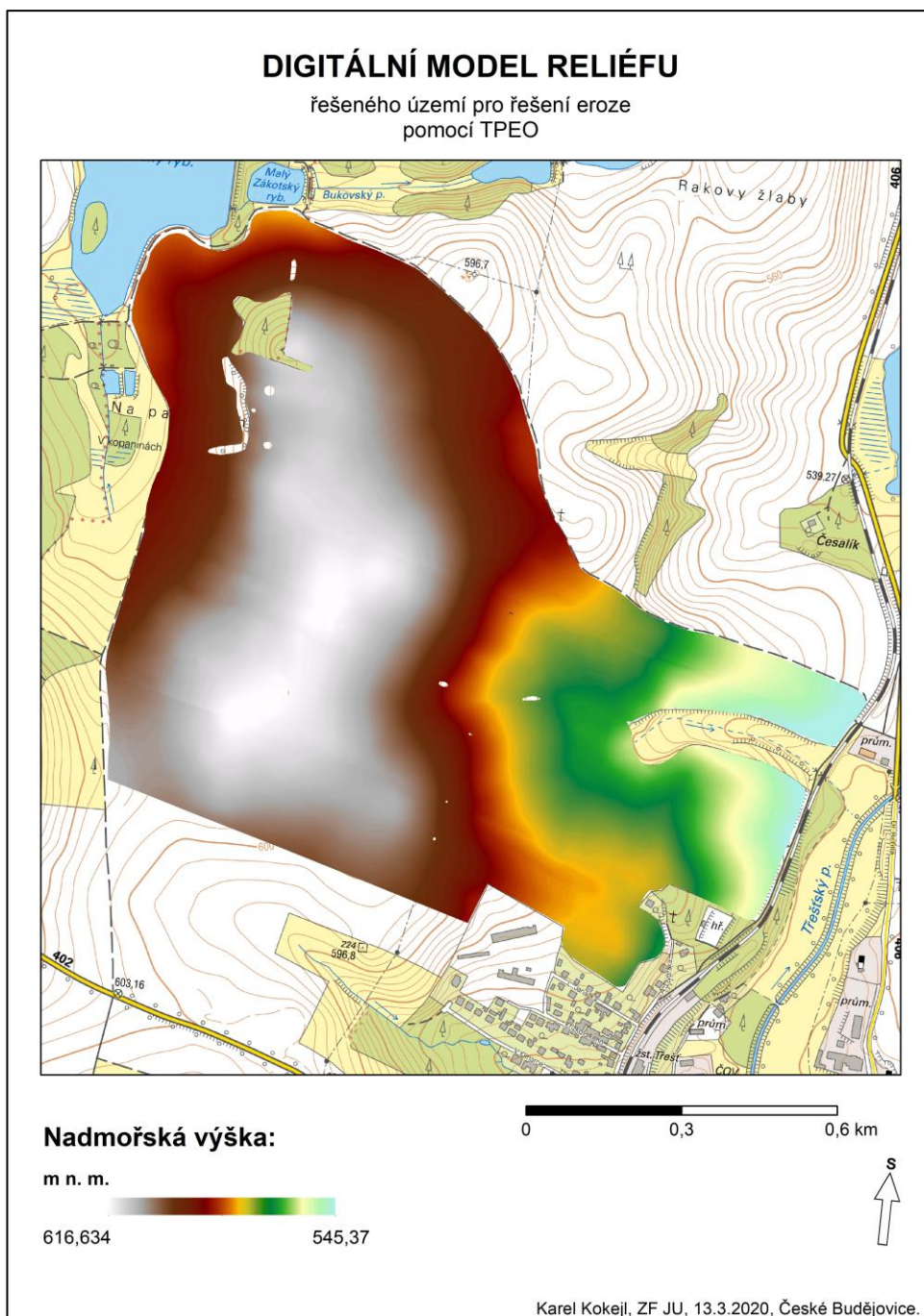
6. Výsledky a diskuse

V předchozích kapitolách se s pomocí odborné literatury bylo možné seznámit se s teorií eroze, se zájmovým územím, podklady pro řešení dané problematiky a metodikou této práce. Nyní lze tedy přistoupit ke klíčové kapitole obsahující výsledky a diskuzi. Zde je vypočítána eroze pro dané území, navrhnuty protierozní opatření k zmírnění eroze, a nakonec samotné vymodelování navržených protierozních opatření do digitálního modelu reliéfu.

6.1 Vytvoření DMR 5G

Pro tuto práci je nejvíce důležitý digitální model reliéfu, který je použit na určení topografických faktorů L a S a dále s ním bude pracováno v souvislosti s modelováním technických protierozních opatření. Pro práci jsou využita data Digitálního modelu 5. generace, která jsou poskytována Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním pro jeden mapový list státní mapy 1: 5000 (2 x 2,5 km). Data jsou ve formátu .xyz, tedy obsahují údaje o souřadnicích a nadmořské výšce. Pro práci v programu ArcMap je nutné otevřít soubor v Microsoft Excel a poté ho uložit do formátu tabulky .csv, který program dokáže přečíst a převést data na vrstvu bodů s nadmořskou výškou za pomoci nástroje „ASCII 3D to feature class“. Další možností je nahrání .csv tabulky do obsahové části a pomocí pravého tlačítka zvolit funkci „Display XY data“.

Následně je nutné převést body s nadmořskou výškou na rastrový digitální model reliéfu. Pro tento účel je použit nástroj „Topo to raster“, kde je nutné nastavit jako primární vstupní data body (point). Velikost pixelu, tedy plocha, která bude obsahovat informace, byla kvůli nejpřesnějšímu možnému modelování stanovena na 0,2 m x 0,2 m. Pracování s rastrem s ještě menšími rozměry by pro běžnou výpočetní techniku bylo téměř nemožné (doba zpracování rastru, velikost rastru). Takto vytvořený rastr je nakonec vhodné vyhladit nástrojem „Fill“. Konečný rastr, který je možné vidět na mapě č.1, je pro účely práce potřeba oříznout pomocí funkce „Extract by mask“ vrstvou půdních bloků, pro které bude eroze následně počítána.



Mapa č. 3 - Digitální model terénu

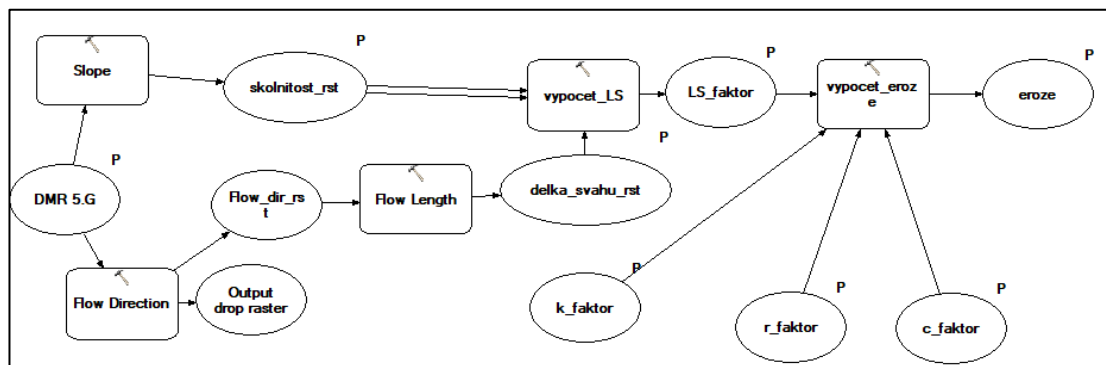
(vlastní zpracování)

6.2 Modelování eroze v prostředí ArcMap

Přestože se jedná o dva samostatné půdní bloky, fyzická hranice, která by byla schopná odklonit povrchový odtok, zde chybí. Proto bude výpočet faktorů a celkové eroze prováděn pro oba bloky bez vnitřní hranice. Výpočet USLE bude prováděn stejně, jako uvádí například práce Dufkové a Tomana (2014).

Faktory erozní účinnost deště (R), erodovatelnost půdy (K), ochrana vegetací (C) byly pro výpočet USLE vytvořeny poměrně jednoduchým způsobem – a to převedením jejich hodnot pro celou plochu na rastr, jak je popsáno v kapitole „Metodika“. Tyto rastry se nacházejí v přílohách.

U faktorů délky svahu a sklonitosti (dohromady faktor LS) však přichází na řadu složitější postup. Jak je popsáno v kapitole „Metodika“ - nejprve je nutné z digitálního modelu reliéfu vytvořit rastr se sklonitostí, poté s délkou svahu, a nakonec z nich vytvořit výsledný rastr faktoru LS. Ten poté stačí s ostatními faktory dosadit do rovnice USLE. Pro zjednodušení byl vytvořen pomocí vizuálního programovacího jazyka ModelBuilder (obsažený v ArcMap) geoprocessingový model (Obr. č.2) obsahující všechny funkce najednou. Vstupními parametry jsou zastoupeny digitálním modelem reliéfu (pro výpočet LS) a rastry reprezentující faktory R, K a C.

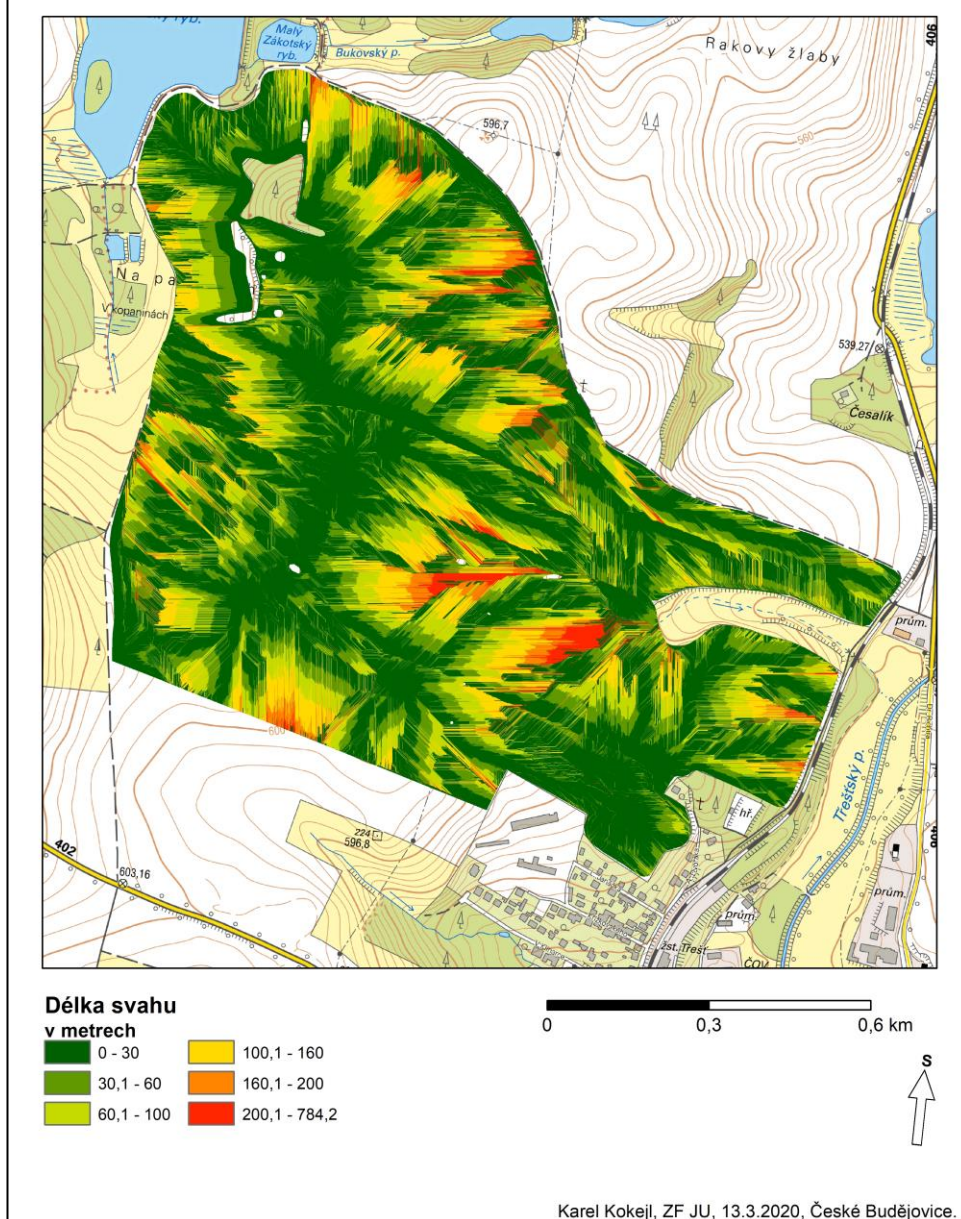


Obrázek 8 - Geoprocessingový model pro výpočet eroze (vlastní zpracování)

Rastr (mapa č. 4) s hodnotami nepřerušené délky svahu byl vytvořen podle následujícího postupu: Nejprve byl vytvořen z digitálního modelu povrchu rastr směru odtoku (nástroj „Flow direction“). Z tohoto rastru je poté možné vytvořit pomocí nástroje „Flow length“ rastr znázorňující nepřerušenu délku svahu. U tohoto nástroje je nutné nastavit směr počítání délky od rozvodnice k uzávěrovému profilu (Direction of measurement: UPSTREAM).

NEPŘERUŠENÁ DÉLKA SVAHU

zájmového území pro řešení eroze pomocí TPEO



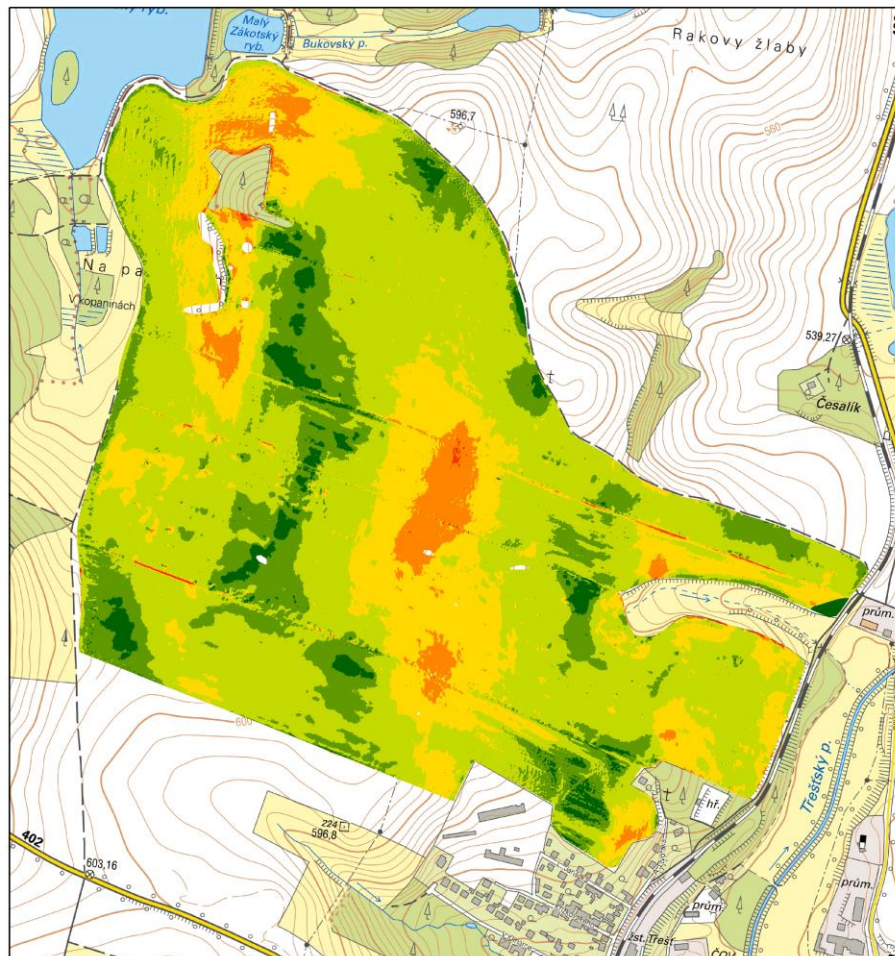
Mapa č. 4 – Nepřerušená délka svahu

(vlastní zpracování)

K výpočtu faktoru LS je také nutné vytvořit rastr sklonitosti území. Ten je možné vytvořit opět z rastru digitálního modelu terénu. Pro vytvoření sklonitosti slouží nástroj „Slope“. Zde je nutné nastavit, aby výsledné hodnoty sklonu pro jednotlivé pixely byly v procentech, nikoliv ve stupních. Na mapě č. 5 tak lze vyčíst, kde se nachází nejprudší svahy na zájmovém území.

