JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vyhodnocení vlivu potenciálně vybudovaných protierozních opatření pomocí modelování v GIS

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr CSc.

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

Autor: Bc. Bohumil Macho

České Budějovice, duben 2018

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: **2016/2017**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Bohumil MACHO**
Osobní číslo:	**Z16449**
Studijní program:	**N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor:	**Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu:	**Vyhodnocení vlivu potenciálně vybudovaných protierozních opatření pomocí modelování v GIS**
Zadávající katedra:	**Katedra krajinného managementu**

Zásady pro vypracování:

Eroze půdy je proces degradace půdy způsobující omezení či úplnou ztrátu jejích 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 povodí.

Rámcový obsah DP:
Rešerše na dané téma.
Výběr vhodného povodí a jeho popis.
Výběr vhodného modelu a jeho popis.
Zpracování problematiky na konkrétních datech.
Vyhodnocení, diskuze a závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **50 stran textu**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné 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: **23. března 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2018**

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA studijní oddělení

doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 23. března 2017

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval/a 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: 15.4.2018

…….

Bc. Bohumil Macho

Poděkování

Rád bych zde poděkoval panu Ing. Václavu Bystřickému Ph.D. za trpělivost při vypracovávání mé diplomové práce, stejně tak za cenné rady a v neposlední řadě za ochotu. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během mého studia.

Abstrakt:

Vodní erozí označujeme jev, který je celosvětově rozšířen a je třeba snižovat jeho negativní účinky nejen na zemědělské půdě.

Tato diplomová práce posuzuje vlivy protierozních opatření charakteru organizačního, agrotechnického, technického a jejich kombinací vymodelovaných v prostředí GIS. Jsou zde porovnány vlivy čtyř modelových osevních postupů v kombinaci různými variantami agrotechnických opatření. U nejkritičtějších pozemků pak byly porovnány vlivy individuálně nejvhodnějších opatření.

Literární rešerše seznamuje čtenáře s problematikou vodní eroze, jejím modelováním a řešením protierozní ochrany.

Klíčová slova: eroze, USLE, GIS, CN křivky

Abstract:

Water erosion is phenomenon, which continues to expand around the world and it is important to reduce its negative effects on both agricultural and non-agricultural lands.

This thesis assesses impacts of anti-erosion measures of organizational, agrotechnical, technical character and their combinations modeled in GIS. The effects of four model crop rotation methods are compared here in combination with different variants of agro-technical measures. Then in the most critical lands have been compared the influences of the most apprepiate individual proceeding.

Literature review introduces the reader to the problems of water erosion, modeling and solving anti-erosion protection.

Klíčová slova: erosion, USLE, GIS, CN lines

Obsah

1. Úvod ... 9
2. Literární rešerše ... 10
2.1 Vodní eroze ... 10
2.2 Druhy vodní eroze ... 11
2.3 Vznik a průběh erozních procesů ... 12
2.4 Ochrana půdy v komplexních pozemkových úpravách ... 13
2.5 Podmínky podpor ... 13
2.6 Modelování eroze ... 14
2.6.1 USLE ... 15
2.6.2 RUSLE ... 18
2.6.3 MUSLE ... 19
2.6.4 USLE 2D ... 19
2.6.5 Erosion-3D ... 20
2.6.6 SMODERP ... 20
2.7 Řešení vodní eroze v GIS ... 21
2.7.1 Rovnice USLE v GIS ... 22
2.7.2 Vstupní data ... 23
2.8 Dálkový průzkum Země ve vztahu k vodní erozi ... 25
2.9 Protierozní ochrana ... 25
2.9.1 Opatření organizačního charakteru ... 28
2.9.2 Agrotechnická protierozní opatření ... 31
2.9.3 Technická protierozní opatření ... 33
2.10 Dopady vodní eroze ... 37
3. Cíl práce ... 39
4. Materiál ... 39
4.2 Zájmové povodí ... 39
5. Metody ... 41
5.1 Podklady k výpočtu erozní ohroženosti v prostředí ArcMap ... 41
5.2 Metoda SCS-CN (Soil conservations service- curve number) ... 47
5.2.1 Řešené charakteristiky ... 47
6. Výsledky ... 48

6.1 Výpočet erozní ohroženosti 48
6.1.1 Výsledky hodnot G půdních bloků pro jednotlivé C faktory 49
6.2 Individuální řešení určitých půdních bloků 61
6.3 Posouzení vlivu protierozních opatření 73
7. Diskuse 78
8. Závěr 82
9. Seznam použité literatury 84
10. Seznam obrázků a tabulek 89
11. Seznam příloh 92
11.1 Příloha č.1 92

1. Úvod

Půda jakožto neobnovitelný přírodní zdroj a významná složka životního prostředí utvářená tisíce let, je v současnosti ohrožována řadou procesů. Nejvýznamnějším typem degradace půdy, který limituje její základní funkční využití a její produkční funkci, je v podmínkách České republiky bezesporu vodní eroze (*ŽÍŽALA A KRISTENOVÁ, 2012*).

Samotný proces eroze půdy je procesem přírodním, který nelze zcela zastavit. Rozlišujeme erozi normální (geologickou) a erozi zrychlenou. Normální eroze neustále přetváří reliéf území, je přirozená, probíhá postupně a z hlediska lidské generace je prakticky nepozorovatelná a je v souladu s půdotvorným procesem. Naopak zrychlená eroze smývá půdní částice v takovém rozsahu, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem, je ovlivněna lidskou činností, způsobem hospodaření a půdní bloky je před ní nutné účinně chránit (*MZE, 2011*).

HOLÝ, (1978) uvádí, že za zvýšený výskyt vodní eroze do jisté míry může intenzivní využívání půdy pro zemědělskou výrobu a realizace investičních staveb téměř ve všech odvětvích národního hospodářství. Postupem času vedly tyto aspekty k postupnému porušování přirozeného krytu půdy a vystavily její povrch působení erozních sil, což vede k rozrušování a odnosu půdní hmoty zemského povrchu a k jejímu ukládání v místech poklesu účinnosti erozních faktorů.

Výzkumem eroze a bojem proti ní se zabývají odborníci na celém světě a zkoumají procesy eroze ve všech fázích – od vzniku povrchového odtoku přes transport zeminy až po ukládání sedimentů v tocích a nádržích. Zjišťují a objasňují příčiny tohoto procesu a hledají další možné způsoby jeho omezení (*JANEČEK A KOL., 1998*).

Degradace půdy vlivem eroze spolu s účinkem dalších nepříznivých faktorů má za následek snížení produkční schopnosti půd. Ačkoliv je to problém starý jako zemědělství samo, jeho rozsah a vliv na život lidstva a globální prostředí je nyní větší než kdykoliv předtím. Mezi největší a nejvážnější problémy patří degradace půdy ohrožující produkční schopnosti ekosystémů. Je odhadováno, že množství sedimentů odnášených do oceánů vzrostlo z 10 miliard $t.rok^{-1}$ před zavedením intenzivního

zemědělství (pastvy) na 25 až 50 miliard t.rok^{-1} v současnosti. Za tu dobu bylo zničeno erozí 430 mil. ha produktivních ploch. Současná degradace půdy erozí a jinými faktory vede k nevratné ztrátě produkce na ploše 6 mil.ha.rok^{-1} úrodné půdy. Ztráta zemědělské půdy erozí se odhaduje na 3 mil.ha.rok^{-1} (*JANEČEK, 2008*).

Pro výskyt vodní eroze na území České republiky existují specifické podmínky – půdní bloky, které jsou na našem území největší v Evropě díky již zmíněné intenzifikaci zemědělské výroby v minulosti, ve velkém byly také rušeny hydrografické a krajinné prvky (rozorání mezí, zatravněných údolnic, polních cest, likvidace rozptýlené zeleně apod.), jež zrychlené erozi účinně bránily. Současně máme ale nejmenší vlastnické pozemky na osobu, což je dáno zastavením trhu se zemědělskou půdou kolem roku 1950. Většina zemědělských subjektů hospodaří na pronajatých pozemcích, a to dále snižuje zájem o investice do náročnějších půdoochranných opatření zejména technického charakteru (*NOVOTNÝ A KOL., 2014*).

2. Literární rešerše

2.1 Vodní eroze

Eroze je jevem, který funguje bez působení antropogenních vlivů – eroze přirozená nebo spojená s antropogenními vlivy, což je eroze zrychlená, kterou podmiňují faktory jako: zvětšování půdních bloků, délka svahů pozemků, neadekvátní agrotechnické postupy, odlesňování (*SKLENIČKA, 2003*).

Antropogenními vlivy jsou myšleny podle *BUZKA, (1983)* různé způsoby obdělávání zemského povrchu, čímž se mění struktura a chemismus půdy a stávají se tak původcem urychlené eroze. Dále uvádí, že nejstarší projevy eroze lze sledovat v Mezopotámii na Blízkém východě v povodí řeky Chuang – Che.

S problémem zrychlené eroze úzce souvisí celý hydrologický režim, který je díky ovlivňování lidskou činností velmi změněn. Lidský vliv na hydrologickou rovnováhu erodovaných oblastí nese vážné následky. Rozlišují se tři typy: postupné vysoušení, záplavy a nekontrolovatelná sedimentace hmot v dolních částech hydrologické sítě. Vážným problémem je zrychlený odtok z erodovaných území. Půda bez rostlinné pokrývky má změněnou strukturu a už není schopna zadržovat vodu. Erozní rýhy

se zařezávají do svrchních vrstev zemské kůry a snižují hladinu podzemních vod (*DORST, 1985).*

BLANCO A LAL, (2008) doplňují, že vodní eroze převažuje v humidních oblastech, které jsou bohaté na srážky, ale problémy způsobuje též v aridních oblastech, kde se srážky často vyskytují jako intenzivní bouře a půda nemá dostatečný vegetační kryt.

Na území České republiky je dle *ŠVEHLÍKA,* (2005) vodní erozí postiženo z celkových 4 409 000 ha celkem 35 %, což je více než jedna třetina celkové výměry. *MZE, (2011)* tento výrok vyvrací a uvádí výší erozní ohroženosti půd ČR v hodnotě 50 % výměry orné půdy.