SKLONITOST

zájmového území pro řešení eroze
pomocí TPEO



SKLONITOST

v %

0 - 2	10,1 - 15
2,1 - 5	15,1 - 20
5,1 - 10	20,1 - 59,4

0 0,3 0,6 km



Karel Kokejl, ZF JU, 13.3.2020, České Budějovice.

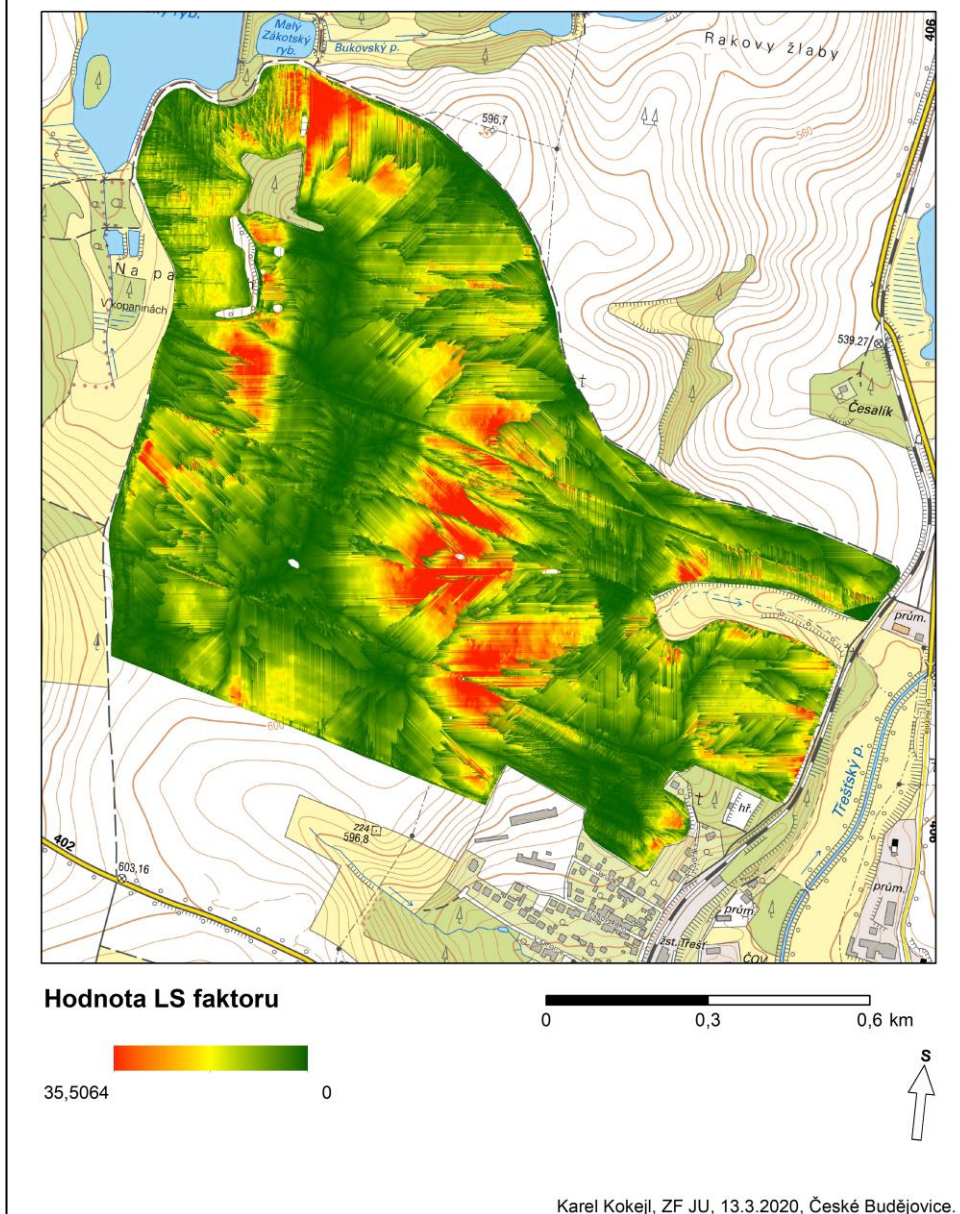
Mapa č. 5 – Sklonitost zájmového území

(vlastní zpracování)

Průnikem předchozích dvou rastrů je rastr znázorňující hodnotu faktoru LS (mapa č. 6). Ta je vypočtena pomocí nástroje „Raster calculator“. Dle kapitoly „Metodika“ jsou do kalkulátoru dosazeny hodnoty z rastrů délky svahu a sklonitosti. Vzhledem ke stejným hodnotám faktoru C a faktoru R a méně rozmanitým hodnotám faktoru K lze říci, že právě faktor LS bude nejvíce ovlivňovat erozi na těchto dílech půdních bloků.

FAKTOR LS

zájmového území pro řešení eroze
pomocí TPEO

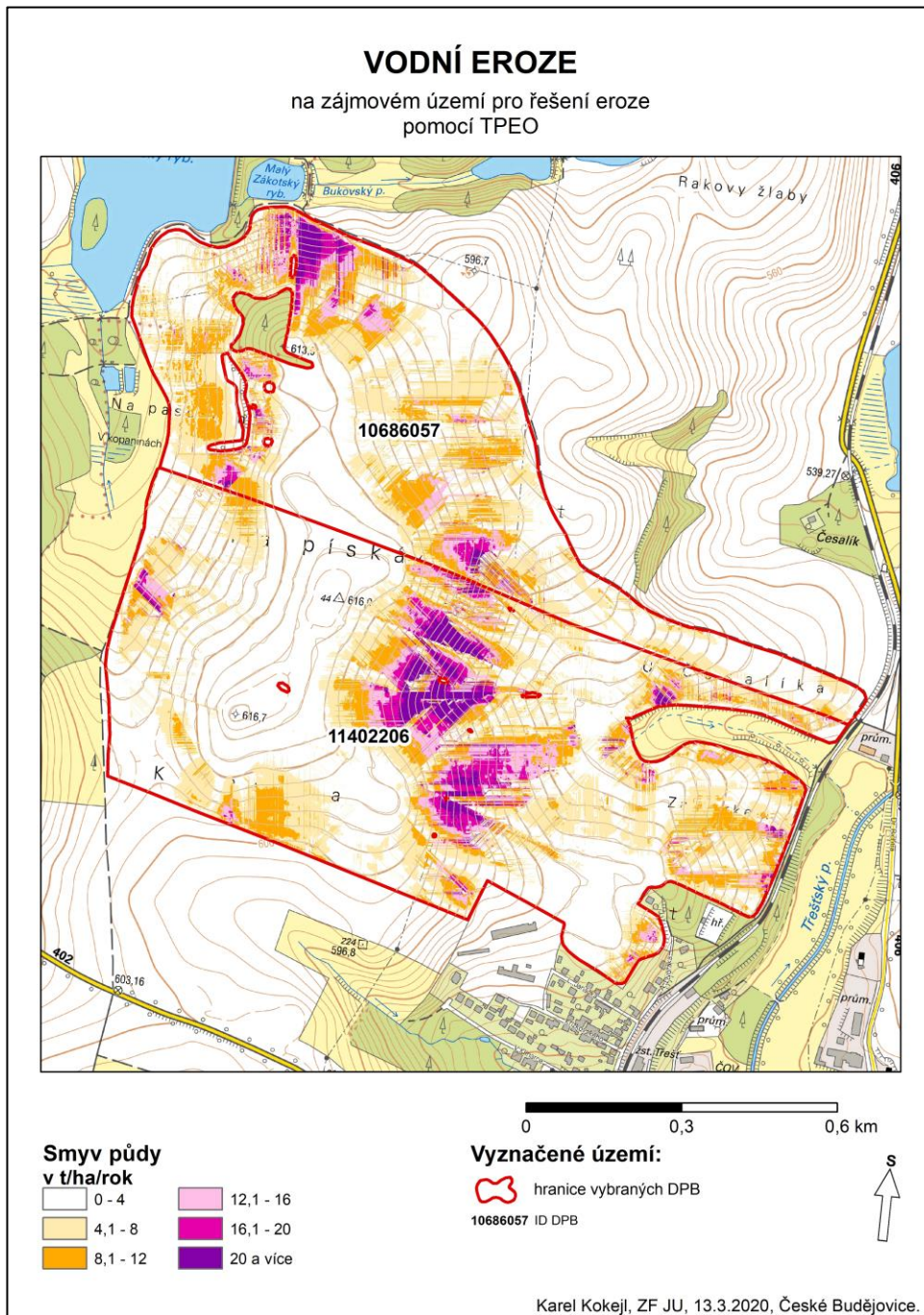


Mapa č. 6 – Faktor LS zájmového území

(vlastní zpracování)

Na závěr byl vytvořen konečný rastr znázorňující erozní smyv půdy (mapa č. 7). Z něho lze lehce vymezit nejohroženější místa na zájmovém území. Jedná se o severozápadní, a především západní svahy řešeného území – nejkritičtější je logicky nejstrmější část na jižním DPB. Právě zde se dá předpokládat návrh technického protierozního opatření. Co se týče sumarizace eroze pro jednotlivé díly půdních bloků, tak výsledky jsou velmi podobné. Na severním půdním bloku dosahuje

průměrná hodnota 5,6 t/ha/rok, na jižním půdním bloku je hodnota smyvu půdy o jednu desetinu menší.



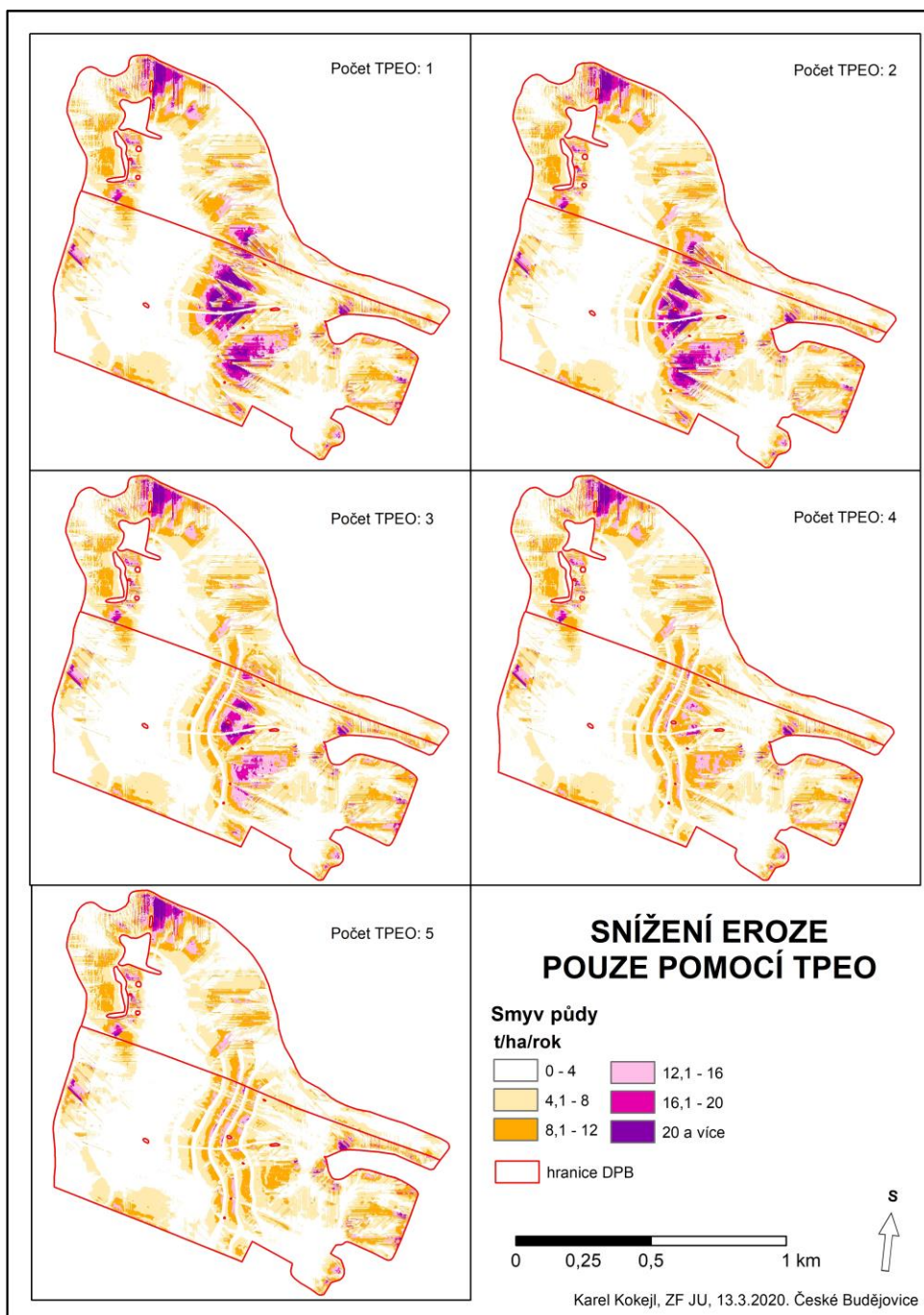
Mapa č. 7 – Vodní eroze na zájmovém území

(vlastní zpracování)

6.3 Návrh PEO

Před vytvořením samotného digitálního modelu povrchu, který by obsahoval technické protierozní opatření, je nejprve vhodné vyzkoušet účinnost takového opatření přerušením svahu. Toho lze docílit tak, že jsou navržené příkopy plošně „vyříznuty“ z původního digitálního modelu reliéfu čímž je přerušena kontinuita svahu. Eroze je poté opět spočítána s nově vytvořeným rastrem digitálního modelu reliéfu.

Prvotní myšlenka této práce byla navrhnout technické opatření tak, aby byla potlačena eroze na nejkritičtějších místech a aby vybrané půdní bloky mohly být zařazeny do kategorie neohrožených erozí. Technické protierozní opatření je umístěno především v oblastech s nejvyššími hodnotami eroze. Opatření se skládá ze sběrných prvků, které následně ústí do svodného prvku. Ten vede údolnicí až k hranici půdního bloku, kde je možné odvedenou vodu zaústit do stroužky, která ústí do místního vodního toku. Případné zadržení vody bude řešeno při modelování. Dle mapy č. 8 lze vidět, že bylo navrženo celkem pět linií sběrných protierozních prvků, nicméně ani takto početné a hustě navržené technické protierozní opatření nedokázalo snížit erozi na obou půdních blocích pod 4 t/ha/rok. U severního DPB se hodnota erozního smyvu dostala pouze na 5 t/ha/rok, u jižního pak na 4,5 t/ha/rok. Jak je tedy z předběžných výsledků zřejmé, tak pouze pomocí technických opatření nelze dosáhnout požadovaného účinku. Proto autor přistoupil k následujícímu řešení.



Mapa č. 8 – Snížení eroze pouze pomocí TPEO

(vlastní zpracování)

Vzhledem k tomu, že tyto dva půdní bloky činní v součtu lehce přes 117 ha (dle analýzy Podhrázské (2014) se tak řadí do dvou nejohroženějších kategorií z hlediska rizikového faktoru velikosti pozemku) a oba patří do kategorie erozně ohrožených, je nutné přistoupit k opatření, které zmiňuje nařízení vlády č. 48/2017 Sb. Jedná se o zákaz pěstování monokultur na ploše větší než 30 ha (pod podmínkou nepřerušení DPB zatravněným pásem širokým 22 m nebo pásem jiné plodiny o šířce 110 m). Toto opatření platí pro rok 2020 na všech mírně erozně ohrožených a silně

erozně ohrožených DPB. Jak uvádí článek Menclové (2019) na stránkách Českomoravského svazu zemědělských podnikatelů, který cituje tiskového mluvčího MZe, od roku 2021 se počítá s tím, že toto pravidlo bude platit i pro erozně neohrožené. Stávající bloky by tedy bylo vhodné rozdělit na menší půdní bloky podle zmíněného nařízení. Dle rozlohy by se jednalo o rozdělení severního pozemku minimálně na dva díly a jižního minimálně na tři. Protože se jedná o území souvislé, bez fyzických bariér mezi bloky, je vhodné (z hlediska eliminace eroze) hranici mezi stávajícími půdními bloky vypustit a rozčlenit území na více půdních bloků nezávisle na stávajících hranicích tak, aby splňovaly podmínky zmíněného nařízení. Pro zájmové území se však erozní ohrožení nezmění a bude nutné vymyslet vhodná protierozní opatření.