2.2 Druhy vodní eroze

Aby bylo možno posoudit, zda vodní eroze na lokalitě probíhá, případně vyhodnotit její závažnost, je nutné vědět, jaké formy může nabývat. V zásadě je možné vodní erozi na zemědělské půdě dělit na erozi plošnou a erozi výmolovou, přechod mezi nimi je pozvolný a souvisí s přechodem plošného odtoku vody v odtok soustředěný (*NOVOTNÝ A KOL., 2014).*

Plošná vodní eroze

Tento typ eroze je charakterizován rozrušováním a smyvem půdní hmoty na celé ploše území. Jejím prvním stupněm je eroze selektivní, při níž povrchový odtok odnáší jemné půdní částice a na ně vázané chemické látky. Dochází ke změně půdní textury a obsahu živin v půdě. Selektivní eroze probíhá zvolna, často nepozorovaně a nezanechává viditelné stopy. Důsledkem působení tohoto typu eroze je nestejnoměrný vývoj vegetace projevující se rozdílným růstem, rozdílnou barvou a kvalitou v částech svahu, v níž došlo k akumulaci smytého materiálu (*HOLÝ, 1994*).

Výmolová vodní eroze

Tato forma vodní eroze spočívá v postupném soustřeďování plošného odtoku a následném vytváření mělkých, postupně se prohlubujících zářezů. Vzniká v členitém terénu a na dlouhých svazích, podle intenzity se dělí na erozi rýžkovou a brázdovou, rýhovou, výmolovou a stržovou (*NOVOTNÝ A KOL., 2014*). Při výmolové erozi mohou vznikat v zemském povrchu až několik metrů hluboké a široké zářezy (*SLAVÍK, 2000*).

2.3 Vznik a průběh erozních procesů

Erozní procesy jsou výsledkem vlivu srážek a odtékajících srážkových vod na půdní povrch při současném působení přírodních procesů, jejich matematické vyjádření a prognóza výsledků erozních procesů určité intenzity a četnosti výskytu v daných, často velmi proměnných podmínkách, je složitým problémem (*HOLÝ A KOL., 1982*). Odtékajícími srážkami rozumíme povrchový odtok, což je gravitační pohyb vody po svazích nebo soustředěný odtok říčních sítí k uzávěrovému profilu. Proces povrchového odtoku lze rozdělit na 3 fáze (*HRÁDEK A KUŘÍK, 2002*). Vodní eroze je spjata s druhou fází plošného odtoku, při které převyšuje intenzita deště intenzitu infiltrace. Po nasycení ztrát intercepcí a akumulací stéká voda po svazích v drobných stružkách (*BERAN, 2009).*

Ovlivňujícími přírodními podmínkami jsou: intenzita srážek, vegetační kryt a náchylnost půd k erozi (*BLAŽEK, 2006*). Další faktor, jímž je ovlivňována intenzita vodní eroze je morfologie území, a to především sklonem a délkou svahu. S rostoucí sklonitostí se zvyšuje rychlost odtékající vody, s kterou narůstá její destrukční schopnost na půdu (*HOLÝ, 1994*). Erozní procesy jsou také nepřímo ovlivňovány větrem, vlhkostí vzduchu, teplotou a dalšími faktory (*KREŠL A SEREDA, 1989*).

Tyto procesy způsobují nejen rozrušování půdního povrchu, ale ve svých dalších fázích i transport rozrušené zeminy do vodního toku a usazování přemístěné zeminy tvorbou sedimentů. Spolu s rozrušenou zeminou jsou odnášeny i různé druhy průmyslových a zemědělských odpadů ukládaných na půdu nebo do půdy. Na území České republiky došlo k výraznému zvýšení erozních procesů v době nedávno minulé a ani probíhající transformace po roce 1989 nepřinesla předpokládané zlepšení situace. Zemědělské podniky dále hospodaří na velkých půdních celcích a pod tlakem ekonomické situace nerespektují základní principy ochrany půdy (*JANEČEK A KOL., 1998*).

Vznik, průběh a intenzita erozního procesu je ovlivněna kombinovaným působením řady přírodních a člověkem ovlivněných podmínek. Tyto tzv. faktory eroze lze rozdělit na:

- Klimatické a hydrologické: zeměpisná poloha; nadmořská výška; množství, rozdělení a intenzita srážek; teplota, oslunění, výpar, odtok; výskyt, směr a síla větru

- Morfologické: sklon území; délka a tvar svahu; expozice, návětrnost
- Geologické a půdní: povaha horninového substrátu; půdní druh a typ; textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvení, obsah humusu
- Vegetační: hustota a délka trvání pokryvu
- Způsob využívání a obhospodařování půdy: poloha a tvar pozemků; směr obdělávání; střídání plodin (*JANEČEK, 2008).*

Projevem dokumentujícím vznik a průběh erozních procesů na pozemku jsou procesy ukládání erodovaných a transportovaných půdních částic, jež mohou nabývat různých měřítek (*NOVOTNÝ A KOL., 2014*).

2.4 Ochrana půdy v komplexních pozemkových úpravách

JANEČEK A KOL., (2012) uvádí jako hlavní možnost umožňující ochranu půdy před vodní erozí komplexní pozemkové úpravy v plánu společných zařízení. Pozemkové úpravy jsou základními opatřeními, při kterých lze nejlépe uplatňovat zásady protierozní ochrany.

2.5 Podmínky podpor

Zde se nachází skupina opatření v rámci tzv. plnění podmíněnosti (cross-compliance), v tomto případě systém podmínek GAEC (good agricultural and enviromental conditions), které obsahují požadavky na zemědělce v oblasti ochrany půdy. Naplnění GAEC je podmínkou získání přímých plateb, podpor v LFA (méně příznivé oblasti) a podpor v rámci agroenvirometálních opatření PRV (program rozvoje venkova). Podmínky GAEC patří mezi nástroje politiky, jejichž plnění je dobrovolné. Avšak vzhledem k tomu, že v ČR jsou zemědělci na podporách ze zdrojů Společné zemědělské politiky do značné míry závislí, má toto opatření poměrně velký potenciál. Jedná se zejména o protierozní opatření, kdy zemědělci naplňují omezení hospodaření na vymezených plochách se zvýšeným rizikem eroze

(např. vyloučení některých plodin, zavádění půdoochranných technologií). Zemědělci mají přístup k mapám v systému LPIS (veřejný registr půd dostupný na www.eagri.cz), kde mohou nalézt plochy v rámci svých farem klasifikované podle stupně ohrožení vodní erozí a z různých zdrojů mohou zjistit, jaká opatření mohou na dotčených plochách uplatnit, které plodiny jsou případně vyloučeny a které operace na půdě jsou omezeny případně doporučeny (*KONEČNÁ A KOL., 2014).*

Aktuální znění tohoto standardu uvádí *MZE* (2013):

Žadatel na ploše půdního bloku, popřípadě jeho dílu, označené v evidenci půdy od 1. července příslušného kalendářního roku do 30. června následujícího kalendářního roku jako půda:

a) silně erozně ohrožená, zajistí, že se nebudou pěstovat širokořádkové plodiny jako kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok; porosty obilnin a řepky olejné na takto označené ploše budou zakládány s využitím půdoochranných technologií; v případě obilnin nemusí být dodržena podmínka půdoochranných technologiií při zakládání porostů pouze v případě, že budou pěstovány s podsevem jetelovin nebo jetelotravních směsí,

b) mírně erozně ohrožená, zajistí, že širokořádkové plodiny kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok budou zakládány pouze s využitím půdoochranných technologií.

Tyto podmínky nemusí být dodrženy na souvislé ploše s výměrou nižší než 0,4 ha zemědělské půdy, jejíž delší strana je orientována ve směru vrstevnic s maximální odchylkou od vrstevnice do 30° a pod níž se nachází pás zemědělské půdy o minimální šíři 24 m, jež přerušuje odtokové linie procházející plochou širokořádkové plodiny a na kterém je žadatelem pěstován travní porost, víceletá pícnina nebo jiná než širokořádková plodina, s tím, že žadatel může tento postup uplatnit pouze na jedné takto vymezené ploše nebo součet takových ploch nepřesáhne výměru 0,4 ha zemědělské půdy.

2.6 Modelování eroze

Podle koncepce výpočtu je modely možné dělit na empirické a fyzikálně založené (simulační). Empirické modely spočívají ve vyhodnocení velkého množství experimentálně naměřených dat, zahrnují zpravidla omezený počet vstupních parametrů obvykle převedených do podoby koeficientů. Jejich výhodou je jednoduchost, rychlost a průhlednost výpočtu. Známým a rozšířeným modelem je klasická rovnice USLE (universal soil loss equation) a její modifikace (například RUSLE). Podstatou fyzikálně založených modelů je matematické vyjádření probíhajících jevů. Podle délky simulovaného období se dělí na epizodní a kontinuální. Kromě hlavních výstupů (ztráta půdy, transport sedimentů) poskytují i údaje o povrchovém odtoku vody (*KLIMENT A LANGHAMMER, 2005).*

Studie *VYSLOUŽILOVÉ A KLIMENTA, (2012)* doplňuje ještě třetí typ modelů, a to semi-empirické.

2.6.1 USLE

K určování ohroženosti zemědělských půd vlivem vodní eroze a k hodnocení účinnosti navrhovaných protierozních opatření se obdobně jako v cizích zemích i v České republice nejvíce používá tzv. „ Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí - USLE“ podle WISCHMEIERA a SMITHE (1978) vycházející z principu přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku, jehož parametry jsou definovány a odvozeny z rozměrů standartních elementárních odtokových ploch o délce 22,13 m a sklonu 9 %, jejichž povrch je po každém přívalovém dešti mechanicky kypřen ve směru sklonu svahu jako úhor bez vegetace. Hodnota přípustné ztráty půdy slouží ke stanovení míry erozního ohrožení pozemku a je definována jako maximální velikost eroze půdy, která dovoluje dlouhodobě a ekonomicky dostupně udržovat dostatečnou úroveň úrodnosti půdy (*JANEČEK, 2012).*

Ztráta půdy vodní erozí se stanoví na základě rovnice USLE následujícím způsobem:

$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$

Kde:

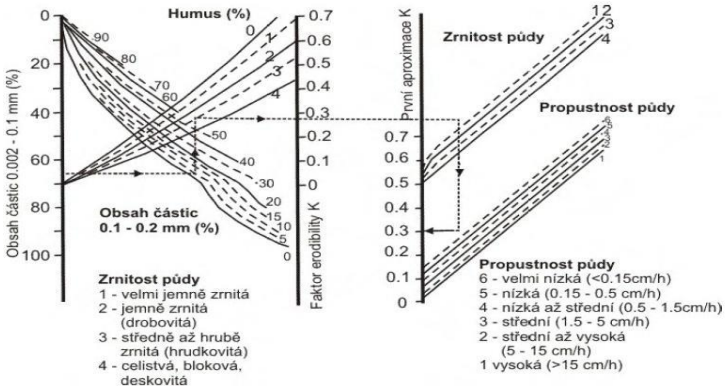
G je průměrná dlouhodobá ztráta půdy $t.ha^{-1}.rok^{-1}$,

R faktor erozní účinnosti dešťů vyjádřený v závislosti na kinetické energii, úhrnu a intenzitě erozně nebezpečných dešťů,

Pro získání reprezentativních údajů o průměrné roční hodnotě faktoru R pro jednotlivá místa je třeba zpracovat úplné údaje, nejlépe za období alespoň 50 let. Pro Českou republiku je průměrná hodnota faktoru erozní účinnosti deště 40 $MJ.ha.cm/hod.rok^{-1}$ určena na základě dlouhodobé řady pozorování srážek ve stanicích Českého hydrometeorologického ústavu. Největší pravděpodobnost výskytu erozně nebezpečných dešťů připadá na měsíce červen až srpen. Tato okolnost musí být zohledněna z pohledu rozdílného účinku pěstovaných plodin pro dosažení maximálního stupně ochrany půdy (*PODHRÁZSKÁ A DUFKOVÁ, 2005; BURIAN A KOL., 2011*).

K faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty v ornici a propustnosti půdního profilu,

V univerzální rovnici pro výpočet ztráty půdy erozí z pozemků posuzují WISCHMEIER a SMITH půdu mimo jiné i podle stupně propustnosti půdního profilu pro vodu. Faktor erodovatelnosti půdy, resp. náchylnost půdy k erozi určují podle obsahu prachu, práškového písku, jílu a organické hmoty. Hodnoty erodovatelnosti půdy vodou v univerzální rovnici lze stanovit pomocí nomogramu publikovaného již v roce 1971 (WISCHMEIER et al. 1971), ze kterého vyplývá, že náchylnost zkypřené půdy k erozi závisí především na její struktuře a textuře (*JANEČEK A KOL., 1998*). S tímto názorem koreluje názor *PASÁKA A KOL., (1984)* a uvádí popis nomogramu. Nomogram je zobrazen na obrázku č. 1:



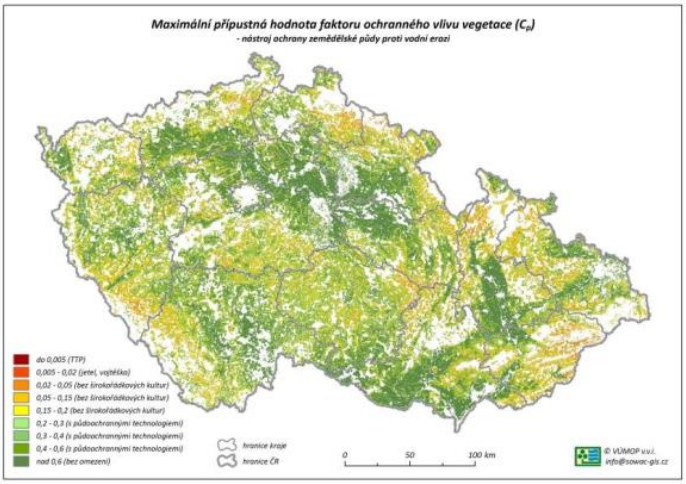
Obr. č.1: Nomogram ke stanovení faktoru K (PASÁK A KOL., 1984)

Topografický faktor – součin faktorů **L** a **S** (**L** - faktor délky svahu, vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí; **S** - faktor sklonu svahu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí)

Délka a sklon svahu mají velmi podstatný vliv na smyv půdy. Objektivním kritériem není jen hustota, ale hlavně poloha umístěných odtokových linií na pozemku. Při umisťování odtokových linií je nutno zájmovou plochu rozdělit na menší území – „celky erozně uzavřené“ (EUC). Každý EUC je ohraničen dílčí rozvodnicí a dílčí údolnicí. Odtokové linie uvnitř každého EUC jsou vedeny kolmo na vrstevnice, od rozvodnice k nejbližší údolnici v místě největší délky a sklonu svahu (*PODHRÁZSKÁ A DUFKOVÁ, 2005*).

C faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice

Ve VÚMOP, v.v.i. byla vyvinuta efektivní metoda pro hodnocení erozní ohroženosti na základě výpočtu „maximální přípustné hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace.“ Koncept výpočtu spočívá v úpravě rovnice USLE na tvar $C_p = G_p / (R.K.L.S.P)$, přičemž G_p je přípustná ztráta půdy s ohledem na zachování funkcí půdy a její úrodnosti ($t.ha^{-1}.rok^{-1}$). Na základě tohoto výpočtu je provedeno vymezení erozní ohroženosti pro potřeby standardu GAEC 1, který řeší opatření pro pěstování plodin na pozemcích, jejichž průměrná sklonitost přesahuje 7° a standard GAEC2 (jenž řeší problematiku protierozní ochrany na silně a mírně erozně ohrožených pozemcích) (*ŽÍŽALA A KRISTENOVÁ,2012).* Na obrázku č.2 je zobrazena maximální přípustná hodnota faktoru ochranného vlivu vegetace:



Obr.2: Mapa maximální přípustné hodnoty faktoru C (ŽÍŽALA A KRISTENOVÁ, 2012)

P faktor účinnosti protierozních opatření.

Hodnoty faktoru účinnosti protierozních opatření – P (dle Wischmeiera a Smithe, 1978) jsou uvedeny v tabulce pod textem. Jestliže nelze předpokládat, že by byly dodrženy uvedené podmínky maximálních délek a počtu pásů, nelze s účinností příslušných opatření vyjádřených hodnotami faktoru P počítat a hodnota faktoru P= 1 (*JANEČEK, 2007*). Hodnoty P faktoru znázorňuje tabulka č.1:

Protierozní opatření	Sklon svahu (%)			
	2-7	7-12	12-18	18-24
Maximální délka pozemku po spádnici	120 m	60 m	40 m	-
při konturovém obdělávání	0,6	0,7	0,9	1,0

Maximální šířka a počet pásů při pásovém střídání	40 m	30 m	20 m	20 m
	6 pásů	4 pásy	4 pásy	2 pásy
- okopanin s víceletými pícninami	0,30	0,35	0,40	0,45
- okopanin s ozimými obilovinami	0,50	0,60	0,75	0,90
Hrázkování, reps. Přerušované brázdování podél vrstevnic				
	0,25	0,30	0,40	0,45
Terasování			0,05 – 0,20	

Tab. 1: Hodnoty faktoru P (JANEČEK, 2007)

Klasický způsob využití této metody spočívá v tom, že na zkoumaném pozemku je definován jeden nebo několik charakteristických profilů. Pro ně jsou stanoveny parametry charakterizující šest výše popsaných faktorů ovlivňujících erozní proces (*DOSTÁL A KOL., 2014*).

Výsledkem výpočtu je pak hodnota průměrné roční ztráty G ($t.ha^{-1}.rok^{-1}$), která je vztažena k celé části pozemku reprezentované daným charakteristickým profilem. Posouzení ohroženosti příslušného pozemku poté spočívá v porovnání zjištěné hodnoty průměrné roční ztráty půdy s hodnotou přípustné ztráty půdy (*KADLEC A KOL., 2014).* Hodnota přípustné ztráty půdy vodní erozí je podle současně platné metodiky 4 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ pro střední a hluboké půdy (dle klasifikace BPEJ), pro mělké půdy je požadováno trvalé zatravnění. Rovnici nelze používat pro kratší než roční období a pro zjišťování ztráty půdy erozí z jednotlivých srážek nebo tání sněhu (*JANEČEK, 2012*).

2.6.2 RUSLE

Rovnice RUSLE je odvozena z rovnice USLE a stejně tak používá pro predikci stejné vstupní informace. Lze ji však aplikovat i pro území s nezemědělským využitím. Tato rovnice je tudíž jedním z nejpoužívanějších prostředků pro predikci dlouhodobé roční ztráty půdy vodní erozí, protože vyhovuje inženýrským i vědeckovýzkumným požadavkům. Rovnice vypadá takto:

A= R. K. L. S. C. P

Rozdíl mezi základní rovnicí USLE a RUSLE spočívá ve změně způsobu stanovení jednotlivých erozních faktorů. Jedná se o tyto změny:

R faktor - revize a aktualizace existujících map isoerodent pro území USA, zpřesnění časového průběhu hodnot R faktoru v 15- ti denním intervalu, stanovení R faktoru v oblasti s malými sklony.

K faktor – určení časového průběhu hodnoty erodovatelnosti půdy v důsledku zhutňování povrchu půdy a rozpadu půdních agregátů srážkami a obhospodařováním.

LS faktor – zavedení nového vztahu pro vliv délky a sklonu svahu, který uvažuje poměr rýžkové a mezirýžkové eroze, upřesnění hodnoty sklonu a délky svahu pro stanovení ztráty půdy.

C faktor – zpřesnění faktoru pro hodnocení vlivu jednotlivých druhů zemědělských plodin a způsobu jejich pěstování pro nevyužívané půdy, pastviny, poškozené lesy, území s povrchovou těžbou surovin, staveniště a rekultivované plochy, včetně zahrnutí vlivu předchozího využití půdy, druhu vegetace, pokryvu půdy a drsnosti půdního povrchu.

P faktor – zpřesnění hodnot P faktoru pro území zemědělsky využívané i nevyužívané, přehodnocení vlivu vrstevnicového obdělávání a terasování na snížení ztráty půdy a kontroly produkce splavenin (*SCHNEIDER, 2006*).

2.6.3 MUSLE

Jedná se o modifikovanou univerzální rovnici ztráty půdy, která využívá principů Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) a je založena na zahrnutí charakteristik povrchového odtoku konkrétní srážko-odtokové oblasti. Tato metoda je vhodná pro výpočet množství splavenin v povodích, která mají plochu do 10 km^2 (*VÁŇOVÁ A KRISTENOVÁ, 2013*)

2.6.4 USLE 2D

Zde je zohledněna i plocha, z níž je odtok soustředěn do námi počítaného bodu, nejen délka dráhy odtoku nebo stoupání svahu (*VAN OOST A KOL., 2000*).