Již první příležitostí, jak zmírnit erozní ohroženost je vhodné zvolení tvaru pozemku vzhledem k morfologii terénu. Jak již bylo popsáno v teoretické části, pozemky by měly mít kratší stranu kolmo k vrstevnicím, což by zemědělce donutilo přistoupit k vrstevnicovému obdělávání půdy. Jak je vidět na mapě č. 9, znázorňující nově navržené rozložení DPB, vzhledem k rozmanitosti tvaru půdního bloku a terénní morfologie se tento postup nedal aplikovat pro všechny nové díly půdních bloků. Nové půdní bloky splňují podmínku maximální rozlohy (viz tabulka č. 2).

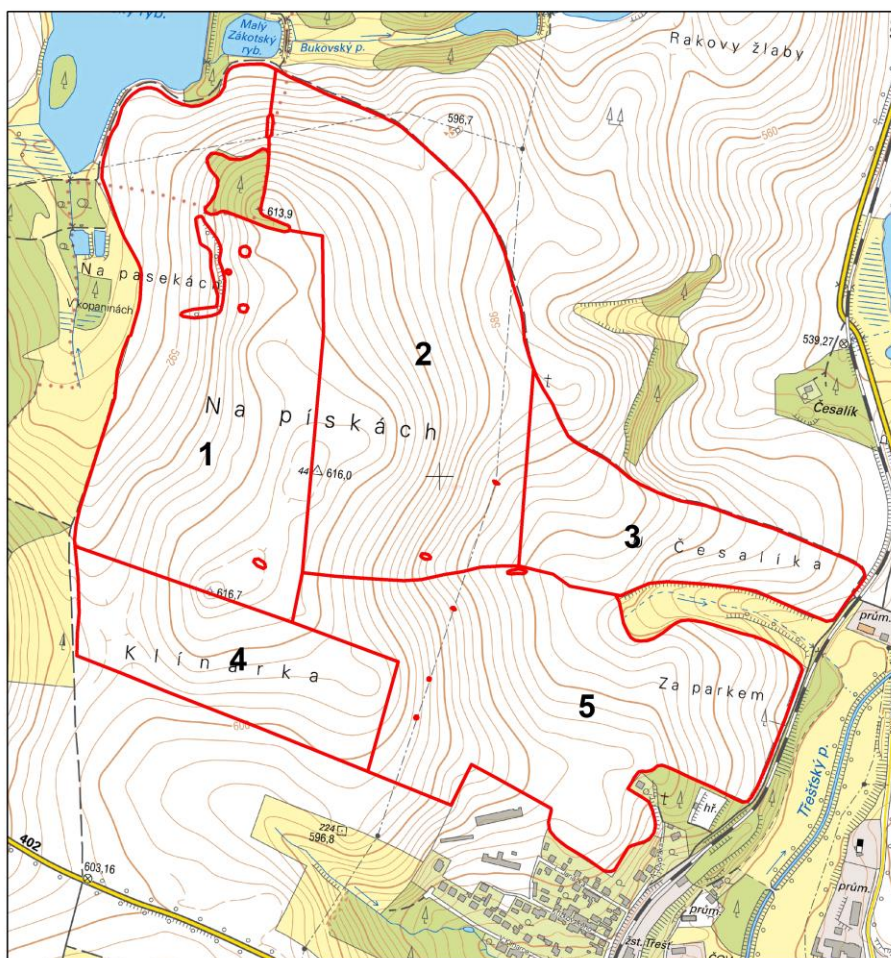
Tabulka č. 2 – Rozloha nových DPB

Číslo DPB	rozloha [ha]
1	28,2
2	29,7
3	12,3
4	18,7
5	27,9


(vlastní zpracování)

PŘEDBĚŽNÉ ROZDĚLENÍ NA DPB

zájmového území pro řešení eroze



Vyznačené území:

-  hranice vybraných DPB
- 1** číslo nového DPB

Zdroje: ČUZK, ZM 1:10 000

Karel Kokejl, ZF JU, 13.3.2020, České Budějovice.

Mapa č. 9 – Předběžné rozdělení nových DPB

(vlastní zpracování)

Vrstevnicové obdělávání lze dle Janečka (2008) počítat do protierozního opatření, které lze číselně vyjádřit a dosadit jako faktor P do rovnice USLE. Jeho hodnota pro tuto rovnici závisí na sklonu a délce svahu na pozemku (tabulka č. 3). Při správném rozdělení pozemku by toto protierozní opatření mohlo také přispět ke snížení celkové eroze. Hodnoty faktoru P jsou pro půdní bloky graficky znázorněny v přílohách.

Tabulka č. 3 – Hodnota faktoru P

Protierozní opatření				
Sklon svahu [%]	do 7	7 až 12	12 až 18	18 a více
Maximální délka pozemku po spádnicí při konturovém obdělávání [m]	120	60	40	-
Hodnota P faktoru	0,6	0,7	0,9	1

(vlastní zpracování; Janeček, 2008)

Stanovené rozdělení DPB není s největší pravděpodobností konečné. Můžou ho ovlivnit například navržené technické protierozní opatření. Pokud by se uspořádání výrazně neměnilo, lze konstatovat, že DPB č. 1, 2 a 4 budou již podle tvaru s největší pravděpodobností vrstevnicově obdělávány. U bloků č. 5 již tato pravděpodobnost klesá a u bloku č.3 je to téměř nepravděpodobné.

6.3.1 Protierozní řešení DPB č. 5

Vzhledem k ne příliš vhodnému tvaru a druhé nejvyšší hodnoty eroze bude nejprve řešen DPB č. 5. Hodnota smyvu půdy zde dosahuje k 6,4 t/ha/rok. Jak již bylo zmíněno výše, vrstevnicové obdělávání zde těžko zaručit, proto je změněn klasický osevňovací postup (faktor C je roven 0,247) na osevňovací postup s půdoochrannými technologiemi – obrázek č. 9 (faktor C roven 0,196).

Název OP: Půdoochranné technologie, (setí do mulče, strniště, bezorebně)						
Faktor ochranného vlivu vegetace (C) zvoleného OP: 0.196						
Plodina	Agrotechnika	Příprava půdy	Setí/Sázení	Sklizeň	Podmínka/Orba	Faktor C
1. jetelotrávní směska	podsev do předplodiny	16.03.2020	30.03.2020	04.08.2021	11.08.2021	0.0203
2. Pšenice ozimá	setí do zorané půdy, sláma ponechána	21.09.2021	05.10.2021	04.08.2022	09.08.2022	0.1634
3. Brambory	v přímých řádcích libovolného směru, včetně odkameňování	09.04.2023	26.04.2023	01.09.2023	08.09.2023	0.5826
4. Pšenice ozimá	setí do zorané půdy, sláma sklizena	21.09.2023	05.10.2023	03.08.2024	08.08.2024	0.1082
5. Ječmen jarní	setí do zorané půdy, sláma ponechána	28.03.2025	07.04.2025	31.07.2025	07.08.2025	0.2994

Osevňovací postup ID: 28; ZVO: 4

Obrázek 9 - Osevňovací postup s půdoochrannými technologiemi pro DPB č.5 (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy)

Ačkoliv byl u tohoto ohroženého bloků změněn osevňovací postup, erozi se stále nedaří dostat pod 4 t/ha/rok (viz tabulka č. 4). Vzhledem k zaměření práce a zamezení dalšího omezování hospodařících subjektů v pěstování plodin bude navrženo technické protierozní opatření. To se dle Uhrové a kol. (2016) navíc jeví jako vhodný prostředek, který přiměje hospodáře k vrstevnicovému obdělávání. Nové navrhované technické opatření bude vycházet z opatření pro původní DPB (viz mapa č.8), kdy do svodného příkopu (zároveň hranice mezi DPB č. 2, 3 a 5) budou ústit sběrné prvky. Vzhledem k tomu, že je zde již změněn osevňovací postup, se dá předpokládat, že eroze je menší než při původním osevňovacím postupu a bude tak možné příkopy navrhnout

v menším počtu a s větším rozestupem. Na spodní hranici pozemku v šíři cca tří metrů se vyskytuje extrémní eroze. Protože se jedná o vcelku malou plochu, bude tato část zatravněna. Změnu způsobu obdělávání, která je doplněna biotechnickými prvky a (v tomto případě i zatravněním) ve vztahu k zmírnění nejen eroze, ale i sucha, kladně hodnotí ve svém článku Dzuráková a kol. (2017)

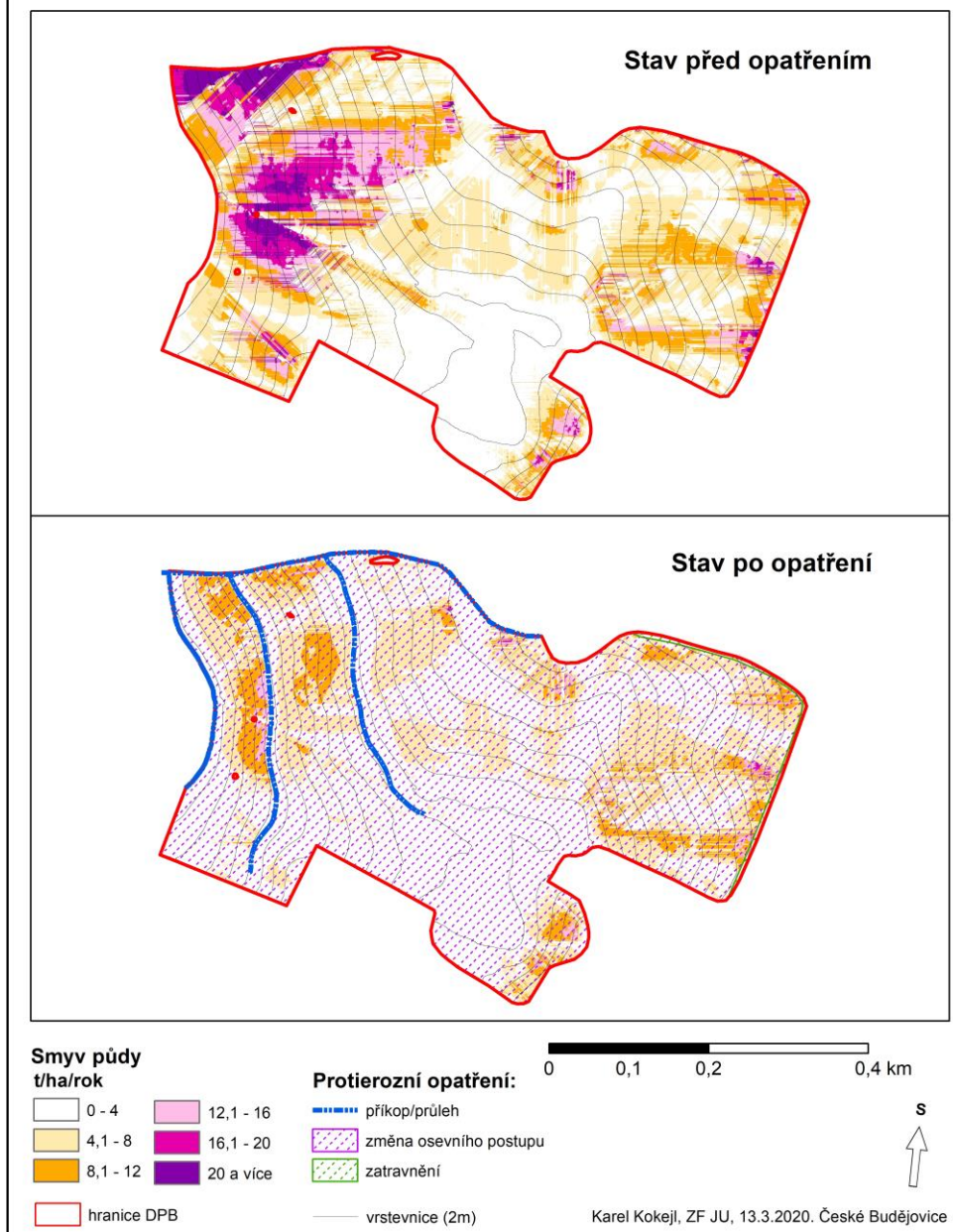
Již při umístění prvního příkopu bylo jasné, že bude nutná úprava hranic půdních bloků. Jedná se o zvětšení DPB č. 4 na úkor DPB č. 5 (výběžek pozemku v západní části) a DPB č. 1 (pás pozemku o šíři cca 90 m). Jak je vidět na mapě č. 10 níže (kde je již upravený půdní blok č.5), na tomto půdním bloku tedy eliminuje erozi změna osevního postupu, zatravnění, technické protierozní opatření (sběrné a svodné prvky) a vrstevnicové obdělávání (zaručitelné pouze mezi prvky technického protierozního opatření).

Tabulka č. 4 – Postup snižování eroze u DPB č. 5

Změna C faktoru	Navržené TPEO	Eroze [t/ha/rok]
ne	ne	6,5
ano	ne	5
ano	ano	3,7

(vlastní zpracování)

APLIKACE PROTIEROZNÍHO OPATŘENÍ NA DPB Č. 5



Mapa č. 10 – Aplikace protierozních opatření na DPB č.5 (vlastní zpracování)

6.3.2 Protierozní řešení DPB č.2

Tento díl půdního bloku je ze všech pěti dílů nejvíce ohrožený erozí – průměrná hodnota dosahuje hodnoty 7,4 t/ha/rok. Jako první je zde, stejně jako u předchozího DPB, změněn osevňovací postup. Jak je vidět v tabulce č. 5, toto opatření ani u tohoto půdního bloku nefungovalo dostatečně. Bude tedy opět přistoupeno k technickému řešení.

Jak již bylo zmíněno – pozemek je podlouhlý ve směru vrstevnic. Jak je zřejmé z mapy č. 11, navržené liniové protierozní prvky zde přerušují délku svahu na téměř $\frac{3}{4}$ pozemku a jejich účinek je tak mnohem větší, než u DPB č. 5. Nový tvar spolu s technickým protierozním opatřením navíc napomáhá tomu, aby zde byla půda vrstevnicově obdělávána, což také výrazně přispívá ke snížení eroze. Vzhledem k omezení rozlohy, která je limitována 30 ha je nemožné využít liniový protierozní prvek ke stanovení horní hranice, jak je tomu u DPB č. 5. Hranice tohoto DPB tak zůstává nezměněna. Velmi problémový je ovšem svah v severní části pozemku. Vzhledem k velkému sklonu svahu a malé ploše ohrožené půdy bude tato část půdního bloku zatravněna.

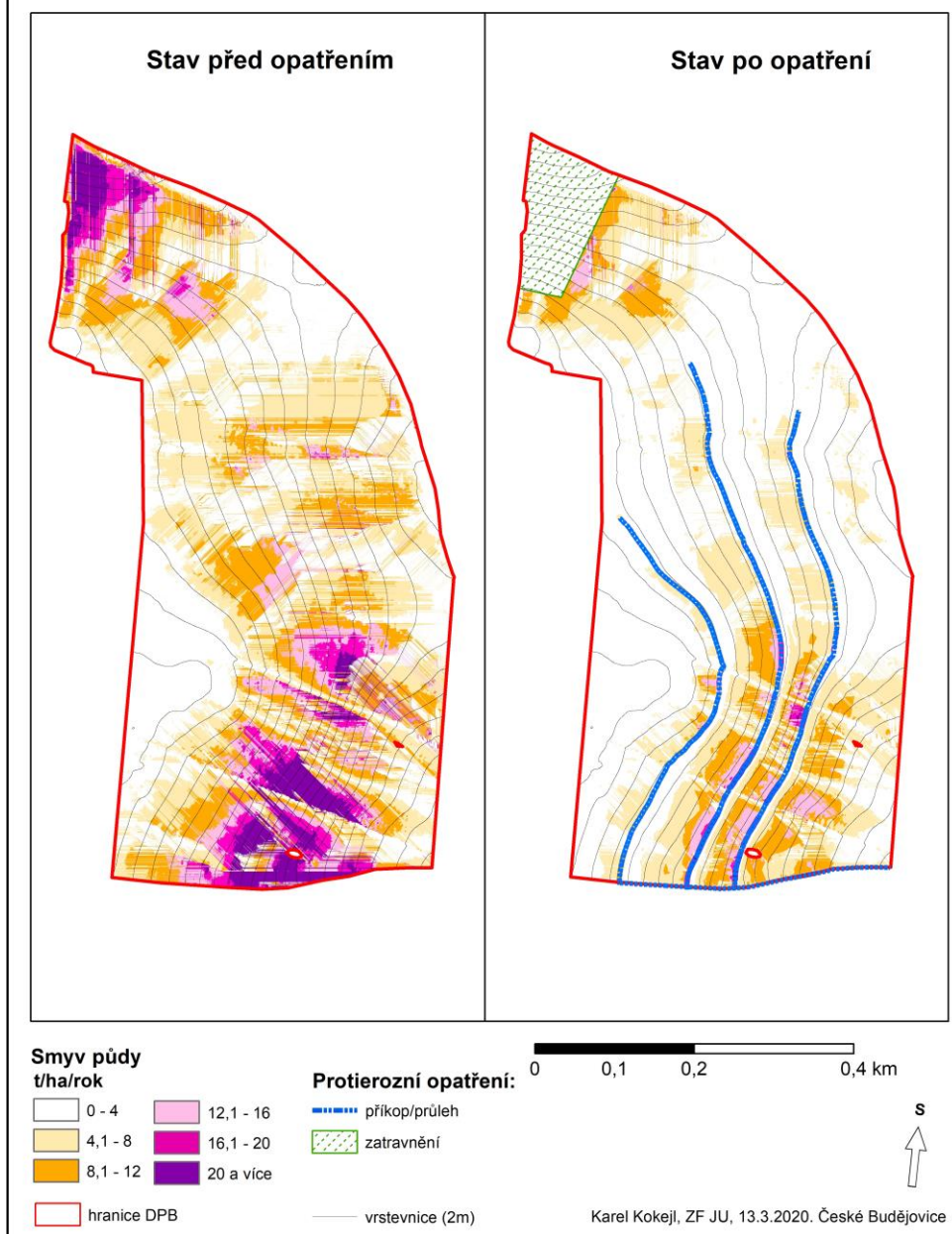
Při změně osevního postupu a využití technického protierozního opatření se hodnota smyvu půdy blížila 3 t/ha/rok (nebylo počítáno s vrstevnicovým obděláváním, které by hodnotu ještě více snížilo), což značí, že by změna osevního postupu při technickém opatření nemusela být nutná. Proto byl smyv půdy vypočten znovu, tentokrát bez změny osevního postupu, ale pouze s protierozním opatřením a s faktorem vrstevnicového obdělávání (mapa č. 11). Hodnota se sice zvýšila, nicméně stále je menší než 4 t/ha/rok. Lze tedy konstatovat, že na tomto dílu půdního bloku byla eliminována eroze beze změny osevního postupu, zato pomocí zatravnění, a především technických protierozních opatření, které spolu s tvarem pozemku přimějí zemědělce pozemek obhospodařovat vrstevnicově, což vede k umocnění protierozního účinku.

Tabulka č. 5 – Postup snižování eroze u DPB. č. 2

Změna C faktor	Navržené TPEO	Eroze [t/ha/rok]
ne	ne	7,1
ano	ne	5,6
ano	ano	3,2
ne	ano	3,7

(vlastní zpracování)

APLIKACE PROTIEROZNÍHO OPATŘENÍ NA DPB Č. 2

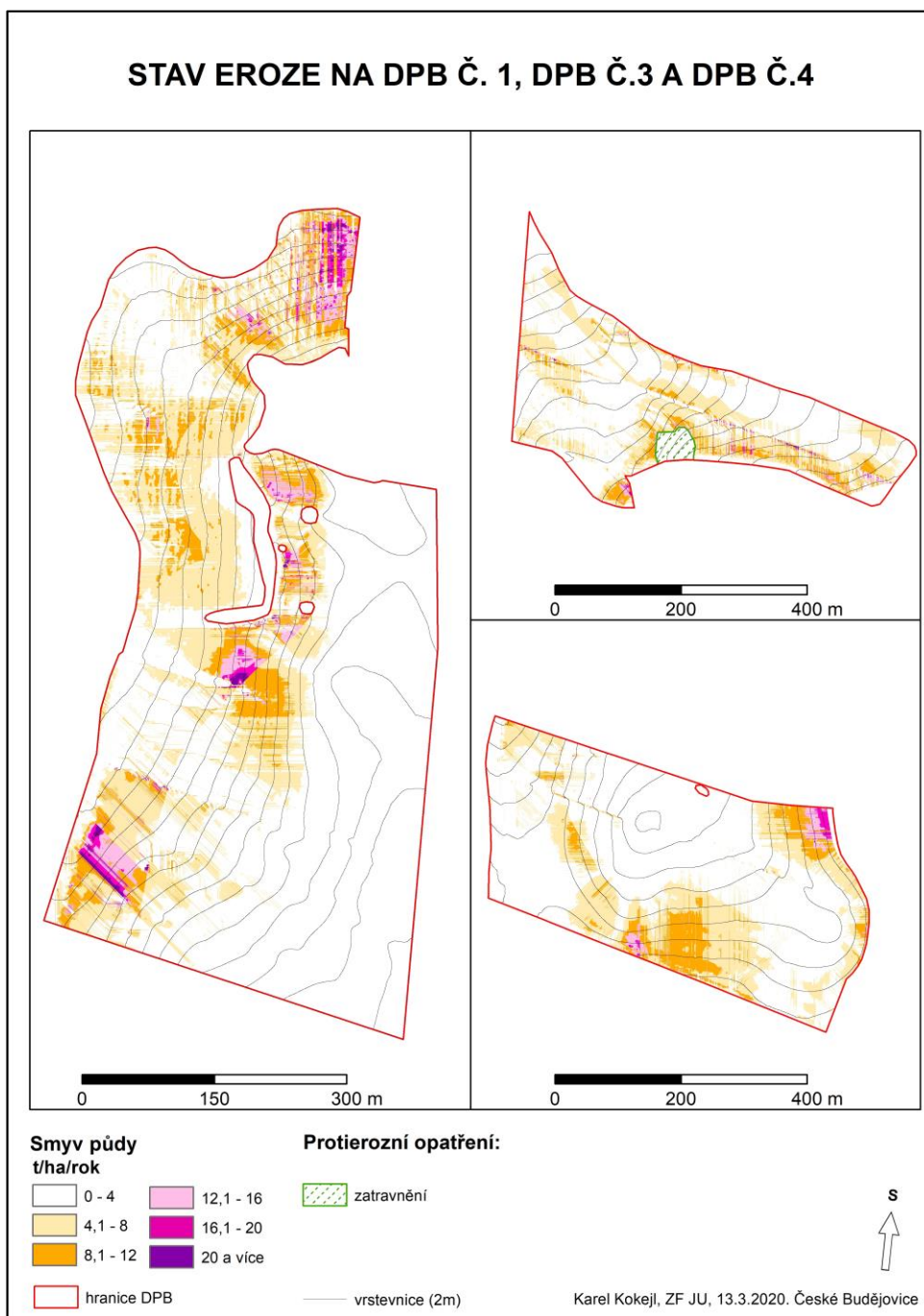


Mapa č. 11 – Aplikace protierozního opatření na DPB č. 2 (vlastní zpracování)

6.3.3 Protierozní řešení zbylých DPB

Vzhledem k tomu, že zbývající díly půdního bloku nevyžadovaly téměř žádné protierozní opatření, budou okomentovány i znázorněny (mapa č.12) dohromady. U **DPB č. 1** by maximální možná hodnota byla překročena pouze o jednu desetinu. S použitím vrstevnicového obdělávání, které se zdá logické vzhledem k tvaru, se však průměrná hodnota eroze snížila na hodnotu 3,6 t/ha/rok. Na **DPB č.3** se eroze rovněž nedostala nad maximální hranici pro neohrožené pozemky, nicméně se zde nachází

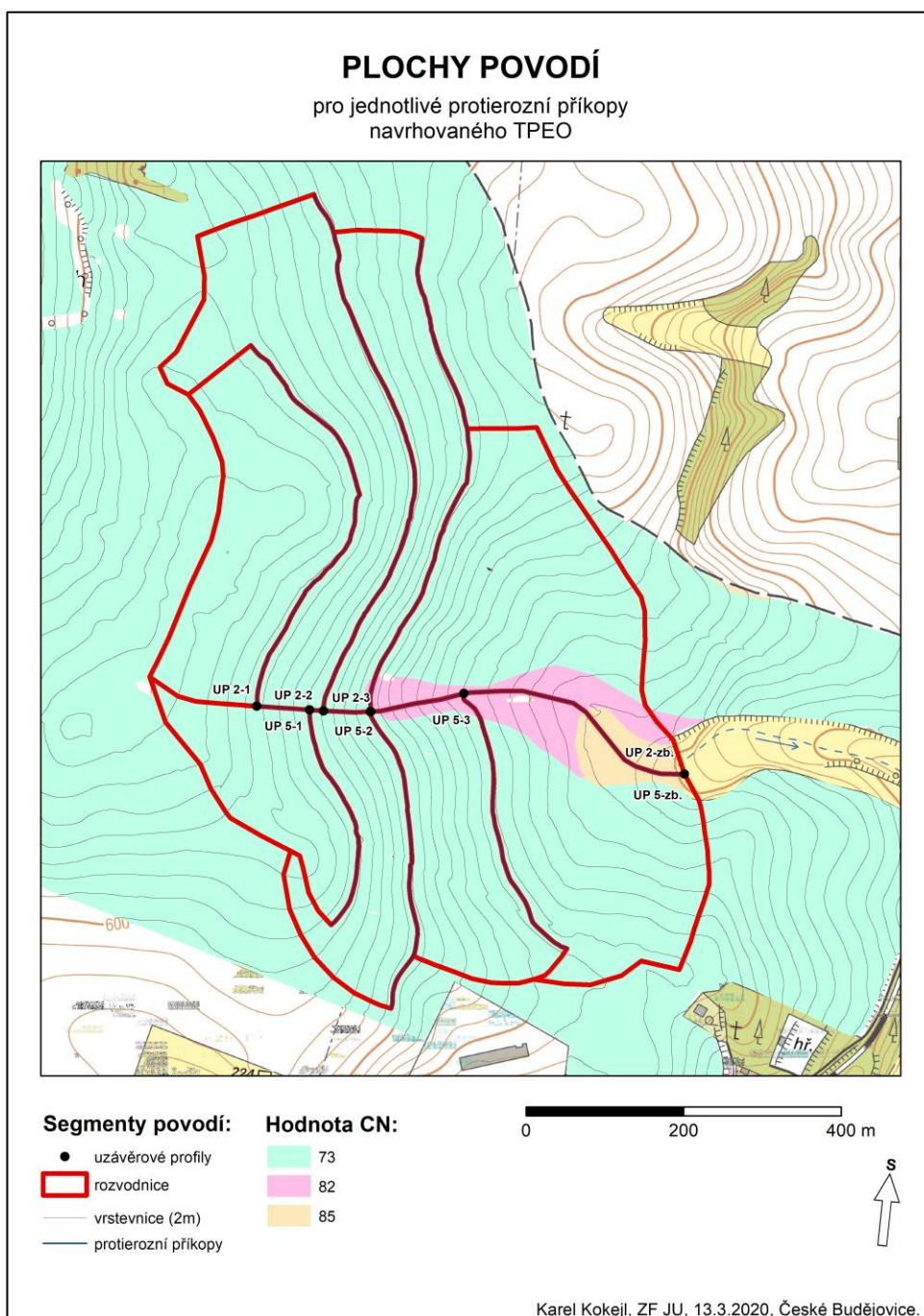
malá lokální plocha s extrémní erozí, která by nejspíše měla být zatravněna (pokud by plocha zatravněna nebyla, stále by na tomto půdním bloku eroze nepřesáhla 4/t/ha/rok). U tohoto dílu půdního bloku jako jediného není předpoklad vrstevnicového obdělávání. Výsledný smyv je stejný jako u předchozího DPB – 3,6 t/ha/rok. Poslední **DPB č. 4** je nejméně ohrožený vodní erozí. Hodnota smyvu půdy dosahuje 3,4 t/ha/rok, a to zde není počítáno s faktorem vrstevnicového obdělávání (vzhledem k tvaru pozemku je pravděpodobné, že bude využíván), který by erozi ještě více snížil.



Mapa č. 12 – Stav eroze na DPB č. 2, DPB č. 3 a DPB č. 4. (vlastní zpracování)

6.4 Dimenzování TPEO

Jako první krok postupu dimenzování je stanovení kulminačního průtoku pro dané protierozní příkopy. Pro tento účel musí být nejdříve určeny hodnoty CN pro dotčené území (viz kapitola Metodika). Dalším krokem je stanovení ploch (rozlohy) povodí pro jednotlivé uzávěrové profily sběrných prvků, pro které bude průtok počítán (v mapě č. 13 značeny jako „UP“ „číslo DPB“ – „pořadí po svahu“).



Mapa č. 13 - Povodí protierozních příkopů a jejich uzávěrové profily (vlastní zpracování)

Pro výpočet kulminačního průtoku pro zmíněné uzávěrové profily jednotlivých příkopů byl využit program ERCN. Zde jsou použity podklady (viz mapa č.11) jednotlivých protierozních příkopů. Jedná se především o plochu a hodnotu CN. Dále se do vstupních hodnot zadá maximální 24-h srážkový úhrn pro zvolenou n-letou vodu z nejbližší meteorologické stanice (pro tento případ meteorologická stanice Jihlava). U ochrany orné půdy jsou protierozní prvky dimenzovány na Q5 až Q10 (Kadlec, 2014), v této práci bude počítáno s horní hranicí – Q10. Poté je ještě potřeba vyplnit sklon svahu, zvolit drsnost povrchu a zadat údaje o soustředěném odtoku. Příkladně (obrázek č.10) je kulminační průtok vypočten pro uzávěrový profil UP 2-1.

Obrázek 10 – Výpočet kulminačního průtoku pro UP 2-1 pomocí programu ERCN

Stejně byly vypočteny kulminační průtoky pro ostatní uzávěrové profily (tabulka č. 6). Tyto hodnoty (jednotlivě pro každý jeden sběrný prvek) budou v dalším kroku sloužit k dimenzování sběrných prvků. Nesmí být opomenuty zbylé plochy pod posledními příkopy, z nichž voda směřuje rovněž do svodného příkopu. I pro jejich uzávěrové profily (značeny jako UP číslo DPB – zb.) je vypočítán průtok, který je potřeba zachovat pro bezpečné odvedení vody. Svodný příkop bude dimenzován pro celé území, tedy celkový součet kulminačních průtoků všech uzávěrových profilů.