Je třeba zdůraznit, že neexistuje jedna verze metody USLE pro implementaci v rastrovém GIS (geografickém informačním systému). V současné době je

k dispozici celá řada modelů využívajících robustnost metody USLE a téměř všechny tyto modely jsou schopny pracovat s daty v několika rozlišeních (ač vždy vykazují vůči rozlišení rastru jistou citlivost) a lze jimi řešit i rozsáhlá území. Modely se liší (kromě nativní provázanosti s konkrétními platformami GIS) zejména přístupem ke stanovení topografického faktoru LS a dále dle toho, zda:

1) Vyčíslují pouze mezirýhovou erozi (tedy plošný smyv v souladu s původním odvozením metody USLE);
2) Vyčíslují mezirýhovou i rýhovou erozi (zohledněním velikosti odtokové plochy v každém bodě);
3) Vyčíslují rýhovou a mezirýhovou erozi, ale i depozici na základě komplexního vyhodnocení morfologie a stanovení transportní kapacity povrchu (bilanční modely)

Ostatní faktory Univerzální rovnice se takřka ve všech modelech určují i při využití GIS klasickými postupy uvedenými v kapitole 6.1. (*JANEČEK., 2012).*

2.6.5 Erosion-3D

Erosion-3D je plně distribuovaný, fyzikálně založený, epizodní model srážkoodtokových vztahů, erozních a transportních procesů. Vstupní i výstupní veličiny jsou tvořeny rastrovými vrstvami plně pokrývajícími modelované území. Model lze použít pro výpočet množství a charakteru erodovaného materiálu a množství protékající vody v každém výpočetním elementu (pixelu) zvolené oblasti. Model je epizodní a je možné jím simulovat povrchový odtok vyvolaný příčinnou srážkou proměnnou v čase i prostoru. Výsledky modelu je možné použít pro určení rizikových ploch z hlediska intenzity eroze, koncentrace odtoku a depozice erodovaného materiálu (*DOSTÁL A KOL., 2014*).

2.6.6 SMODERP

Matematický simulační model SMODERP řeší srážkoodtokové vztahy a erozní procesy na svahu (pozemku) a jeho výstupy dávají podklady pro posouzení erozní ohroženosti pozemků a pro návrh prvků protierozní ochrany. Model simuluje povrchový odtok a erozní proces ze srážky proměnné intenzity na jednotlivém pozemku. Model umožňuje zahrnout nehomogenity půdních a morfologických poměrů na pozemku. Výstup modelu tvoří přípustná délka nepřerušeného svahu, což

je údaj využitelný pro stanovení erozní ohroženosti pozemku. Na rozdíl od USLE, která určuje erozní ohroženost pozemků na základě porovnání vypočtené roční ztráty půdy s hodnotou přípustné ztráty půdy, model SMODERP vychází z hodnoty přípustné délky nepřerušeného pozemku na základě porovnání vypočtené a přípustné hodnoty rychlosti nebo tangenciálního napětí povrchového odtoku. V místě, kde překračuje vypočtená menší hodnota rychlosti nebo tangenciálního napětí hodnoty přípustné, dochází ke skokovému zvýšení odnosu půdních částic a začátku tvorby rýh, a tedy ke zvýšené erozi (*KADLEC A KOL., 2014*).

2.7 Řešení vodní eroze v GIS

Vzhledem k podstatě procesu vodní eroze, jenž je funkcí prostorově různě distribuovaných činitelů životního prostředí, je nasnadě využití geografických informačních systémů při výzkumu a analýze tohoto komplexního procesu. K využití těchto systémů je zapotřebí zajištění dat, která kompletně zabírají celé sledované území a také zvolení vhodného modelu pro potřeby analýzy působení vodní eroze

(*ŽÍŽALA A KRISTENOVÁ, 2012*).

Pro odhad erozního zatížení území a transportu plavenin z povodí existuje v současnosti velké množství postupů. Výpočetní metody a modely lze rozdělit podle různých kritérií: koncepce výpočtu, velikost zájmového území, dostupnost datových podkladů, účel výzkumu *(KLIMENT A LANGHAMMER,2005*).

VYSLOUŽILOVÁ A KLIMENT, (2012) uvádějí, že k hodnocení rozšíření a intenzity erozně-akumulačních procesů se využívá mnoho metod. Přesné měření představuje přímé terénní pozorování doplněné o laboratorní analýzy, které lze spolehlivě provádět pouze na malých územích. Vedle toho byly vyvinuty metody matematického modelování, jež se zaměřují na odhad erozního ohrožení na základě syntézy parametrů zásadně ovlivňujících erozně-akumulační procesy. Modely jsou tak schopny nahradit nedostatek dat na větších územních celcích.

Ve snaze o automatizaci výpočtu v souvislosti s rostoucí dostupností jak nástrojů GIS, tak i prostorových dat, byly vyvinuty metody automatizace výpočtu založeného na profilovém přístupu aplikace USLE, záhy však byl tento přístup překonán modifikací použitých algoritmů pro plně distribuovaný výpočet v rastrové síti. Tento přístup sice přináší řadu zlepšení jak v oblasti výpočtové, tak v oblasti vizualizace výsledků, nemůže ale vyřešit základní problém aplikace USLE – tedy, že

se jedná o kontinuální model pracující s dlouhodobými průměrnými hodnotami (*DOSTÁL A KOL., 2014*).

2.7.1 Rovnice USLE v GIS

Výpočet pomocí GIS není založen na určování jednotlivých průměrných hodnot G pro pozemek, tj. jeho charakteristický odtokový profil, ale na určení velikosti ztráty půdy pro jednotlivé pixely (minimální plošky) pozemku, resp. povodí, a následné analýze (součet na ploše pozemků, určení průměrných hodnot pro pozemky apod.). Každému pixelu je přiřazena informační hodnota každého dílčího faktoru USLE. Velikost řešeného území a podrobnost vstupních podkladů, zejména digitálního modelu terénu, určuje vhodné rozlišení výpočtu. Pro optimální data lze doporučit rozlišení v řádu jednotek čtverečních metrů. Určení faktorů R, K, C a P se tedy při metodě USLE-GIS neliší od běžného nasazení USLE, daným mapovým prvkům se přiřadí atributy a převedou se na rastry. Hlavní rozdíl a přínos aplikace GIS se týká výpočtu topografického faktoru LS. Vstupem pro tento výpočet jsou rastrový digitální model terénu (DMT) a mapa pozemků. Klíčovým faktorem pro použití rovnice je správné stanovení rastru zdrojových ploch. Běžně používané GIS aplikace, zejména v ČR nejrozšířenější ArcGIS, však nabízí při výpočtu akumulace odtoku pouze variantu pracující s jednosměrným odtokem – tedy ve směru největšího sklonu. To vede ke značné konvergenci odtoku, nepřesnému směrování a lokálnímu nadhodnocení smyvu. Doporučuje se využít alternativní nástroje, umožňující vícesměrný odtok, případně výpočet na trojúhelníkové síti –TIN (*DOSTÁL A KOL., 2014*).

Použití Univerzální rovnice v prostředí rastrového GIS přináší dva důležité efekty – automatizaci výpočtu a dosažení podstatně přesnějšího územního rozboru v případě použití dostatečně podrobných datových podkladů. Obvyklým principem je, že veškerá podkladová data pro výpočet a všechny faktory rovnice USLE jsou převedeny do podoby informačních mapových vrstev geografických informačních systémů (GIS) a následně do formy rastrových vrstev v požadovaném rozlišení (obvykle jednotky až desítky metrů). Z komerčních GIS software je v ČR nejrozšířenější ArcGIS (ESRI), který nabízí nadstavby pro práci s rastry (3D Analyst a SpatialAnalyst) umožňující manuální výpočet faktoru LS na základě akumulace odtoku. ArcGIS ve standardní instalaci však nabízí pouze jednoduché směrování odtoku ve směru maximálního sklonu. Toto zjednodušení v mírně členitých terénech

může vést k nesprávnému odhadu konvergence a nepřesně určeným drahám soustředěného odtoku. Co se týče základních polohopisných podkladů potřebných pro výpočet USLE v prostředí GIS, tak ty lze získat od ČÚZK (digitální modely terénu a polohopisná kostra území – katastrální mapy, cestní síť, intravilán); od VÚMOP, v.v.i. (půdní data) a stáhnout z veřejného registru zemědělské půdy (LPIS). Případně je možno využít nebo digitalizovat data z veřejně dostupných mapových serverů (*KADLEC A KOL., 2014*).

2.7.2 Vstupní data

Základními doporučenými podklady (vstupními daty) pro běžný výpočet jsou:

- Výpočet faktoru LS: DMT DMR4G, případně DMR5G, eventuálně lokální podrobnější zaměření, např. pomocí GPS.
- Výpočet faktoru R: platná metodika (*JANEČEK., 2012*), do budoucna mapa R-faktoru pro ČR dostupná na serveru SOWAC-GIS, v případě dostatku podrobných dlouhodobých kontinuálních srážkoměrných údajů pro danou lokalitu lze přímo určit R-faktor výpočtem dle platné metodiky *(JANEČEK, 2012*).
- Výpočet faktoru K: mapa faktoru K a mapa hloubky půdy vypočtená na základě map BPEJ, případně půdní vzorky a postup dle platné metodiky (*JANEČEK, 2012*). S výjimkou přehledových výpočtů pro rozsáhlá území není vhodné využití méně podrobných map (např. KPP 1: 200 000).
- Výpočet faktorů C a P: registr zemědělské půdy LPIS a informace o dlouhodobých osevních postupech od hospodařících subjektů. Klíčovým vstupem určujícím místní intenzitu erozního procesu je proto digitální model terénu (*DOSTÁL A KOL., 2014).*

2.7.2.1 Digitální model terénu

Problematika eroze je značně složitá, ale DMT může opět významným způsobem přispět k efektivitě procesů souvisejících s kvantifikací erozního ohrožení území. Digitální model terénu nám při výpočtu rovnice USLE v GIS slouží ke zjišťování topologického faktoru LS (*KLIMÁNEK, 2006*).

Na generování digitálních modelů terénu můžeme získat data z různých zdrojů a za použití rozdílných metod. Metody lze rozdělit podle způsobu sběru dat do následujících kategorií:

- přímé metody
  - kontaktní (pozemní měření)
  - bezkontaktní (dálkový průzkum Země)
- nepřímé metody.

Přímo měřené (tzv. primární) data získáme měřením v terénu buď za pomoci geodetických měření (tachymetrie, nivelace) a nebo pomocí globálních navigačních satelitních systémů (GNSS). Tato kontaktní měření (měření se realizuje přímo na každém bodě) můžou poskytovat velmi přesné určení polohy a výšky. Při přímém měření data vznikají už za účelem modelování terénu, a proto je možné lépe stanovit požadovaná kritéria, která mají data splňovat. Je možné generovat model na milimetrové přesnosti nivelace po desítky centimetrů u radarového snímání. Značné rozdíly jsou i z hlediska rozsahu území. Všeobecně lze konstatovat, že kontaktní metody jsou přesnější a vhodnější pro menší území, bezkontaktní metody se výborně uplatní pro rozsáhlé území (*ŠINKA A KOL., 2013).*

Bezkontaktní přímou metodou (DPZ) lze získat velké množství informací o faktorech ovlivňující vodní erozi. Jedná se o informace týkající se klimatu, půdy, topografie, vegetačních charakteristik. V problematice vodní eroze v souvislosti s DPZ je nejčastěji používáno metod, které se soustřeďují na získání informací o jednotlivých parametrech prostředí, jež jsou dále využity pro vymezení potenciální erozní ohroženosti. Veskrze všechny tyto postupy umožňují získání vstupních parametrů pro erozní modely a další analýzy, které pracují s větší či menší diskretizací a jsou značně závislé na kvalitě vstupních parametrů. Metody DPZ tak mohou nabídnout možnosti pro zkvalitnění těchto parametrů (*ŽÍŽALA A KOL., 2016*).

Do skupiny bezkontaktních metod dálkového průzkumu Země patří metody fotogrammetrie (zpracování stereodvojic leteckých snímků), laserové skenování a radarové snímání. Tyto metody poskytují data s přesností řádově desítky centimetrů. Oproti tomu nepřímé metody zpracovávají už existující modely reliéfu, které můžou, ale nemusí být digitální (*KLIMÁNEK, 2006*).

Kromě přímých měření, ať už kontaktními nebo bezkontaktními metodami, je možno odvodit data pro tvorbu digitálního modelu terénu z celé řady dostupných zdrojů. Ve většině případů jde o digitalizaci vrstevnic zobrazených na analogových

topografických, resp. základních mapách. Digitalizace v podobě vektorizace vrstevnic se v současnosti uskutečňuje téměř výlučně automatizovaně, jen v ojedinělých případech se můžeme střetnout s manuální vektorizací (např. v případě poškozených analogových podkladů). Přesnost vektorizace (digitalizace) výškopisu (vrstevnice, kóty) je závislá na měřítku a grafické přesnosti zdrojové mapy (*ŠINKA A KOL., 2013*).

2.8 Dálkový průzkum Země ve vztahu k vodní erozi

Sledování erozního poškození půd pomocí metod DPZ je konceptuálně založeno na sledování tzv. indikátorů půdní eroze. Indikátory půdní eroze lze obecně chápat jako jevy, prvky, vlastnosti, procesy či jiné veličiny, které umožňují identifikovat erozní ovlivnění půdy. V kontextu využití DPZ pak takovými indikátory chápeme především půdní vlastnosti, jež lze sledovat pomocí metod DPZ. Využití dálkového průzkumu přináší postupy, které umožní snížit náklady na podrobný terénní průzkum s cílem hodnocení erozního poškození půd. Ekonomickým přínosem je tak efektivita použitých metod ve srovnání s pozemním monitoringem. Použité metody vyžadují pozemní šetření a rozbory též, nicméně v kombinaci s využitím dat dálkového průzkumu je jejich potřeba snížena na minimum. Data DPZ mohou přinést informace z rozsáhlých území a využití jeho metod tak může ušetřit prostředky v řádu stovek až milionů Kč vůči klasickým terénním metodám, kdy se zredukují prostředky na pracovní sílu, materiální zajištění prací a případné analytické práce. Výrazná je i časová úspora. Mapování klasickými metodami by v takovém rozsahu nebylo nejspíš ekonomicky efektivní a využití metod DPZ tak může být jedinečným řešením pro úlohy hodnocení stavu erozního poškození půd ve velkém prostorovém kontextu (*ŽÍŽALA A KOL., 2016*)

2.9 Protierozní ochrana

Ochranu proti vodní erozi je možné zajistit aplikací protierozních opatření, jež spočívají v ochraně půdy před účinky dopadajících kapek erozně účinného deště, zachycení povrchově odtékající vody na chráněném bloku, převedení co největší části povrchového odtoku na vsak do půdního profilu, snížení rychlosti odtékající vody a z dlouhodobého hlediska i snížení erodovatelnosti půdy. Z hlediska finančního je nutné při návrhu protierozních opatření postupovat od finančně i realizačně nejjednodušších opatření organizačního a agrotechnického charakteru k opatřením technického charakteru (*MZE, 2011*).

Nejrozšířenějším a zároveň účinným opatřením je správné hospodaření v lese, jenž má těžko nahraditelnou retenční a retardační schopnost ovlivňující pozitivně odtok v celém povodí (*MEZERA A KOL., 1979*).

Návrh protierozní ochrany vychází z průzkumu, kterým se získávají podklady k posouzení hydrologických poměrů řešeného území a stanovení jeho erozní ohroženosti, pro volbu systému protierozní ochrany a návrh jeho prvků. Průzkum současně vytváří předpoklady pro soulad protierozních opatření s pozemkovými úpravami a ostatními vodohospodářskými a ekologickými zásahy a zájmy v krajině (*BURIAN A KOL., 2011*).

Významnou součástí průzkumu k návrhu protierozní ochrany je rekognoskace terénu, při které se ověřují a upřesňují především:

a) Hydrologické poměry (rozvodnice, převažující směr plošného povrchového odtoku, odtokové dráhy soustředěného povrchového odtoku, stav prvků hydrografické sítě, průtočné profily v intravilánu, svážná území, stav realizovaných melioračních zařízení, pásma hygienické ochrany vodních zdrojů atd.)
b) Organizace a využití půdního fondu (hranice pozemků, stálé a sezónní komunikace, skladba pěstovaných plodin, souvislá a rozptýlená zeleň)
c) Způsob obhospodařování pozemků (směr a způsob agrotechnických operací, vybavenost zemědělských farem mechanizací pro ochranné obdělávání, degradované a poškozené části území, formy erozních procesů atd.)
d) Nesrovnalosti mapových podkladů se současným stavem (vlastnické vztahy k pozemkům, delimitace kultur, komunikace, objekty, úpravy vodních toků, hranice intravilánu).

K optimalizaci návrhu protierozní ochrany se doporučuje využít variantního řešení a etapové realizace. Postup při návrhu ochrany půdy před vodní erozí tvoří:

a) Vyhodnocení ohroženosti řešeného území
b) Návrh protierozních opatření
c) Posouzení návrhu z hlediska účinnosti navržených protierozních opatření

Návrhy a realizace protierozních opatření v pozemkových úpravách by vždy měly vycházet z odborně zpracovaných projektů respektující základní principy ochrany půdy před erozí (*JANEČEK, 2008*).

Pro rozšířenost eroze a výraznost jejích následků (odnos povrchových vrstev půdy, škody na komunikacích, stavbách, zanášení příkopů, odtokových prvků, retenčních nádrží apod.) je protierozní ochrana nejběžnější součástí plánu společných zařízení. Retence krajiny bývá řešena až následně po povodňových škodách, ne preventivně. V praxi se používají následující ochranná opatření, která jsou seřazena od nejčastěji navrhovaných a realizovaných k méně:

- agrotechnická a organizační opatření (vyloučení erozně nebezpečných plodin, využití krycích plodin, hrázkování, důlkování, atd.)

- polní cesta se zasakovacím pásem nebo příkopem,

- výstavba poldrů, záchytných příkopů a retenčních přehrážek a nádrží,

- výsadba doprovodné stromové zeleně,

- zatravnění (plošné nebo pásové),

- protierozní mez.

Návrh určitého typu opatření vychází především z přírodních a antropických podmínek. Prosazení a realizace opatření závisí na ekologické fundovanosti pracovníků pozemkových úřadů, jejich přesvědčovacích schopnostech a možnostech nasměrování vhodných dotací (*UHLÍŘOVÁ A KOL., 2005*).

Eroze patří v ekonomických teoriích k tzv. externalitám. Tuto externalitu je třeba měřit z důvodu její politické citlivosti, neboť je obvykle neřeší trh, ale musí být řešeny v rámci státních rozpočtů nebo regulatorních či jiných nástrojů. Vzhledem ke komplexní povaze následků eroze musí být identifikovány pokud možno všechny typy interních a externích dopadů eroze a hledán způsob, jak ocenit jejich nápravu (např. náklady na vytěžení sedimentů apod.). Současně je nutné identifikovat a ocenit ztrátu půdy a snížení produkce v důsledku působení procesů eroze, aby bylo posouzení následků úplnější. Vzhledem k náročnosti a nákladnosti některých způsobů oceňování a omezeným možnostem oceňování zejména ekologických dopadů eroze, lze v takových složitých případech aplikovat jen kvalitativní hodnocení. Ekonomická bilance protierozních opatření spočívá v porovnání nákladů na jejich vybudování, údržbu a přínosů plynoucích z těchto opatření. Náklady se dají stanovit podle skutečných cen realizací konkrétních opatření (zjištěných z předchozích projektů) nebo normativně pomocí ceníků. Pokud nejsou tyto údaje

dostupné, lze provést šetření a z více zjištěných nákladů vypočítat průměrné náklady na jednotku. Přínosy protierozní ochrany se určují jako rozdíl mezi oceněnými následky eroze před a po realizaci protierozních opatření. Posouzení nákladů spojených s implementací navrhovaných opatření spočívá především ve vyčíslení nákladů potřebných k jejich realizaci a v některých případech taktéž v posouzení případných dopadů na hospodaření podniku. Často se jedná o kombinaci obou (*KONEČNÁ A KOL., 2014*). Přístup ke stanovení nákladů na některá protierozní opatření shrnuje obrázek č.3:

Protierozní opatření	Způsob stanovení
Plošné nebo pásové zatravnění	Vyjádřeno v PÚ/ha jako ztráta z produkce na orné půdě po dobu 5 let (vážený průměr nejčastěji pěstovaných plodin) plus náklady na založení porostu a následnou péči.
Plošné nebo pásové zalesnění	Vyjádřeno v PÚ/ha jako ztráta z produkce na orné půdě po dobu 5 let (vážený průměr nejčastěji pěstovaných plodin) plus náklady na výsadbu a další péči o stanoviště a porost.
Mez, průleh s mezí	Stanoveno jako náklady na zatravnění (viz výše) zvýšené o náklady na terénní úpravy.
Záchytný nebo svodný příkop	Náklady na stavební a zemní práce včetně materiálu.
Zatravnění údolnice	Stanoveno jako náklady na zatravnění (viz výše), které lze navýšit o další náklady na specifické operace.
Vyloučení pěstování širokořádkových plodin	Vyjádřeno v PÚ/ha jako ztráta z omezení produkce na orné půdě po dobu 5 let (vážený průměr nejčastěji pěstovaných tržních plodin).
Pásové střídání plodin	Stanoveno podle zemědělských normativů. Půdní bloky jsou zúženy a tím dochází ke zhoršení účinnosti využití techniky a zvýšení nákladů na obdělávání.
Ochranné obdělávání	Porovnána úroveň nákladů na konvenční a ochranné obdělávání (setí do mulče a strniště).