Tabulka č. 6 – Hodnoty průtoků pro jednotlivé UP

UP	Q [m ³ /s]
2-1	0,13
2-2	0,15
2-3	0,1
2-zb.	0,24
5-1	0,1
5-2	0,1
5-3	0,12
5-zb.	0,2
celkem	1,14

(vlastní zpracování)

Na vypočtený průtok navazuje dimenzováním liniových protierozních prvků. To bude prováděno pomocí Chezyho rovnice. Jako sběrné prvky by byly vhodné průlehy, které by podporovaly větší vsak vody do půdy. Protože zhruba v polovině délky sběrných prvků svah překračuje 10 %, což znemožňuje vybudování průlehy, budou navrženy příkopy s lichoběžníkovým příčným profilem (Podhrázká; Dufková, 2005). Podporu vsakování však lze alespoň částečně zajistit zmírněním svahu daného sběrného prvku, který však nemůže klesnout na takovou hodnotu, aby hodnota rychlosti proudění nebyla menší než 0,5 m/s. Při takové rychlosti by mohlo docházet k zanášení. Před příkopem by měl být pětimetrový zatravněný pás, který zlepšuje infiltraci vody do půdy. Sběrné příkopy navíc budou doplněny hrázkou, která zvýší jejich případnou retenci pro srážky větší než Q10 a na kterou by mohla být vysazena zeleň, která by zvýšila přírodní rozmanitost (Kadlec, 2014). Co se týče dimenzování, u sběrných příkopů se nejedná o moc velké průtoky, takže by měly stačit minimální parametry (viz kapitola „Literární rešerše“). Dle vzorců (viz kapitola „Metodika“) byla vypočtena následující tabulka č.7 pro sběrné příkopy:

Tabulka č. 7 – Parametry a kulminační průtok pro sběrné příkopy

h [m]	b [m]	1:m	n	O [m]	S [m ²]	R [m]	J	C [m ^{0,5} s ⁻¹]	V [m/s]	Q [m ³ /s]
0,4	0,4	1,5	0,025	1,84	0,4	0,217	0,004	31,011	0,914	0,366

(vlastní zpracování)

U svodného příkopu je hodnota podstatně vyšší. V ústí se průtok rovná hodnotě přes půl druhého tisíce litrů za sekundu. I zde by parametry příkopu mohly být nejmenší možné, problém je však s opevněním, protože vlivem mnohem většího sklonu zde dochází k vysoké rychlosti tekoucí vody (viz tabulka č.8), která by pouze zatravněný příkop snadno vymlela (Janeček, 2012). U svodného příkopu je tak

navržené opevnění z kamenné rovnaniny uložené na štěrkovém podsypu. Takovéto opevnění je dostačující.

Tabulka č. 8 – Parametry a kulminační průtok pro svodný příkop

h [m]	B [m]	1:m	n	O [m]	S [m ²]	R [m]	J	C [m ^{0,5} s ⁻¹]	V [m/s]	Q [m ³ /s]
0,4	0,4	1,5	0,032	2,19	0,48	0,219	0,08	24,267	3,214	1,543

(vlastní zpracování)

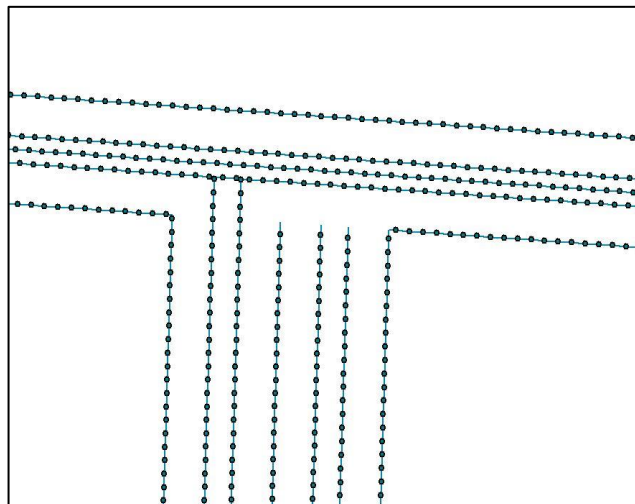
V dnešní době, kdy zemědělskou úrodu ničí sucho, by bylo nelogické nechat vodu volně odtéct. Proto by mohly být realizované dva teoretické scénáře. První je navrhnout u přímo na svodném příkopu (případně i u ústí sběrných příkopů) přehrážky, které by odvedenou vodu zachytávaly přímo na zemědělské půdě (mezery mezi přehrážkami by na svodném příkopu činily kolem 50 m dle svahu). Toto řešení již bylo realizované v k. ú. Drahotín, kde byl svodný příkop hrazen smrkovým dřevem (Ministerstvo Zemědělství, 2017) Hrazení svodného příkopu kvituje také Soukup (2008), který dodává, že zadržovaná voda by mohla být využívána k závlahám okolní půdy. Druhým scénářem by bylo vytvoření malé suché nádrže v rovinaté části cca 90 metrů od stávající hranice půdního bloku. Toto opatření by sice mohlo být navrženo tak, aby zachytilo všechnu vodu stékající ze zájmového území, nicméně by alokovalo vodu pouze na jednom místě, kdežto přehrážky na svodném příkopu (popř. i na sběrných příkopech) by vodu zadržovaly rovnoměrněji po území. Tyto návrhy korespondují s Kvítkem a Krátkým (2018), kteří uvádějí, že je potřeba zachytit vodu v rámci povodí již na zemědělském pozemku, na kterém rovněž dochází k sedimentaci a částečné infiltraci vlivem pasivního systému regulace, který zabraňuje přímému odtoku do vodního toku. Kvítek (2016) navíc vyzdvihuje technické opatření jako jediný účinný způsob, jak zadržovat vodu v krajině. Výsledné protierozní opatření tedy zabraňuje erozi přerušením délky svahu, bezpečně odvádí vodu, kterou dokáže částečně zadržet. Tím dle Tměje (2016) plní multifunkčně roli vodohospodářského opatření komplexních pozemkových úprav.

6.5 Modelování TPEO do digitálního modelu reliéfu

Aby byl splněn cíl práce, vytvořit přesný digitální model reliéfu s potenciálním protierozním opatřením, je nutné „vložit“ výše navržené opatření do stávajícího digitálního modelu. Stejně jako u normálních staveb bude vycházet z „2D plánu“. Zatím jsou dány linie, které přerušují svah (účinnost byla již prokázána při výpočtu eroze pro jednotlivé DPB) – tyto linie jsou myšleny jako střed příkopů. Pro modelování

je potřebné znát také lomové hrany, tedy místa, kde dno přechází v břeh a kde břeh přechází v běžný povrch. Protože je navržen lichoběžníkový tvar koryta, lze tyto lomové hrany snadno dopočítat – pokud je dno široké 0,3 m, pak od středové linie bude dno na obě strany ve vzdálenosti 0,15 m. U břehové linie je 2D vzdálenost dopočítána díky známému sklonu a hloubce pomocí Pythagorovy věty. Tyto linie by měly přísně respektovat terén a zachovávat zadaný sklon. Jednoduše řečeno musí být linie navrženy tak, aby jejich trasou tekla samospádem potencionální voda až k ústí do svodného příkopu.

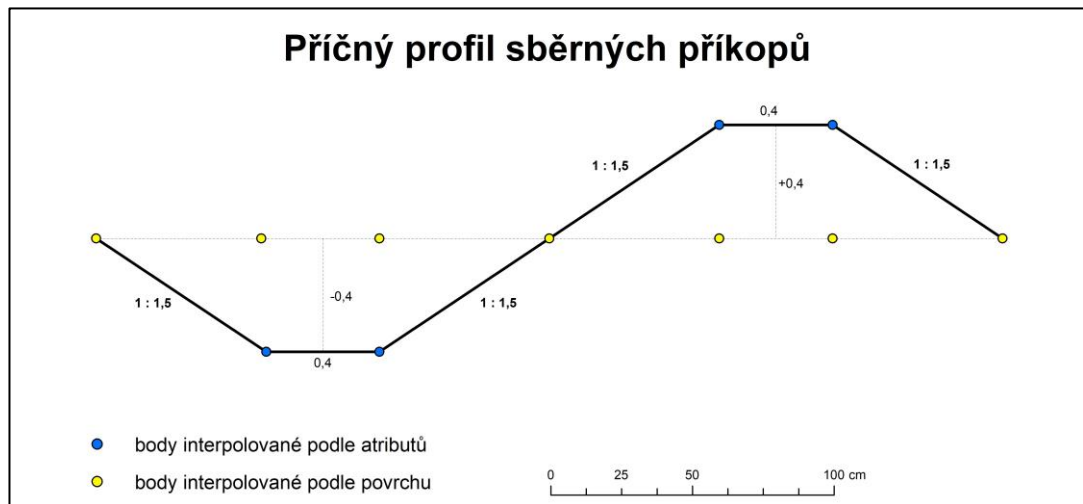
Je tedy známa trasa příkopu a dalším krokem je převést příkop do digitálního modelu. Nejprve je nutné převést navržené lomové linie do 3D (získání Z souřadnic) podle stávajícího digitálního modelu pomocí nástroje „Interpolate shape“. Výsledkem jsou linie, které přesně kopírují povrch terénu. Na nich jsou poté nástrojem „Densify“ vytvořeny lomové body ve vzdálenosti 0,2 m, které jsou následně nástrojem „Feature vertices to points“ převedeny na samostatnou vrstvu bodů (Obrázek č.11). Protože se jedná o body vytvořené z 3D linií, automaticky jsou rovněž v trojrozměrném prostoru. Nyní stačí pouze vytvořit pole se Z souřadnicí a dopočítat ji pomocí kalkulátoru geometrie v atributové tabulce. Tyto povrchové body budou v postupu dále využity.



Obrázek č. 11 – Detail interpolovaných bodů
(vlastní zpracování)

Dalším krokem je opět vytvoření 3D z navržených 2D linií. Protože tyto linie je potřeba navrhnout tak, aby měly konstantní sklon a příkop byl přesný, budou interpolovány nástrojem „Feature to 3D by attribute“ podle atributů nadmořské výšky na začátku a na konci linie. Protože vertikální průběh linie bude vypočítán pouze z počáteční a koncové výšky, je zaručen konstantní sklon. U břehových linií jsou

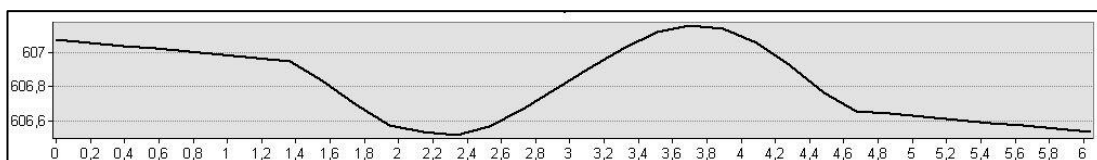
zadány nadmořské výšky počátku a konce linií z povrchu, u linií dna jsou spočítány jako nadmořská výška povrchu plus/mínus hloubka příkopu/hrázky (0,4 m). Stejně jako u předchozí interpolace jsou na těchto liniích vytvořeny lomové body ve vzdálenosti 0,2 m, které jsou poté převedeny na bodovou vrstvu obsahující informace o nadmořské výšce každého bodu. Jako schéma pro bližší pochopení je uveden příčný profil sběrných příkopů na obrázku č. 12.



Obrázek č. 12 - příčný profil sběrných příkopů

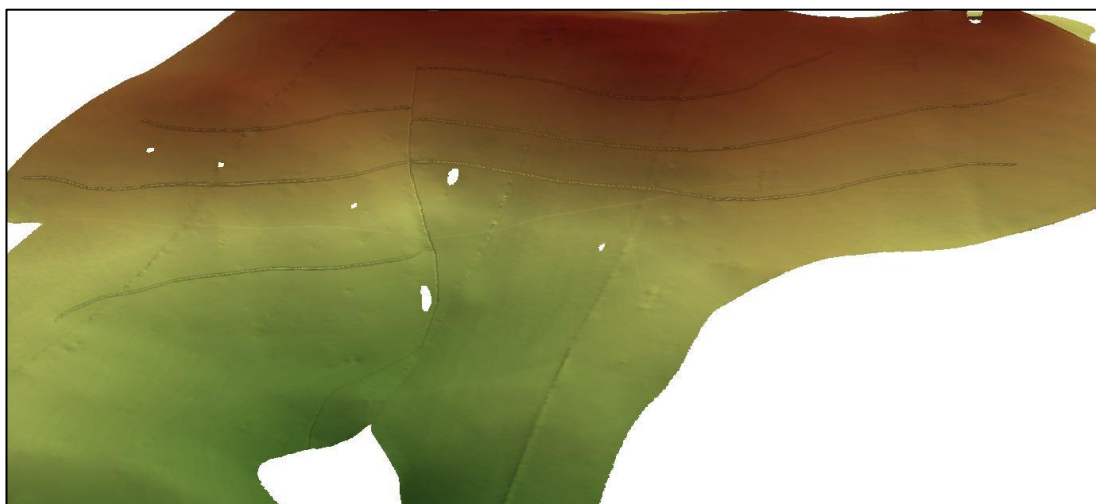
(vlastní zpracování)

Linie interpolované podle digitálního modelu terénu a linie interpolované podle atributu jsou ve 2D rozměru totožné, proto se z nich vytvořené body překrývají. Nástrojem „Spatial join“, který přenesse atributové hodnoty z jedné vrstvy do druhé na základě stejné polohy, je vytvořena nová bodová vrstva, kde každý bod obsahuje nadmořskou výšku z interpolovaných linií podle digitálního modelu terénu (hodnoty povrchu) a nadmořskou výšku z interpolovaných linií podle atributu (hodnoty pro příkop). Pomocí kalkulátoru v atributové tabulce jsou následně odečteny hodnoty povrchu od hodnot příkopu. Z tohoto rozdílu nadmořských výšek je poté nástrojem „Topo to raster“ (podobně jak tomu bylo u vytvoření digitálního modelu povrchu) vytvořen rastr znázorňující digitální model příkopu. Posledním krokem je pomocí nástroje „Cell statistic“ přičíst rastr protierozního opatření k rastru digitálního modelu reliéfu. Samotné prokázání vymodelování lze prokázat příčným „průřezem“ (pomocí interpolované linie nadstavby 3D Analyst) nového digitálního modelu reliéfu (Obr. č. 13).

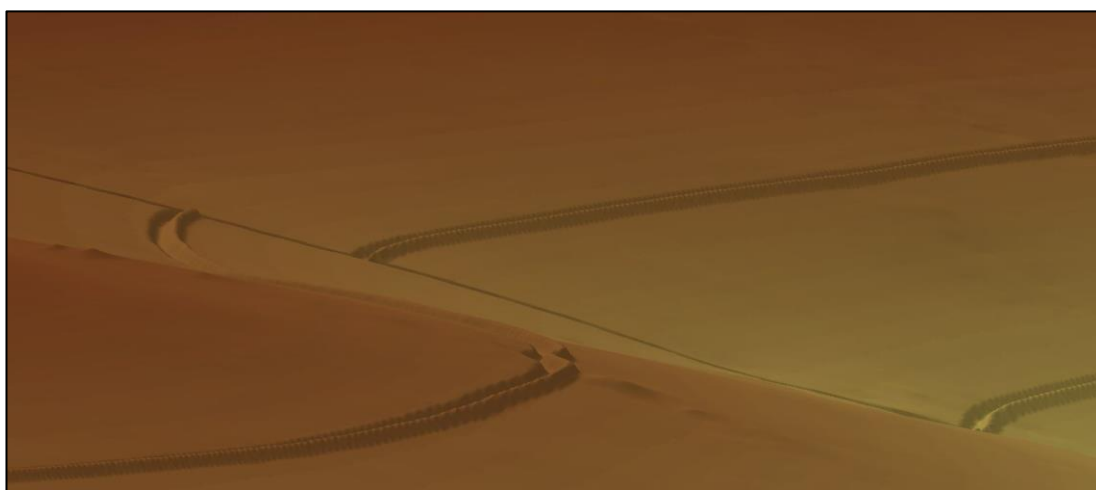


Obrázek č. 13 - Příčný profil vytvořený pomocí 3D Analyst (vlastní zpracování)

Pro další důkaz lze využít program ArcScene, který umožní zobrazit vzniklý rastr jako stínovaný 3D reliéf, na kterém jsou příkopy jasně vidět, jak je tomu na obrázku č.8, který zachycuje celou navrženou síť příkopů z východního pohledu. Aby bylo vymodelované protierozní opatření vizuálně dobře viditelné, je vhodné nastavit ve vlastnostech rastru Y hodnotu na trojnásobek oproti X hodnotě. Tím jsou protierozní příkopy lépe rozpoznatelné a vizuálně je toto nastavení efektivnější, což je dobře vidět na obrázku č. 14, ještě lépe na obrázku č. 15.