PÚ = příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku

Obr. 3: Stanovení nákladů na PEO (KONEČNÁ A KOL., 2014)

2.9.1 Opatření organizačního charakteru

Základem organizačních protierozních opatření je situování pozemků delší stranou ve směru vrstevnic, zvolení vhodné velikosti a tvaru pozemku a vymezení parcel vhodných ke změně druhů pozemků. Organizační opatření na orné půdě jsou zejména v projektech KPÚ navrhována v součinnosti s ostatními opatřeními a předpokládají dobrou spolupráci a zainteresovanost hospodařících subjektů (*BURIAN A KOL., 2011*).

Tato opatření jsou velmi účinná a doporučují se, je-li půda méně náchylná k erozi, anebo je-li eroze méně vyvinuta. Patří sem správné užívání půdy v rozmístění kultur a pozemků, zlepšování protierozní odolnosti orné půdy a využití ochranného účinku lesních porostů. Předností všech těchto prostředků je, že jsou jednoduché, levné a dobře působivé v krajině, neboť přímo souvisí s provozem zemědělství a lesnictví (*JŮVA A KOL., 1981*).

Organizace půdního fondu je řešena v projektech komplexních pozemkových úprav. Tyto úpravy jsou významným komplexním zásahem do podmínek hospodaření zemědělských podniků, musí otázky organizace půdního fondu řešit ve všech vzájemných souvislostech se zvláštním zřetelem na zvýšení intenzity využívání zemědělského půdního fondu a jeho všestrannou ochranu (*PASÁK A KOL., 1984*).

Změna velikosti a tvaru pozemku

Základem organizačních protierozních opatření je situování PB (půdního bloku)/DPB (dílu půdního bloku) delší stranou ve směru vrstevnic, což zároveň stimuluje k obdělávání po vrstevnici a současně zkracuje délku PB/DPB ve směru odtoku. Zároveň je žádoucí, aby tato délka PB/DPB ve směru odtoku (odtokových linií) nepřekračovala maximální přípustnou délku (vypočtenou například dle Univerzální rovnice ztráty půdy – USLE), respektive aby i délka odtokové linie procházející přes více PB/DPB (bez účinného přerušení odtoku mezi nimi) nepřekračovala maximální přípustnou délku (*MZE,2011*).

Jedná se o opatření, kdy je nutno v rámci řešení komplexních pozemkových úprav řešit parametry pozemků. Zkrácením délky svahu snižujeme možnou erozi. Optimalizací tvaru pozemku lze docílit jiného systému obhospodařování pozemků (střídání plodin) a případně i zvýšení zasakování vody.

Při novém návrhu uspořádání pozemků je nutné respektovat i další faktory jako je homogennost půdních vlastností a mechanizační přístupnost. Při projektu pozemkových úprav se musí optimálním způsobem spojit protierozní, vodohospodářské, dopravní a vegetační linie vytvářející kostru systému v krajině. V rámci takto pojaté kostry, kde z hlediska protierozní ochrany je rozhodující dodržení přípustných délek svahu, je potom možné vytvářet pozemky vyhovující jejich vlastníkům, a při tom zohledňovat i zásady zaručující efektivní využívání zemědělských strojů. Velikost a tvar pozemku tedy do značné míry určují místní geografické poměry spolu s požadavky na přístupnost pozemků a způsob hospodaření na půdě. Obecně je možné doporučit vytváření půdních bloků o velikosti do 50 ha na rovinných územích a 20 ha ve členitějších územích s převažujícími délkami ve směru vrstevnic (*JANEČEK, 2008*).

Návrh vhodného umístění pěstovaných plodin, včetně ochranného zatravnění

Návrh vhodného umístění pěstovaných plodin spočívá především v preferenci pěstování erozně nebezpečných plodin na neohrožených nebo jen mírně ohrožených půdních blocích. Silně erozně ohrožené plochy na půdních blocích, pásy podél břehů vodních toků a nádrží, dráhy soustředěného povrchového odtoku, profily průlehů, mělké půdy apod. by měly být naopak zatravněny (*MZE, 2011).*

Opatření umístění pěstovaných plodin lze členit do kategorií:

Kategorie I. - Plochy podél vodotečí jsou charakterizované velmi malým sklonem. Z hlediska možného vybřežení vody z toku je nutno tyto plochy využívat jako trvalé travní porosty.

Kategorie 2. – Plochy s ornou půdou se sklonem do 3 stupňů, kde lze soustředit plodiny chránící půdu nedostatečně – okopaniny, kukuřice, širokořádkové plodiny.

Kategorie III. – Plochy s ornou půdou se sklonem do 7 stupňů. Zde je možno plodiny odolné jako např. ozimé obiloviny pěstovat bez omezení. Plodiny náchylné k erozi je možno pěstovat s použitím agrotechnických protierozních opatření. Možno využít běžný osevní postup.

Kategorie IV. – Plochy s ornou půdou se sklonem do 11 stupňů je možno využívat jen se speciálním protierozním osevním postupem. Je zde nutno zvážit zornění lokality a možný převod pozemků na trvalé travní porosty.

Kategorie V. – Plochy bez orné půdy nad 17 stupňů, jen trvalé travní resp. Lesní porosty (*SOUKUP A KOL., 2008*).

Ochranné zatravnění se používá na pozemcích, které z hlediska ztrát půdy erozí nelze využívat jako ornou půdu. Optimálně zapojený travní porost je nejlepší protierozní ochranou. Pro kvalitní vegetační kryt jsou preferovány trávy výběžkaté tvořící pevný drn (zejména u protierozních opatření liniového charakteru) (*BURIAN A KOL., 2011*).

Stanovení nákladů plošného nebo pásového zatravnění

Náklady se vyčíslí jako ztráta tržních plodin a náklad na zatravnění. Náklad na ochranné zatravnění představuje nejen náklad na samotné založení travního porostu, ale také tzv. náklad příležitosti, tj. ztracený příjem z orné půdy. Ten je měřen pomocí stanovení příspěvku na úhradu fixních nákladů a zisku. Protože podniky obvykle musí snížit plochu tržních plodin (krmné plodiny jsou nutné pro zachování stavů zvířat), byl vypočten podle podílu ploch hlavních tržních plodin (ozimá pšenice, ječmen jarní a řepka) v ČR vážený průměr příspěvku na úhradu fixních nákladů a zisku podle plochy těchto plodin. Ochranné zatravnění představuje roční náklad 10631 Kč/ha/rok (*KONEČNÁ A KOL., 2014*).

Návrh pásového střídání plodin

Pásovým střídáním plodin je možné omezit ztráty půdy erozí tak, že se střídají pásy plodin chránících půdy travní porost, jetel, vojtěška, příp. ozimá obilnina, hrách, řepka ozimá) s pásy plodin s nízkým protierozním účinkem (okopaniny, kukuřice). Šířka pásů je závislá na sklonu a délce svahu, propustnosti půdy, její náchylnosti k erozi a na šířce záběru strojů. Obecně se doporučuje šířka pásů od 20 do 40 m (podle sklonu pozemku). Vrstevnicové pásy by měly být uspořádány tak, že mezi stejně široké pásy plodin jsou umisťovány zpravidla nestejně široké pásy travních porostů či jetelovin zajišťující s ohledem na proměnlivý sklon terénu nutnou „opravu“ v zájmu zachování stejné šířky plodinových pásů (*BURIAN A KOL., 2011*).

Po realizaci opatření lze očekávat snížení erozního ohrožení pozemků. Jednoznačně nelze očekávat vždy zlepšení jakosti vod (hnojení, zaorávání organické podzemní biomasy), pouze za erozních situací bude jakost příznivě ovlivněna snížením odnosu sedimentů (*SOUKUP A KOL., 2008*).

2.9.2 Agrotechnická protierozní opatření

Protierozní agrotechnická opatření se používají ke zlepšení vsakovací schopnosti půdy, zvýšení její protierozní odolnosti a k vytvoření ochrany jejího povrchu především v období největšího výskytu přívalových dešťových srážek, kdy zejména širokořádkové plodiny (kukuřice, brambory, cukrová řepa, slunečnice apod.) svým vzrůstem a zapojením ještě nedostatečně kryjí půdu. Do skupiny protierozních opatření agrotechnického charakteru se řadí opatření navazující na

opatření organizačního charakteru. Zejména se jedná o půdoochranné technologie pěstování plodin, jako je vrstevnicové či konturové obdělávání, výsev do ochranné plodiny nebo strniště, hrázkování a mulčování. Tyto ochranné technologie obdělávání zahrnují celou řadu postupů ponechávajících velkou část posklizňových zbytků, snižujících povrchový odtok a zachycujících kinetickou energii dopadajících kapek deště, čímž omezují destrukci půdních agregátů (*BURIAN A KOL., 2011*).

Podle stupně ochrany povrchu půdy před vodní erozí můžeme rozdělit pěstované plodiny do tří základních skupin:

a) Plodiny s vysokým protierozním účinkem po celou dobu vegetačního období (travní porosty, jetelotrávy, jeteloviny)
b) Plodiny s dobrou protierozní ochranou půd po větší část vegetačního období (obiloviny, meziplodiny, luskoviny)
c) Plodiny s nedostatečnou protierozní ochranou půdy po převážnou část vegetačního období (kukuřice, brambory, cukrová řepa)

Nejvíce podléhá erozi půda bez vegetačního pokryvu. Porosty okopanin a kukuřice smyv půdy oproti úhoru snižují na polovinu, obiloviny na čtvrtinu až desetinu, jeteloviny na padesátinu a víceleté travní porosty až na dvou setinu (*JANEČEK, 2008*). Vliv plodin na smyv půdy zobrazuje obrázek č.4:

Plodina	Snížení smyvu na (%)
Cukrovka, kukuřice, brambory	60
Jarní obilovina	24
Ozimá obilovina	18
Vojtěška, jetel	2
Louka	0,5

Obr. 4: Vliv plodin na smyv půdy (JANEČEK, 2008)

Náklady na vrstevnicové obdělávání a ochranné obdělávání

Obdělávání po vrstevnici nemusí představovat žádné navýšení nákladů, ale v jiných podmínkách může představovat potřebu zvláštní techniky. Avšak v extrémních svažitostech (15-21 %) už může být smysluplnější svah zatravnit. Jiná situace nastává, pokud tvar půdního bloku takřka vylučuje obdělávání po vrstevnici. Zejména pokud se jedná o obdélník s krátkou stranou, který je orientován delší stranou dolů ze svahu. V krajním případě by potom obdělávání po vrstevnici představovalo převážně jen častější obracení na souvratích. Do ochranného obdělávání zahrnujeme minimalizační technologie, jejichž protierozní efekt je

zaručen ponecháním posklizňových zbytků. Jedná se tedy o setí do strniště nebo do mulče. Náklady na ochranné obdělávání lze stanovit tak, že se porovnají náklady na přímé setí a minimalizační technologie s klasickým plným obděláváním. Ceny variabilních nákladů (Kč/ha) na příkladu ozimé pšenice jsou: klasické obdělávání 24832, přímé setí 23029, redukované obdělávání 23970. Z čehož vyplývá, že ve skutečnosti jsou variabilní náklady nižší než u plného obdělávání (o 7%), pokud je používáno přímé setí. Nutno však dodat, že technika na přímé setí bývá nákladnější a co je důležitější, v některých půdních a stanovištních podmínkách není možné přímé setí použít (případně pro některé plodiny). Navíc je nezbytné zvýšit výsevek o 10 – 15 %. Jedná se o navýšení o 132 Kč/ha. Ale ani toto navýšení nepřevýší náklad na přímé setí nad náklad na klasické obdělávání (*KONEČNÁ A KOL., 2014*).