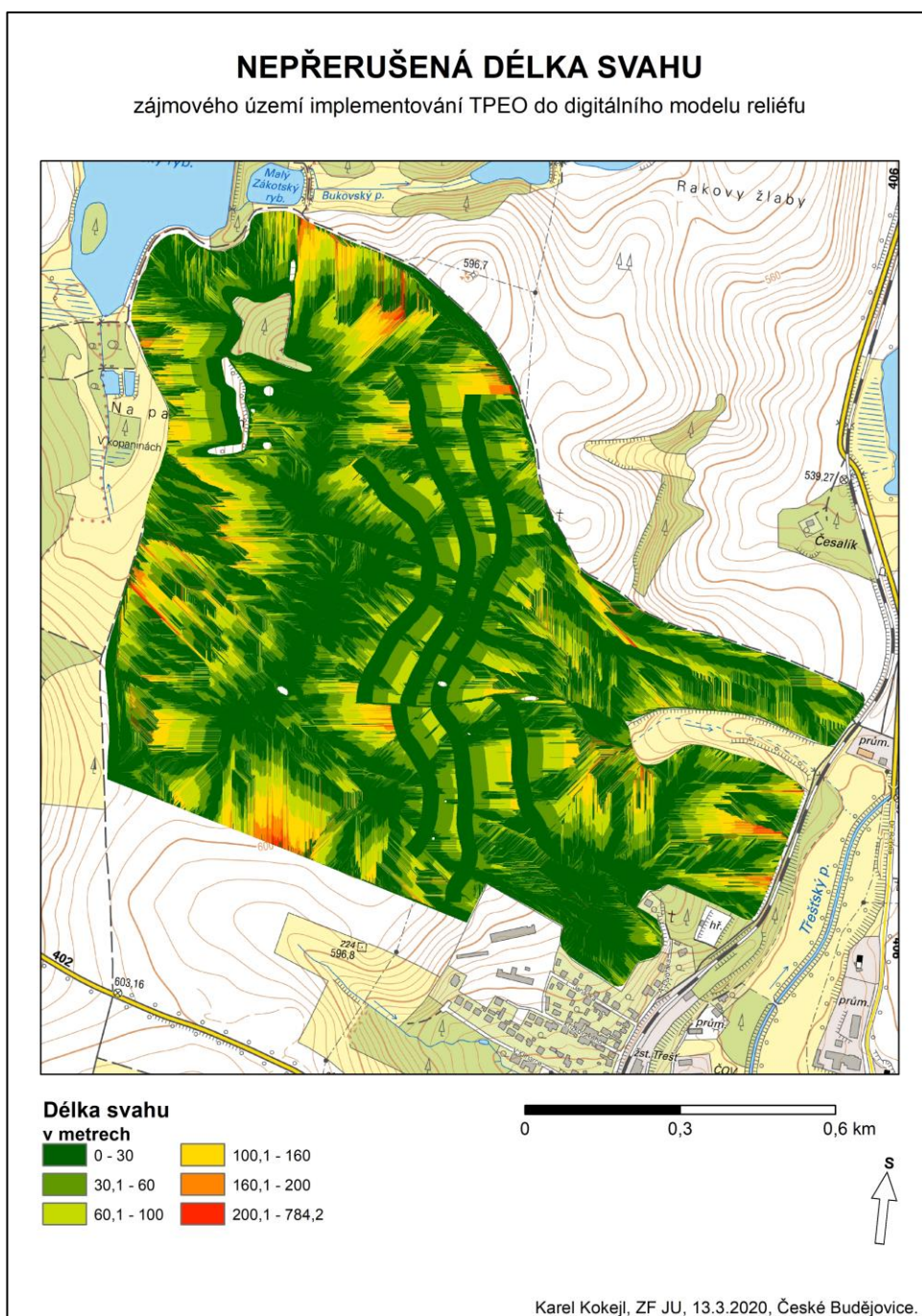


Obrázek č. 14 - Síť protierozních příkopů na 3D modelu (vlastní zpracování)



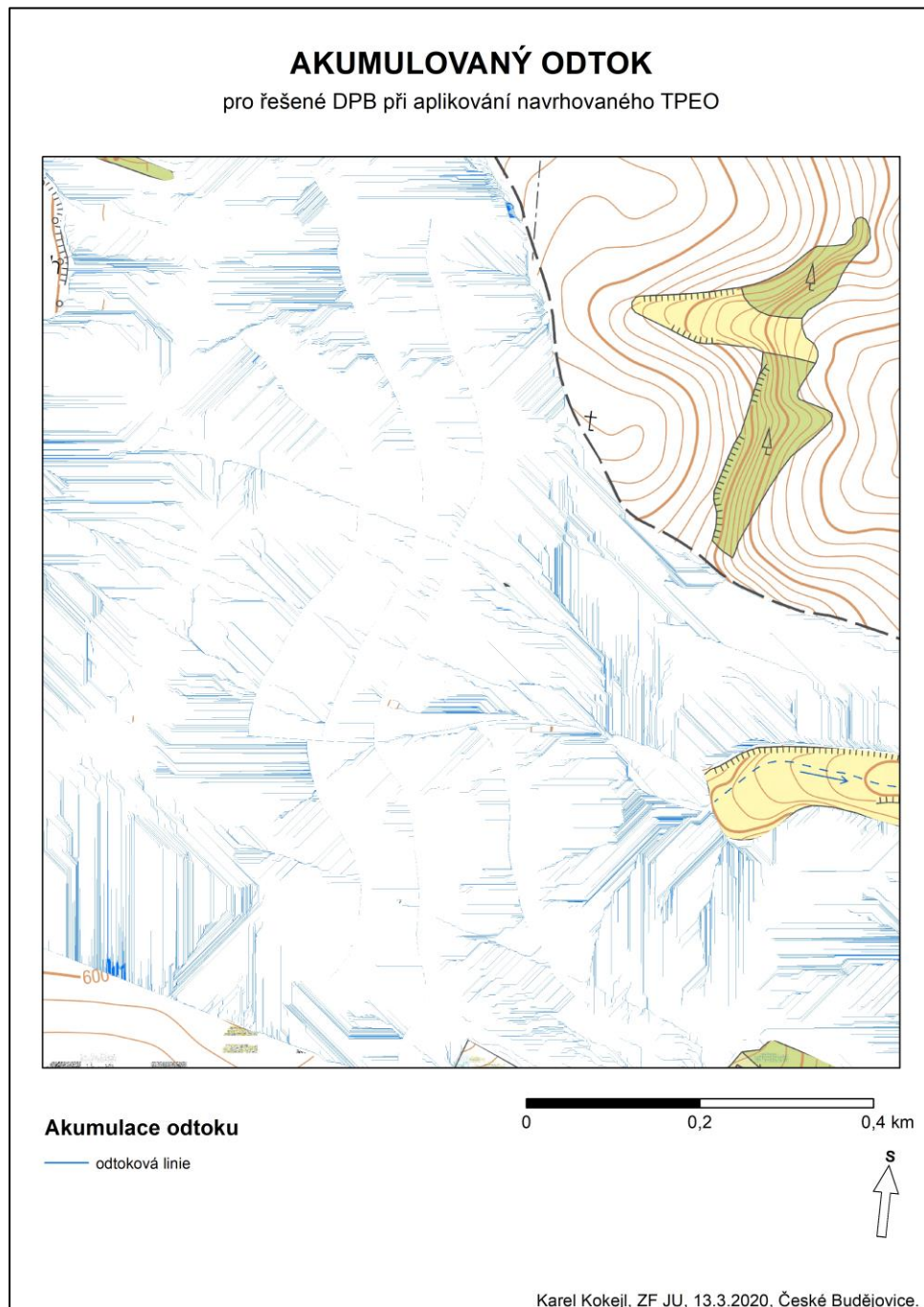
Obrázek č. 15 - Detail protierozních příkopů s hrázkami (vlastní zpracování)

Aby byl cíl práce splněný, je potřeba digitální model reliéfu s protierozními příkopy otestovat. Jako jeden z důkazů, zda by „vložená“ protierozní opatření v digitálním modelu reliéfu obstála v rovnici USLE v GIS, je rastr s nepřerušenu délkou svahu (ten je vytvořen stejně jako u původního digitálního modelu reliéfu). Právě pouze u tohoto faktoru dojde vymodelováním příkopů ke změně. Jak je vidět z mapy č. 14, vymodelované příkopy přerušily délku svahu, čímž naplnily svůj účel. Výpočet eroze s tímto rastrem by tak přinesl stejné výsledky, jak je tomu u výpočtu eroze s přerušitím svahu „vyříznutím“ příkopů do původního rastru viz mapy č. 10 a č. 11.

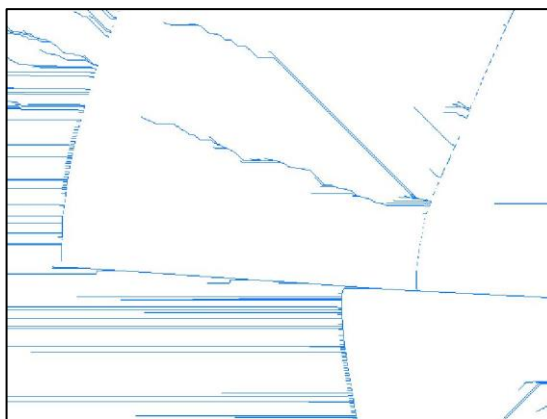


Mapa č. 14 - Nepřerušené délka svahu po aplikaci TPEO do DMR (vlastní zpracování)

K prokázání toho, zda je model hydrologicky správně navržen, poslouží nástroj „Flow Accumulation“, který zobrazuje akumulaci odtoku, tedy odtokové linie. Dle Žižaly (2012) jsou právě odtokové linie důležitým informačním nástrojem pro realizaci půdoochranných technologií. Předpoklad je takový, že by rastr měl ukázat, jak příkopy zachycují vodu a následně je svádějí do svodného příkopu, kterým potenciální voda doteče až na hranici půdního bloku.

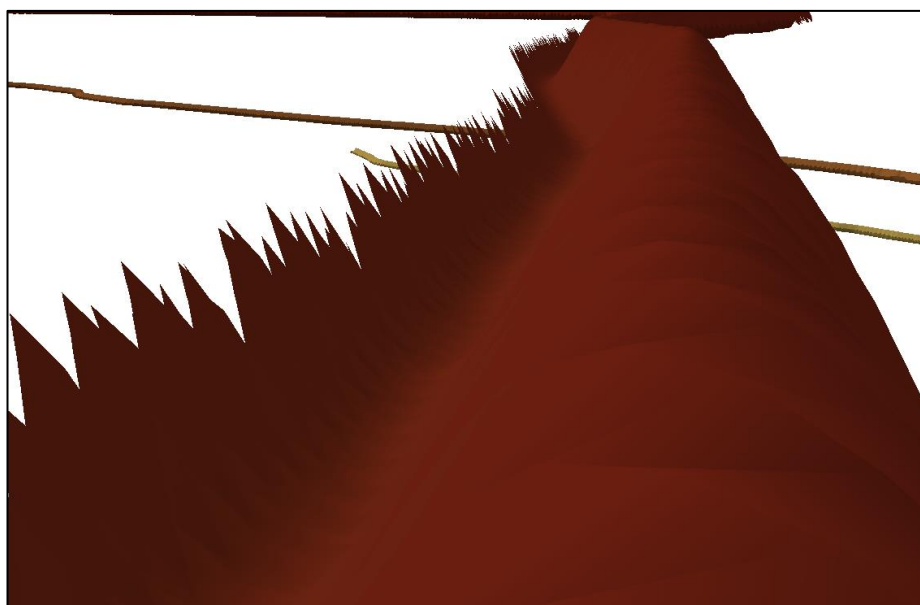


Mapa č. 15 – Akumulovaný odtok po aplikování TPEO do DMR (vlastní zpracování)



Obrázek č. 16 – Detail akumulovaného odtoku
(vlastní zpracování)

Z výsledné mapy č. 15, která zobrazuje akumulaci odtoku je zřejmé, že odtokové linie jsou přerušeny navrženými sběrnými příkopy. Pro příliš malé měřítko však není rozpoznatelné, zda voda příkopy skutečně „teče“. Na detailu zachycující první tři sběrné příkopy (obrázek č. 16, které se napojují na svodný příkop, je vidět, že linie odtoku u sběrných příkopů není spojitá a vykresluje se přerušovaně. Na vině jsou nejspíše stále příliš velké pixely (0,2 m x 0,2 m) pro takovéto mikromodelování. Ačkoliv se tato velikost jeví jako dostačující je nutné si uvědomit, že rastrová mřížka je pravoúhlová soustava a protierozní prvky protínají tuto mřížku v různých úhlech, takže příčný profil není všude stejný a není stále dokonale vyhlazený. Vznikají tak „minipřekážky“ v korytě příkopů (viz obr č.17), které s přispěním mírného podélného sklonu nejspíše přerušují akumulaci odtoku. U svodného příkopu, který má podstatně strmější sklon se již linie vykresluje spojitě.



Obrázek č. 17 - Detail protierozního příkopu s hrázkou (vlastní zpracování)

7. Závěr

Tato práce se věnovala modelováním vlivu potenciálně vybudovaných protierozních opatření na vybraném území. Prvotním cílem bylo vyřešit vodní erozi na vybraných dílech půdního bloku pouze pomocí technického protierozního opatření, které mělo být následně vymodelováno do stávajícího digitálního modelu reliéfu. U přepracovaného digitálního modelu reliéfu bylo poté nutné ověřit jeho funkčnost a hydrologickou přesnost. Po aplikaci pouze technického protierozního opatření však bylo jasné, že není možné vyřešit problematiku vodní eroze na daném území pouze touto cestou. Aby byl cíl alespoň částečně splněn, bylo technické protierozní opatření v podobě šesti sběrných příkopů a jednoho svodného příkopu doplněno dalšími typy protierozního opatření (změna tvaru a velikosti pozemku, změna osevního postupu, vrstevnicové obdělávání a zatravnění). Tato navržená opatření již dokázala snížit erozi pod kritickou hranici 4 t/ha/rok a díly půdních bloků by neměly být vedeny jako mírně či silně erozně ohrožené vodní erozí. Současně bylo navrženo vzhledem k aktuální situaci sucha, jak s pomocí potenciálních protierozních opatření zadržet vodu na vybraném území.

Dalším cílem bylo vymodelování navrženého technického protierozního opatření do stávajícího digitálního modelu reliéfu. Modelování protierozních příkopů do digitálního modelu reliéfu nebylo autorem v dostupné literatuře nalezeno, z tohoto důvodu modelování, které bylo prováděno v programu ArcMap, nemuselo být úplně dokonale přesné. Výsledný rastr s již vloženým technickým protierozním opatřením byl otestován 3D vizualizací a vytvořením rastru s nepřerušenou délkou svahu, který ukázal, že navržené protierozní opatření plní svoji funkci. Dalším krokem bylo testování hydrologické přesnosti modelu. Zde se objevil problém s nepřiliš přesným vykreslováním odtoku vody, za který nejspíš může nedokonalost vytvořeného modelu. Ideální vstup pro tento případ mikromodelování by byl skutečně přesný digitální model reliéfu, který by byl tvořen ještě hustším bodovým polem, ze kterého by se dal vytvořit přesný rastr s velikostí pixelu v řádech jednotek centimetrů. To by byl pro běžně dostupnou výpočetní techniku těžko zvládnutelný proces. Kromě ověření funkčnosti opatření shledává autor přínos uvedeného modelování protierozního opatření například při výpočtu finanční náročnosti (výpočet kubatur materiálu apod.) nebo právě pro detailní hydrologické modelování.