2.9.3 Technická protierozní opatření

Organizačními a agrotechnickými prostředky není vždy možno zabránit na zemědělsky využívaných svazích škodlivému soustřeďování a povrchovému odtoku vody, zejména při jarním tání sněhu nebo prudkých deštích, proto je třeba použít technická protierozní opatření. Tato opatření se používají, je-li eroze již silně vyvinuta, takže nebezpečně poškozuje půdu vznikem různých erozních útvarů, jako výmolů, strží, bystřinných koryt, zemních sesuvů nebo lavin. Do obsahu této ochrany náleží úprava srážkového odtoku, zajištění výmolů a strží, hrazení bystřin a ochrana proti zemním sesuvům a lavinám (*JŮVA A KOL., 1981*).

Technická protierozní opatření se navrhují většinou jako jejich doplnění předcházejících organizačních a agrotechnických opatření. Pokud se potřeba protierozních opatření týká většího rozsahu zemědělských pozemků v jednom katastrálním území, je vhodné ochranu půdy řešit v rámci komplexních pozemkových úprav. Jednotlivá opatření je možno navrhovat a realizovat v rámci podpůrných a dotačních programů na protierozní ochranu (Ministerstvo zemědělství ČR) nebo rozvoj venkova. Zásadním rozdílem technických protierozních opatření proti ostatním „měkčím“ typům protierozních opatření je jejich technický charakter, který se promítá do způsobu navrhování a realizace. Technická protierozní opatření jsou opatření investičního charakteru, která je třeba individuálně posoudit v souladu se Stavebním zákonem 183/2006 Sb., a podle toho rozhodnout, zda stavba vyžaduje ohlášení, stavební povolení či je možno ji realizovat bez nich (*KADLEC A KOL., 2014*).

Jedná se o protierozní opatření sloužící k vyrovnání terénních příčných nerovností a snížení podélného sklonu velmi svažitých pozemků, k ochraně pozemků před tzv. „cizí“ vodou např. vytékající z lesních porostů na zemědělskou půdu, k neškodnému odvedení povrchových vod z povodí, k retardaci povrchového odtoku a zachycování smyté zeminy, k ochraně intravilánů obcí a komunikací, před škodami povrchového odtoku a smytou zeminou apod. Tato opatření se používají i tehdy, pokud nelze hodnot přípustné ztráty půdy dosáhnout organizačními a agrotechnickými opatřeními nebo pokud je řešení technickými opatřeními výhodnější. K prvé skupině opatření se řadí zemní úpravy jako jsou protierozní meze a terasy. Ke druhé hydrotechnické prvky, jakou kupříkladu příkopy, průlehy, ochranné hrázky a nádrže (*BURIAN A KOL., 2011*).

DOSTÁL A KOL., (2014) popisuje základní princip technických protierozních opatření takto:

- změna sklonu pozemku (terénní urovnávky, terasování, historické meze)
- přerušení volné délky pozemku a neškodné odvedení povrchového odtoku (příkopy, průlehy, protierozní meze, údolnice)
- zachycení povrchového odtoku a splavenin, zdržení odtoku a jeho neškodné odvedení (hrázky, sedimentační, retenční a suché nádrže, vsakovací prvky)

PODHRÁZSKÁ A DUFKOVÁ, (2005) uvádí, že o použití jednotlivých způsobů ochrany svažitých zemědělských pozemků před vodní erozí rozhoduje jejich účinnost, požadované snížení smyvu půdy a nutná ochrana objektů (vodních zdrojů, toků a nádrží, intravilánů měst a obcí) při respektování zájmů vlastníků a uživatelů půdy, ochrany přírody, životního prostředí a tvorby krajiny.

Z uvedeného vyplývá, že TPEO se navrhují tak, aby zajistila protierozní ochranu pozemku (přípustná volná délka svahu, sklon svahu atd.) a současně, aby byla schopna plnit svou funkci v předem stanovených podmínkách. Jde především o to, že TPEO je třeba navrhovat a dimenzovat na určitou, zcela jednoznačnou míru bezpečnosti, vyjádřenou dobou opakování. Ta by se podle typu a významnosti chráněné lokality měla pohybovat od minimálně 5 let v běžných podmínkách po 10-50 let při ochraně intravilánu nebo jiné významné infrastruktury. V odůvodněných výjimečných případech je možné navrhovat na dobu opakování až

100 let (*KADLEC A KOL., 2014*). Konkrétní hodnoty zabezpečenosti vyjádřené dobou opakování výskytu návrhového parametru jsou uvedeny na obrázku č.5:

Druh opatření	Důvod opatření	Návrhové hodnoty	Poznámka
Opatření odváděcí (příkop, průleh, …)	Ochrana pozemků	Q_5 až Q_{10}	Dle kvality půdy
Opatření odváděcí (příkop, průleh, …)	Ochrana intravilánu	Q_{10} až Q_{50}	Dle významu obce
Opatření odváděcí (příkop, průleh, …)	Ochrana vodního útvaru	Q_{10} až Q_{20}	Dle charakteru a významu vodního útvaru
Objekty	Propustky, mostky	Q_{20} až Q_{50}	Dle místa výskytu
Opatření retenční (suchá nádrž, poldr, …)	Ochrana intravilánu nebo jiné významné lokality	Q_{20} až Q_{100}, tomu odpovídající objem	Dle významu chráněné lokality

Obr. 5: Doporučené zabezpečenosti pro dimenz. zákl. typů TPEO (KADLEC A KOL., 2014)

Stanovení nákladů na mez, průleh s mezí

Výchozími položkami jsou náklady a ztráta příjmů jako u zatravnění. Avšak vybudování zařízení zahrnuje také terénní úpravy. Zatímco na zatravnění je možné požít podklady získané z celostátního šetření o nákladech v zemědělství, v případě vytvoření meze (hrázky) lze náklad stanovit na základě dříve realizovaných projektů.

Cena vybudování meze či průlehy se pohybuje kolem 14008 Kč/ha. K této ceně je ale ještě nutné připočítat zemní práce, které nejsou zahrnuty.

Vzhledem ke komplexní povaze následků eroze musí být identifikovány pokud možno všechny typy interních a externích dopadů eroze a hledán způsob, jak ocenit jejich nápravu (např. náklady na vytěžení sedimentů apod.). Současně je nutné identifikovat a ocenit ztrátu půdy a snížení produkce v důsledku působení procesů eroze, aby bylo posouzení následků úplnější. Vzhledem k náročnosti a nákladnosti některých způsobů oceňování a omezeným možnostem oceňování zejména ekologických dopadů eroze, lze v takových složitých případech aplikovat jen kvalitativní hodnocení.

Ekonomická bilance protierozních opatření spočívá v porovnání nákladů na jejich vybudování, údržbu a přínosů plynoucích z těchto opatření. Náklady se dají stanovit podle skutečných cen realizací konkrétních opatření (zjištěných z předchozích projektů) nebo normativně pomocí ceníků. Pokud nejsou tyto údaje dostupné, lze provést šetření a z více zjištěných nákladů vypočítat průměrné náklady na jednotku. Přínosy protierozní ochrany se určují jako rozdíl mezi oceněnými

následky eroze před a po realizaci protierozních opatření (*KONEČNÁ A KOL., 2014*).

2.9.3.1 Metody CN- křivek pro návrh PEO (protierozních opatření)

Hydrologické podklady určující základní parametry by měly vycházet z dlouhodobě sledovaných průtoků v uzávěrových profilech toků. Takové údaje jsou však, zejména v malých povodích, zřídka k dispozici. Tam, kde jsou dostupné, nemusí být směrodatné, s ohledem na změny využívání půdy oproti období pozorování. Nezbývá tedy než stanovit potřebné návrhové parametry pomocí nepřímých metod založených na charakteristikách povodí. Z hlediska možnosti jejich využívání je nutné, aby tyto metody byly co nejjednodušší a nejpřesnější s převahou objektivně stanovitelných vstupních dat. Zpravidla jsou však kompromisem mezi praktickou jednoduchostí a teoretickou přesností. Poměrně jednoduchou a dostatečně přesnou metodou je tzv. „Metoda čísel odtokových křivek – CN“ *(JANEČEK, 1982).*

KADLEC A KOL., (2014) uvádí, že metoda čísel odtokových křivek CN byla odvozena v USA (služba na ochranu půdy SCS = Soil conservation service). Jedná se o jednoduchou metodu pro výpočet charakteristik povrchového (přímého) odtoku způsobeného přívalovou srážkou z povodí o velikosti cca 5-10 km^2. Výstupem výpočtu je objem odtoku z návrhové srážky vycházející ze srážkového úhrnu (stejného na celé řešené ploše), hydrologických vlastností půdy, obsahu vody v půdě (předchozí nasycení) a potenciální retence zahrnující vliv vegetačního krytu, velikosti nepropustných ploch, povrchové půdní retence a intercepce.

V projekční praxi může být metoda odtokových křivek použita pouze v souladu s ČSN 75 1300 „Hydrologické údaje povrchových vod“ k navrhování technických protierozních opatření, jako jsou dráhy soustředěného povrchového odtoku (zatravněné údolnice), průlehy, příkopy, ochranné hrázky a pro posuzování vlivu protierozních opatření na povrchový odtok. Metodu ovšem nelze použít pro výpočet odtoku z tání sněhu (*JANEČEK, 2012*).