8. Seznam literatury

Seznam klasické literatury:

1. ANTAL, J., BÁREK, V., ČIMO, J., HALAJ, P., HALÁSZOVÁ, K., HORÁK, J., IGAZ, D., JURÍK, L., MUCHOVÁ, Z., NOVOTNÁ, B., ŠINKA, K., 2014. *Hydrológia poľnohospodárskej krajiny*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra. 371 s. ISBN 978-80-552-1257-9
2. BĚLKA, L., DUŠÁNEK, P., FIALA, R., GAMRÁT, J., KAFKA, O., PEICHL, J., ŠÍMA, J., 2016. *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G)*. Praha: Zeměměřický úřad, Vojenský a hydrometeorologický úřad. 12 s.
3. BURIAN, Z., CUDLÍNOVÁ, E., ČÍHAL, L., DUMBROVSKÝ, M., HÁNEK, P., HLADÍK, J., HRABÁNKOVÁ, M., JACKO, K., JANEČEK, M., KAULICH, K., KLÍMOVÁ, M., KOPP, J., KOTTOVÁ, B., KOUPILOVÁ, M., KULHAVÝ, Z., KVÍTEK, T., LAPKA, M., MARADOVÁ, S., MAZÍN, V., MORAVCOVÁ, J., MUCHOVÁ, Z., NĚMEC, J., NĚMEC, J., NOVÁK, P., ONDR, P., PÁRTLOVÁ, P., PODHRÁZSKÁ, J., PROCHÁZKOVÁ, E., SKLENIČKA, P., SKŘIVANOVÁ, Z., SUPOVÁ, M., ŠIMČÍK, T., ŠKODOVÁ – PARMOVÁ, D., TOMAN, F., VÁCHAL, J., VÍTEK, J., VRÁNA, K., 2011. *Pozemkové úpravy v České republice*. Praha: Consult. 206 s. ISBN 80-903482-8-9.
4. CABLÍK, J., JŮVA, K., 1963. *Protierozní ochrana půdy*. 2., přepracované a rozšířené vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 324 s.
5. CIHLÁŘ, J., SMRČKA, F., HÁLA, R., GARKISCHOVÁ, A., FRIDRICH, J., NĚMĚC, L., 2005. *Katalog opatření (Metodická pomůcka pro výběr vhodných opatření pro řešení hlavních typů významných problémů)*. Praha: Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s. 101 s.
6. ČÚZK, 2019. *Katalog produkce Zeměměřičského úřadu*. Praha: Zeměměřičský úřad. 68 s.
7. DOSTÁL, T., 2014 *Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO: Metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 69 s. ISBN 978-80-87361-30-6.

8. DUFKOVÁ, J., TOMAN, F., 2014. *Výpočet smyvu půdy pomocí vybraných empirických modelů vodní eroze*. Extrémy oběhu vody v krajině: sborník abstraktů a CD s příspěvky z mezinárodní konference: Mikulov 8.-9. dubna 2014. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 13 s. ISBN 978-80-87577-30-1
9. DZURÁKOVÁ, M., OSIČKOVÁ, K., UHROVÁ, J., ROZKOŠNÝ, M., SMELÍK, L., NĚMEJCOVÁ, D., ZAHŘÁDKOVÁ, S., ŠTĚPÁNKOVÁ, P., MACKŮ, J., 2017. *Potenciál aplikace přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině a zlepšení ekologického stavu vodních útvarů*. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. Praha: VÚV TGM. roč. 59, č. 4, str. 25–32. ISSN 0322-8916
10. HOLÝ, M., 1994. *Eroze a životní prostředí*. Praha: ČVUT. 383 s.
11. HOMOLÁČOVÁ, J., GROUŠLOVÁ, K., 2018. *Metodický návod k provádění pozemkových úprav ve znění změny č. 3*. Praha: Státní pozemkový úřad. 142 s.
12. HOVORKA, V. et al., 1990. *Projektová příprava protierozních opatření*. Praha: Výzkumný ústav pro zúrodnění zemědělských půd. 28 s.
13. HŮLA J., JANEČEK, M., KOVAŘÍČEK, P., BOHUSLÁVEK, J., 2003. *Agrotechnická protierozní opatření*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 51 s. ISSN 1211-3972
14. JÁGLOVÁ, V., 2008. *Metodické pokyny a návody*. Věstník ministerstva životního prostředí. Praha: ALQ Plus, s.r.o, XVIII(11). str 1-22. ISSN 0862-9013.
15. JAKUBÍKOVÁ, A., VÁŠKA, J., 2005. *RUSLE – modernizovaný postup stanovení ohroženosti půd vodní erozí*. Soil and water: Půda a voda - vědecké práce. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. No. 4. s. 36-47.
16. JANEČEK, M., 2008. *Základy erodologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 172 s. ISBN 978-80-213-1842-7
17. JANEČEK, M., 2012. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita. 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.

18. KADLEC, V., DOSTÁL, T., VRÁNA, K., KAVKA, P., KRÁSA, J., DEVÁTÝ, J., PODHRÁZSKÁ J., POCHOP, M., KULÍŘOVÁ P., HEŘMANOVSKÁ D., NOVOTNÝ, I., PAPAJ, V., 2014. *Navrhování technických protierozních opatření: Metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 100 s. ISBN 978-80-87361-29-0.
19. KAPIČKA, J., NOVOTNÝ, I., ŽÍŽALA, D., 2018. *Monitoring eroze zemědělské půdy – Závěrečná zpráva*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 171 s.
20. KAPIČKA, J., NOVOTNÝ, I., ŽÍŽALA, D., 2017. *Monitoring eroze zemědělské půdy – Závěrečná zpráva*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 163 s.
21. KAPIČKA, J., NOVOTNÝ, I., ŽÍŽALA, D., 2016. *Monitoring eroze zemědělské půdy – Závěrečná zpráva*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 147 s.
22. KAPIČKA, J., NOVOTNÝ, I., ŽÍŽALA, D., 2015. *Monitoring eroze zemědělské půdy – Závěrečná zpráva*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 134 s.
23. KAPIČKA J., NOVOTNÝ I., ŽÍŽALA D., 2014. *Monitoring eroze zemědělské půdy – Závěrečná zpráva*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 217 s.
24. KONEČNÁ, J., STEJSKALOVÁ, D., PODHRÁZSKÁ, J., KARÁSEK, P., NOVÁKOVÁ, E., KUČERA, J., 2014. *Multikriteriální hodnocení protierozních a vodohospodářských zařízení v pozemkových úpravách*. Brno: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 52 s. ISBN 978-80-87361-25-2
25. KVÍTEK, T., TIPPL, M., 2003. *Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. 47 s. ISBN 80-7271-140-7
26. KVÍTEK, T., 2015. *Přírodně blízká versus technická opatření na zemědělské půdě v ochraně proti erozi, povodním (zvýšení retence vody) a zlepšení jakosti vody*.

- Pozemkové úpravy. Praha: Českomoravská komora pro pozemkové úpravy. Prosinec. str. 3-5. ISSN 1214-5815
27. KVÍTEK, T., 2016. *Principy a zásady retence a akumulace vody a jejich promítnutí do plánu dílčích povodní*. Pozemkové úpravy. Praha: Českomoravská komora pro pozemkové úpravy. Prosinec. str. 3-7. ISSN 1214-5815
28. KVÍTEK, T., KRÁTKÝ, M., 2018. *Listy opatření typu A v Plánech dílčích povodí Vltavy – opatření ke zlepšení retence a akumulace vody v krajině společně s ochranou jakosti povrchových a podzemních vod*. Hospodaření s vodou v krajině. Praha: ČHMÚ. 11 s. ISBN 978-80-87361-83-2
29. KUBÁTOVÁ, E., JANEČEK, M., TIPPL, M., 2000. *Regionalizace faktorů erozní účinnosti deště*. Vědecké práce VUMOP, 2000. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (11), Praha, s. 35-51.
30. LAL, R., 2001. *Soil degradation by erosion*. Land Degradation & Development, 12(6), 519-539. ISSN 1099-145X
31. MATTAS, D., 2014. *Výpočet průtoku v otevřených korytech*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka. 110 s. ISBN 978-80-87402-27-6
32. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2017. *Údaje o projektu – Polní cesta C 5 v k.ú. Drahotín*. Praha: Ministerstvo zemědělství. 2 s.
33. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2010. *Pozemkové úpravy*. 2. aktualizované vydání. Praha: Ministerstvo zemědělství. 28 s. ISBN 978-80-7434-296-7
34. MISTR, M., NOVOTNÝ, I., DOSTÁL, T., KRÁSA, J., ZUMR, D., BRANT, V., KRAOULÍK, M., PIVEC, J., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H., 2016. *Stanovení faktorů ochranného vlivu vegetace pomocí simulátoru deště*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 56 s. ISBN 978-80-87361-65-8.
35. NĚMEC, J., 2014. *Protierozní a protipovodňová opatření v pozemkových úpravách*. In: Extrémy oběhu vody v krajině. Mikulov, 8-9.4.2014. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu. 13 s. ISBN 978-80-87577-30-1

36. NERUŠIL, P., KOHOUTEK, A., ODSTRČILOVÁ, V., VACH, M., JAVŮREK, M. a STRAŠIL, Z., 2015. *Využití minimalizačních a půdoochranných technologií pro snížení účinků vodní eroze na obdělávaných půdách*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. 24 s. ISBN 978-80-7427-180-9
37. NOVOTNÝ, I., MISTR, M., PAPAJ, V., KRISTENOVÁ, H., VÁŇOVÁ, V., KAPIČKA, J., VLČEK, V., VOPRAVIL, J., KULÍŘOVÁ P., KADLEC V., KOBZOVÁ, D., SRBEK, J., POCHOP, M., PODHRÁZSKÁ, J., FIALA, R., ŽÍŽALA, D., DOSTÁL, T., KRÁSA, J., VAŇKOVÁ, K., HALUZOVÁ, J., JIRKŮ, V., SMOLKOVÁ, I., 2017. *Příručka ochrany proti vodní erozi: (aktualizované znění – březen 2017)*, 3. aktualizované vydání. Praha: Ministerstvo zemědělství. 73 s. ISBN 978-80-87361-33-7.
38. PASÁK, V., 1984. *Ochrana půdy před erozí*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 164 s.
39. PODHRÁZSKÁ, J., DUFKOVÁ, J., 2005. *Protierozní ochrana půdy*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 99 s. ISBN 80-7157-856-8.
40. PODHRÁZSKÁ, J., UHLÍŘOVÁ, J., NOVOTNÝ, I., STEJSKALOVÁ, D., KŘÍŽKOVÁ, S., KORSUŇ, S., SPITZ, P., 2008. *Návrh a hodnocení účinnosti systému komplexních opatření v pozemkových úpravách pro snížení škodlivých účinků povrchového odtoku: metodický návod*. Praha: VÚMOP. 96 s. ISBN 978-80-904027-7-5.
41. PODHRÁZSKÁ, J., 2010. *Opatření na ochranu půdy a vody v pozemkových úpravách*. In: *Voda v krajině*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 148 s. ISBN 978-80-86690-79-7
42. PODHRÁZSKÁ, J., 2014. *Systém analýzy území a návrhu opatření k ochraně půdy a vody v krajině: podklad pro územní plánování a pozemkové úpravy : [metodický návod]*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 52 s. ISBN 978-80-87361-27-6.
43. QUITT, E., 1971. *Klimatické oblasti Československa*. Praha: Academia. 73 s.

44. ROUTCHEK, A., SCHMIDT, J., KREIENKAMP, F., 2013. *Impact of climate change on soil erosion —A high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony/Germany*. Catena. Amsterdam: Elsevier. 61 (2). s. 155-164.
45. ROŽNOVSKÝ, J., 2015. *Zpracování podkladů pro výpočet R faktoru - závěrečná zpráva*. Brno: ČHMÚ. 24 s.
46. SMELÍK, L., 2016. *Analýza změn odtokových poměrů pro Českou republiku*. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. Praha: VÚV TGM. 58 (4), str. 7–12. ISSN 0322-8916
47. SOUKUP, M., 2008. *Biotechnická opatření v krajině pro zvýšení retence vody na odvodněných pozemcích v pramenných oblastech: metodika a katalog navrhovaných opatření*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 82 s. ISBN 978-80-904027-2-0.
48. STÁTNÍ POZEMKOVÝ ÚŘAD, 2018. *Polní cesty*. Praha: Oddělení investičních činností a programového financování, Sekce odborných činností Státního pozemkového úřadu. 38 s.
49. ŠARAPATKA, B., 2014. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 232 s. ISBN 978-80-244-3736-1
50. ŠINKA, K., MUCHOVÁ, Z., KONC, L., 2013. *Aplikácie geografických informačných systémov v pozemkových úpravách*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 250 s.
51. ŠVEHLÍK, R., 2005. *Vodní eroze na jihovýchodní Moravě v obrazech*. Uherské Hradiště: Přírodovědecký klub. 64 s.
52. TMĚJ, J., 2016. *Vodohospodářská opatření při návrhu a realizaci komplexních pozemkových úprav*. Pozemkové úpravy. Praha: Českomoravská komora pro pozemkové úpravy. Prosinec. str. 11-15. ISSN 1214-5815
53. UHLÍŘOVÁ, J., MAZÍN, V., PRAŽAN, J., KOUTNÁ, K., KVÍTEK, T., 2005. *Metodika studie širších územních vazem ochrany půdy a vody v komplexních pozemkových úpravách*. Praha: Výzkumný úřad meliorací a ochrany půdy. 31 s. ISBN 80-239-4845-8

54. UHROVÁ, J., ŠTĚPÁNKOVÁ, P., OSIČKOVÁ, K., 2016. *Komplexní systém návrhů přírodně blízkých opatření na ochranu před dopady eroze a povodní z přívalových srážek*. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. Praha: VÚV TGM. roč. 58, č. 4, str. 13–19. ISSN 0322-8916
55. VAN OOST, K., GOVERS, G., DESMET, P., 2000. *Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage*. Landscape Ecology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. No. 15. 577 – 589 str.
56. VAŠINOVÁ, K., VÁCHAL, J., PÁRTLOVÁ, P., VÁCHALOVÁ, R., 2012. *Zvýšení hodnoty faktoru erozní účinnosti deště R ve vztahu k návrhu protierozních opatření*. Littera Scripta. České Budějovice: Vysoká škola technická a ekonomická. 5(2). s. 305-315. ISSN 1802-503X
57. VOPRAVIL, J., 2002. *Upřesnění hodnot faktoru erodovatelnosti půdy – K*. In: Soil and water: Půda a voda - vědecké práce : 1/2002. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. s. 167-176.
58. VOPRAVIL, J., KHEL, T., VRABCOVÁ, T., et al., 2001. *Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 77 s. ISBN 978-80-87361-06-1.
59. VOPRAVIL, J., KHEL, T., HAVELKOVÁ, L., BATYSTA, M., 2013. *Studie zabývající se základní problematikou eroze půdy a jejím současným stavem v Ústeckém a Jihomoravském kraji České republiky*. Praha: SOWAC. 51 s.
60. VRÁNA, K., 1996. *Protierozní ochrana zemědělských pozemků a intravilánu*. Povrchové vody a pozemkové úpravy. Kutná Hora: Oblastní sdružení vodohospodářů ČR. s. 173-183.
61. VÚMOP, 2018. *Katalog přírodně blízkých opatření pro zadržení vody v krajině - Činnosti k podpoře výkonu státní správy v problematice sucha*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd. 110 s.
62. VÚMOP PRAHA, 1995. *Protierozní ochrana – Nové technologie v ochraně půdy před vodní erozí*. Praha: Ministerstvo zemědělství. 52 s.

63. WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide Book to Conservation Planning. Agr. Handbook No.537*. Washington: US. Dept. of Agriculture. 67 s.
64. ŽÍŽALA, D., KRISTENOVÁ, H., 2012. *Využití geoinformačních vrstev při řešení vodní eroze půdy*. GIS Ostrava 2012 – současné výzvy geoinformatiky. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. str 1-8. ISBN 978-80-248-2558-8

Seznam legislativy:

Zákon č. 139/2002 Sb. o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

Zákon č. 334/1992 Sb. České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu

Vyhláška č. 13/2014 Sb. o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav

Nařízení vlády č. 48/2017 Sb. o stanovení požadavků podle aktů a standardů dobrého zemědělského a environmentálního stavu pro oblasti pravidel podmíněnosti a důsledků jejich porušení pro poskytování některých zemědělských podpor

Seznam internetových zdrojů:

1. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Geologická mapa 1:50 000*. [online]. 2020. [cit. 21.1.2020]. Dostupné online z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=678400&x=1140800&r=3500&s=1&legselect=0
2. EUROSTAT. *Agri-environmental indicator – soil erosion* [online]. 6.2.2020. Poslední aktualizace 10.3.2020, [cit. 4.3.2020]. Dostupné online z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion&oldid=254669#Assessment
3. MENCLOVÁ, K. *Česká pole se zásadně změní 30 ha od roku 2021*. In: Českomoravský svaz zemědělských podnikatelů. [online]. 15.19.2020. [cit. 6.3.2020]. Dostupné online z: <http://cmszp.cz/mze/2019/ceska-pole-se-zasadne-zmeni/>

4. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *Podrobné informace k omezení pěstování monokultur na max. 30 ha souvislé plochy prostřednictvím standardu DZES 7d.* [online]. 8.8.2019 [cit. 20.2.2020]. Dostupné online z: <http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/kontroly-podminenosti-cross-compliance/dobry-zemedelsky-a-environmentalni-stav/podrobne-informace-k-omezeni-pestovani.html>
5. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *Veřejný registr půd – LPIS.* [online]. © 2020 [cit. 16.2.2020]. Dostupné online z: <http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/>
6. NATIONAL CLIMATIC DATA CENTER. *Global Historical Climatology Network - (GHCN).* [online]. 2020. [cit. 1.6.2020]. Dostupné online z: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/quick-links#ghcn>
7. STÁTNÍ POZEMKOVÝ ÚŘAD. *Celostátní databáze BPEJ.* [online] 2020. [cit. 3.2.2020] Dostupné online z: <https://www.spucr.cz/bpej/celostatni-databaze-bpej>
8. VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY. *Protierozní kalkulačka.* [online] 2020. [cit. 4.3.2020]. Dostupné online z: <https://kalkulacka.vumop.cz/app/>

9. Seznam obrázků, map, tabulek a grafů:

Seznam obrázků:

- Obrázek č. 1 – Ukázka dat digitálního modelu reliéfu
- Obrázek č. 2 – Klasický osevní postup pro vybrané území
- Obrázek č. 3 – Hodnoty faktoru K dle HPJ
- Obrázek č. 4 – Typy liniových TPEO dle umístění
- Obrázek č. 5 – Uživatelské prostředí programu ERCN
- Obrázek 6 – Parametry příkopu
- Obrázek 7 – Parametry průlehu
- Obrázek 8 – Geoprocessingový model pro výpočet eroze
- Obrázek 9 – Osevní postup s půdoochrannými technologiemi pro DPB č.5
- Obrázek 10 – Výpočet kulminačního průtoku pro UP 2-1 pomocí programu ERCN
- Obrázek č. 11 – Detail interpolovaných bodů
- Obrázek č. 12 – příčný profil sběrných příkopů
- Obrázek č. 13 – Příčný profil vytvořený pomocí 3D Analyst
- Obrázek č. 14 – Síť protierozních příkopů na 3D modelu
- Obrázek č. 15 – Detail protierozních příkopů s hrázkami zpracování)
- Obrázek č. 16 – Detail akumulovaného odtoku
- Obrázek č. 17 – Detail protierozního příkopu s hrázkou

Seznam map:

- Mapa č. 1 – Vybrané díly půdních bloků
- Mapa č. 2 – Pedologické poměry pro řešené území
- Mapa č. 3 – Digitální model terénu
- Mapa č. 4 – Nepřerušená délka svahu
- Mapa č. 5 – Sklonitost zájmového území
- Mapa č. 6 – Faktor LS zájmového území
- Mapa č. 7 – Vodní eroze na zájmovém území
- Mapa č. 8 – Snížení eroze pouze pomocí TPEO
- Mapa č. 9 – Předběžné rozdělení nových DPB
- Mapa č. 10 – Aplikace protierozních opatření na DPB č.5
- Mapa č. 11 – Aplikace protierozního opatření na DPB č. 2
- Mapa č. 12 – Stav eroze na DPB č. 2, DPB č. 3 a DPB č. 4

Mapa č. 13 – Povodí protierozních příkopů a jejich uzávěrové profily

Mapa č. 14 – Nepřerušené délka svahu po aplikaci TPEO do DMR

Mapa č. 15 – Akumulovaný odtok po aplikování TPEO do DMR

Seznam tabulek:

Tabulka č. 1 – Přehled BPEJ pro řešené území

Tabulka č. 2 – Rozloha nových DPB

Tabulka č. 3 – Hodnota faktoru P

Tabulka č. 4 – Postup snižování eroze u DPB č. 5

Tabulka č. 5 – Postup snižování eroze u DPB. č. 2

Tabulka č. 6 – Hodnoty průtoků pro jednotlivé UP

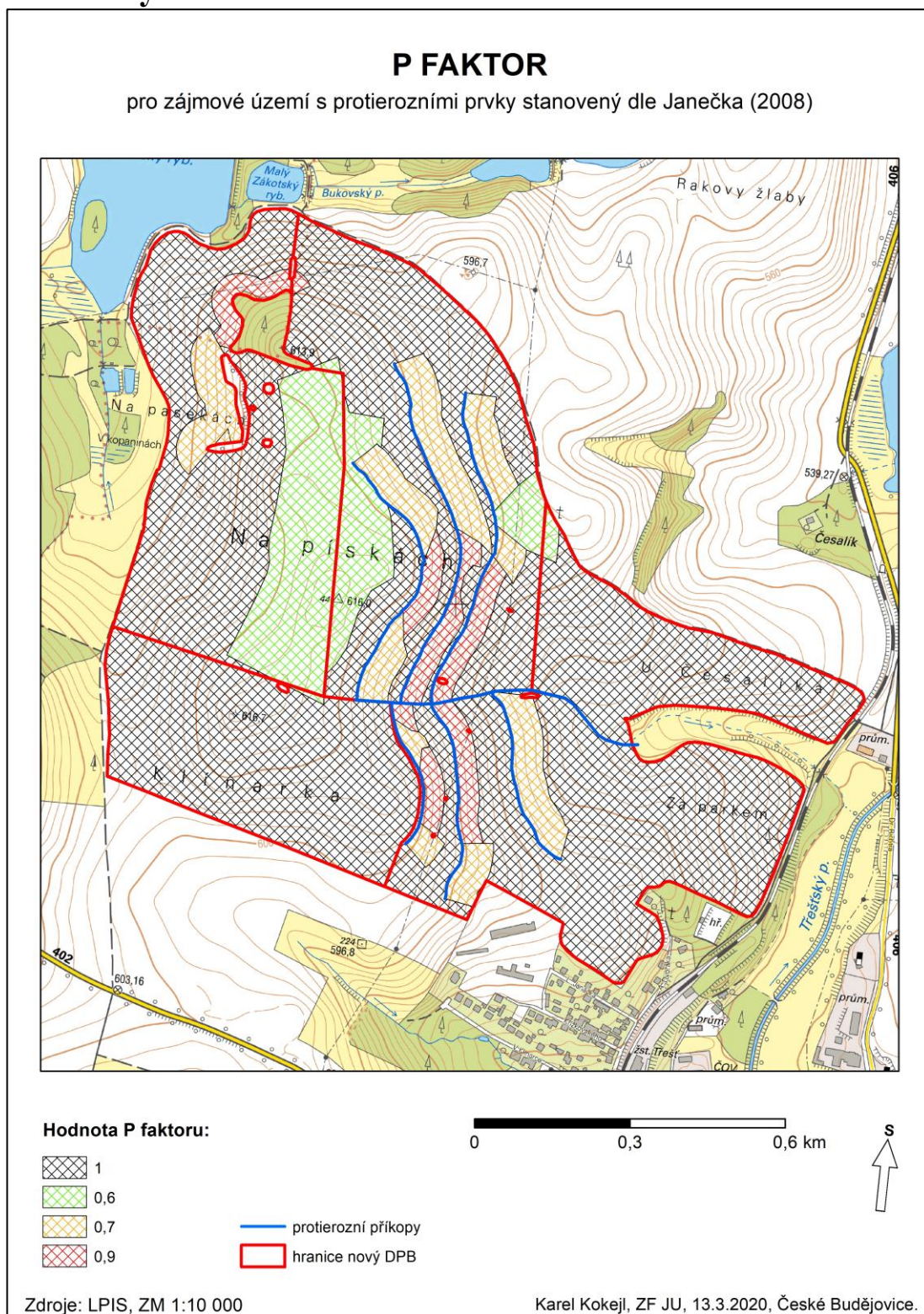
Tabulka č. 7 – Parametry a kulminační průtok pro sběrné příkopy

Tabulka č. 8 – Parametry a kulminační průtok pro svodný příkop

Seznam grafů

Graf 1 – Měsíční dlouhodobé srážky a teplota

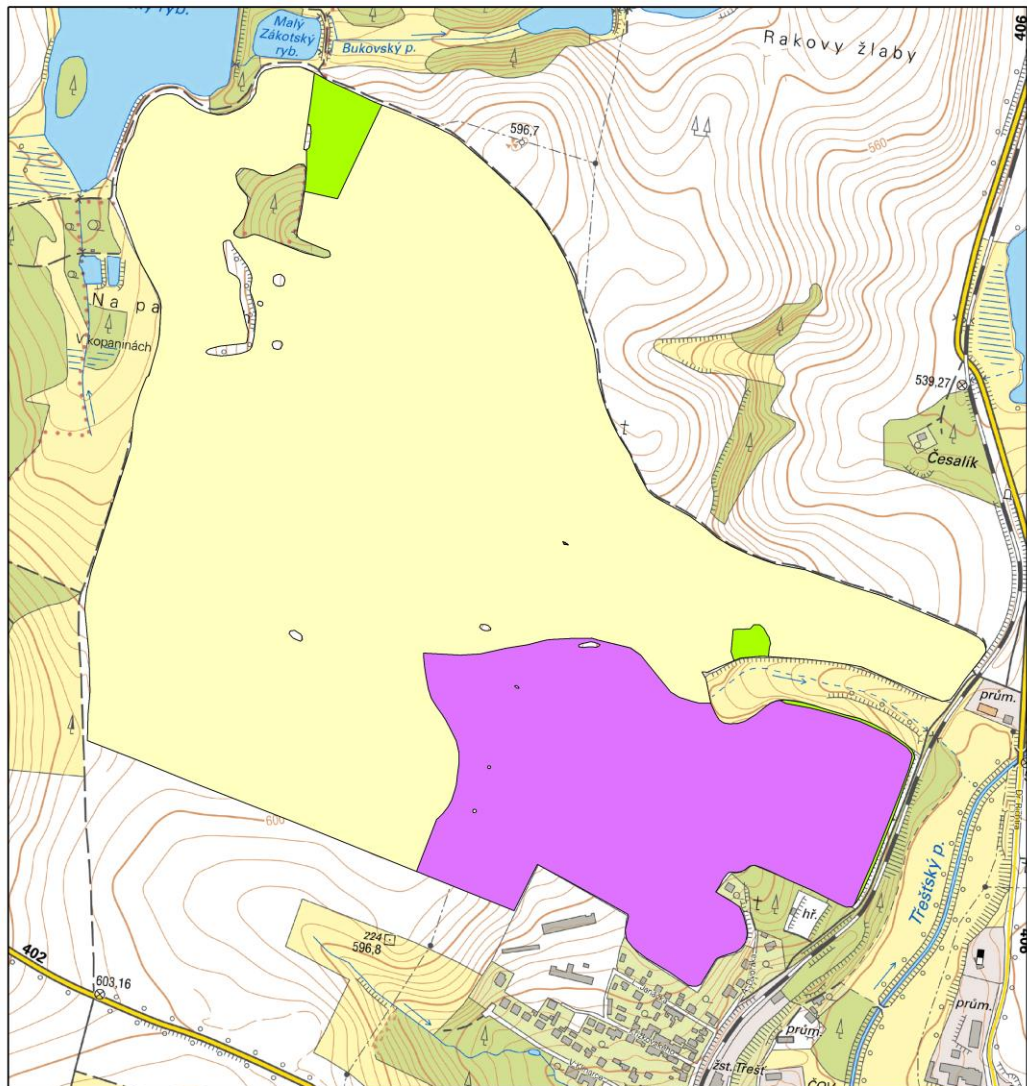
10. Přílohy






Příloha č. 1 – Mapa P faktoru pro zájmové území

C FAKTOR

pro zájmové území s protierozními prvky stanovený



Hodnota C faktoru:

	0,247
	0,196
	0,005

0 0,3 0,6 km

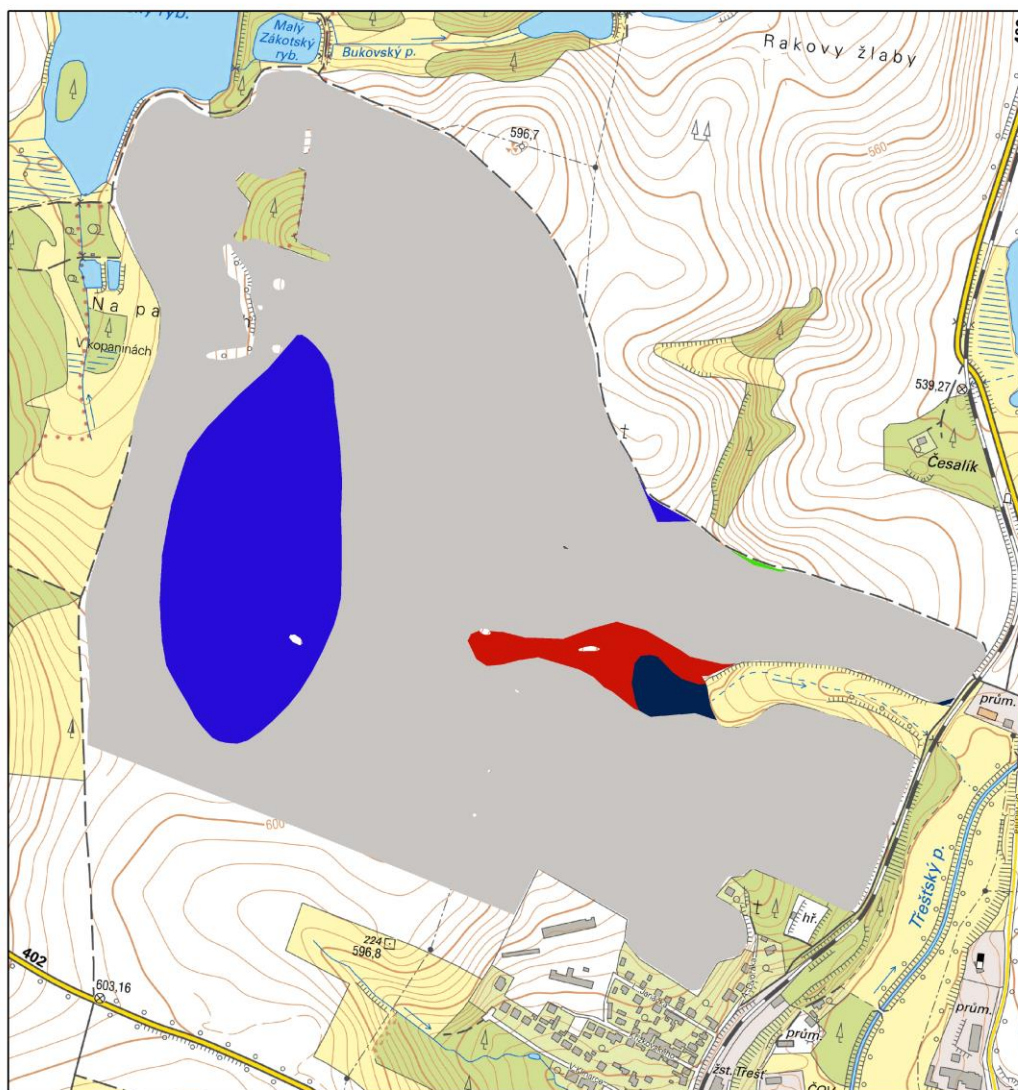


Zdroje: LPIS, ZM 1:10 000

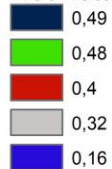
Karel Kokejl, ZF JU, 13.3.2020, České Budějovice.

Příloha č. 2 – Mapa C faktoru pro zájmové území

K FAKTOR pro zájmové území



Hodnota K faktoru:



Zdroje: LPIS, ZM 1:10 000

Karel Kokejl, ZF JU, 13.3.2020, České Budějovice.

Příloha č. 3 – Mapa faktoru K pro zájmové území