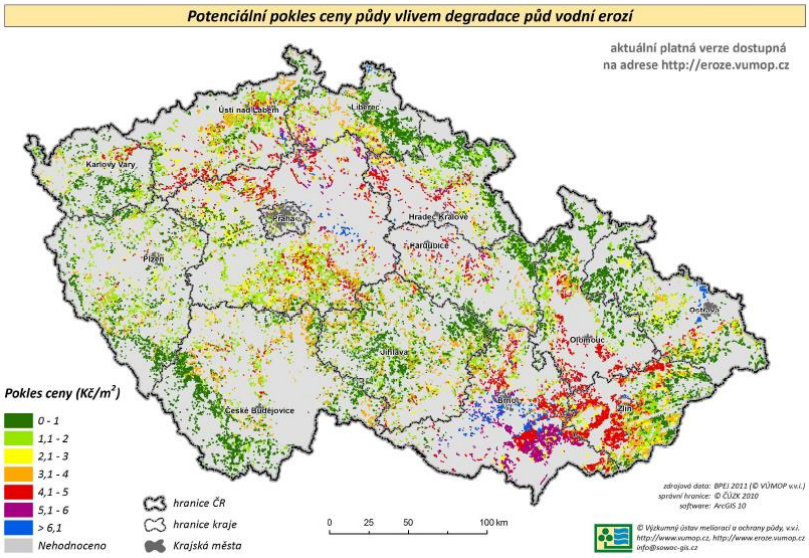
2.9.3.2 Realizace TPEO

Při navrhování prvků TPEO, ať již v rámci pozemkových úprav nebo jako izolovaných prvků, je nutné vycházet z platné legislativy. TPEO je stavba podle Stavebního zákona 183/2006 Sb. Jedná se o vodní díla dle § 55 Vodního zákona – Stavby k vodohospodářským melioracím. Podle §15 odst. 1) zákona

254/2001 Sb. Je k provedení vodních děl, k jejich změnám a změnám jejich užívání, jakož i k jejich zrušení a odstranění, třeba povolení vodoprávního úřadu. O jaké stavby se jedná, je uvedeno v § 2 vyhlášky č. 225/2002 Sb. Pokud se jedná o TPEO uvedené v bodě 5.1.3 (viz TPEO – stavby vyžadující stavební povolení), pak je stavební povolení nutné, územní rozhodnutí také, pokud se nejedná o součást PSZ a stavební úřad respektuje paragraf a upuštění od územního rozhodnutí. Vodní díla povoluje speciální stavební úřad (vodoprávní) se souhlasem obecného stavebního úřadu. Podle § 55 odst. 3 zákona 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) se za vodní díla nepovažují zejména jednoduchá zařízení mimo koryta vodních toků na pozemcích nebo stavbách k zachycení vody a k jejich ochraně před škodlivými účinky povrchových nebo podzemních vod a vodohospodářské úpravy. V pochybnostech o tom, zda jde o vodní dílo, rozhodne místně příslušný vodoprávní úřad (§ 55 odst. 4 zákona 254/2001 Sb.) Povinnosti vlastníka a správce upravují §50-53 zákona 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) (*KADLEC A KOL., 2014*).

2.10 Dopady vodní eroze

Cena zemědělské půdy je stanovena vyhláškou ministerstva financí. Kvalita a další vlastnosti půdy jsou v podmínkách ČR stanoveny bonitovanými půdně ekologickými jednotkami (BPEJ). K BPEJ je následně přiřazena cena v Kč/m^2. Cena se pravidelně aktualizuje a je zveřejňována ve sbírce zákonů. Eroze se projevuje zejména snižováním mocnosti půdního profilu, zvyšováním skeletovitosti a tudíž i změnami v zařazení hlavní půdní jednotky, které se promítají do přehodnocení BPEJ a tím i do změn jejich cen. Níže uvedená mapa zobrazuje potenciální změny cen půdy v důsledku odnosu ornice vodní erozí. Při tvorbě této mapy bylo použito všech 2199 kódů BPEJ platných v ČR. Do hodnocení byly vybrány půdy o sklonu svahu 7 – 12°. Vybrané BPEJ byly analyzovány z hlediska možného maximálního působení eroze (*JANEČEK, 2012)*. Na obrázku č. 6 je zobrazen potenciální pokles půdy vlivem degradace půd vodní erozí:



Obr. 6: Potenciální pokles ceny půd (JANEČEK, 2012)

JANEČEK A KOL., (2012) dále uvádí příklad zkoumaného území Hustopeče s výměrou 34,3 ha po aktualizaci BPEJ určených na základě komplexního průzkumu půd provedeného v 70- tých letech 20. století k poklesu původní ceny 4 540 000 Kč na 3 092 000 Kč. Z toho plyne závěr, že uplatnění protierozních opatření je nejvíce efektivní a vložená investice má nejrychlejší návratnost na půdách, kde potenciálně hrozí největší pokles ceny v důsledku působení vodní eroze.

Dalším příkladem je území Ždánického lesa na jižní Moravě, které bylo při půdních průzkumech v 70. letech charakteristické homogenním půdním pokryvem naší nejúrodnější půdy- černozemě modální. Vlivem intenzivního hospodaření bez jakýchkoliv půdoochranných opatření došlo k intenzivnímu rozvoji a urychlení procesu vodní eroze. Toto působení lze rozdělit v podstatě na dva jevy. V prvním případě se jedná o změny v horních částech svahů, kdy dochází ke smyvu a odnosu půdních částic. Nejdříve dochází k postupnému odnosu orničního horizontu (horizont Ap – mocnost cca 30 cm), dále k odnosu humusového horizontu (horizont A – mocnost cca 40 cm) a přechodového horizontu (horizont AC – mocnost cca 30 cm). V této situaci se již půda stává minimálně úrodnou, z černozemě se stává regozem a hospodaří se již na půdotvorném substrátu – spraši (horizont Ck – mocnost cca 50 cm). Ale proces trvá a pokračuje, nakonec mizí i relativně kvalitní spraš a již je obnažen v podstatě geologický (podpůdní) horizont – flyšový pískovec (horizont D). Ztráta půdy je neobnovitelná a nevyčíslitelná, bereme-li v úvahu, že 2-3 cm vrstvy

půdy potřebují na svůj vznik za velmi příznivých podmínek průměrně 100 až 1000 let (*NOVOTNÝ A KOL., 2014*).

Pro řešení finančních dopadů vodní eroze je nejrozšířenější metoda „replacement cista“. Tato metoda se zakládá na principu výpočtů nákladů na odstraňování škod, které eroze způsobí (*WINPENNY, 1991).*

3. Cíl práce

Cílem této práce je vyhodnocení vlivu potenciálně vybudovaných protierozních opatření pomocí modelování v GIS. Budou zde navržena protierozní opatření charakteru organizačního, agrotechnického a technického. Tato opatření budou na závěr zhodnocena a porovnána.

4. Materiál

4.2 Zájmové povodí

Zájmové povodí se skládá ze sedmi povodí čtvrtého řádu, a to z: povodí Kepelského potoka s číslem hydrologického pořadí 1 – 08- 01 – 058, s plochou 12,96 km^2, s číslem hydrologického pořadí 1 – 08 – 01 – 062, s plochou 1,84 km^2 a s číslem hydrologického pořadí 1 – 08 – 01 – 060, s plochou 0,14 km^2 ; povodí Orlovské svodnice s číslem hydrologického pořadí 1 – 08 – 01 – 061, s plochou 4,77 km^2; povodí Volšovky s číslem hydrologického pořadí 1 – 08 – 01 – 063, s plochou 16,64 km^2; povodí Volšovky s číslem hydrologického pořadí 1 – 08 – 01 – 057, s plochou povodí 32,69 km^2; povodí Pařezského potoka s číslem hydrologického pořadí 1 – 08 – 01 – 059, s plochou 5,32 km^2. Celková plocha zájmového území činí 74,36 km^2 *(HEIS.VUV*)

Landuse zájmového povodí zhotovený ze získané vrstvy Corrine Landcover 2012 je v následující tabulce č. 2:

Využití půdy	Výměra (km^2)	Výměra (%)
Plochy umělé, nezemědělské zeleně	0,19	0,26
Plochy s křovinnou a travnatou vegetací	0,34	0,46
Obytné plochy	0,62	0,84

Orná půda	3,96	5,33
Rúznorodé zemědělské plochy	10,25	13,70
Pastviny	23,02	31
Lesy	36	48,41
celkem	74,36	100

Tab. 2: Landuse (CORRINE LANDCOVER 2012)

řeka Volšovka

Jde o šumavskou říčku, která pramení necelý kilometr severozápadně od Radkova v nadmořské výšce 914 m. Ústí zleva do Otavy u Sušice v nadmořské výšce 482 m. Délka toku je 16,4 km, průměrný průtok u ústí je 0,86 $m^2.s^{-1}$. Volšovka je vodohospodářsky významný tok.

Horní tok této malé a hezké říčky se nachází v CHKO Šumava. Vytéká z rašelinišť od Vysokého hřbetu (1078 m.n.m.). Teče k severovýchodu Svatoborskou vrchovinou. U Petrovic u Sušice se obrací na východ a tento směr udržuje až k ústí. Okolní krajina je poměrně hustě osídlená a plná menších lesních ploch (*ŠTEFÁČEK, 2008*)

klimatické poměry

Zájmové území spadá do klimatických oblastí MT3 a CH7.

MT3 - krátké léto, mírné až mírně chladné, suché až mírně suché, přechodné období normální až dlouhé, s mírným jarem a mírným podzimem, zima je normálně dlouhá, mírná až mírně chladná, suchá až mírně suchá s normálním až krátkým trváním sněhové pokrývky.

CH7 – velmi krátké až krátké léto, mírně chladné a vlhké, přechodné období je dlouhé, mírně chladné jaro a mírný podzim. Zima je dlouhá, mírná, mírně vlhká s dlouhou sněhovou pokrývkou (*QUITT, 1971*).

geologické poměry

Zájmové území spadá do hydrogeologického rajonu 6310 Krystalinikum v povodí Horní Vltavy a Úhlavy. Horniny Krystalinika se vyznačují nízkou puklinovou propustností, jenž je závislá především na charakteru zvětralin (*PODHRÁZSKÁ A UHLÍŘOVÁ, 2005*).

Dle geologického členění spadá zájmové povodí řeky Volšovky do Hercynského systému; subprovincie Šumavská soustava; provincie Česká vysočina; podcelku Svatoborská vrchovina a Šumavské pláně; okrsků Kochánovské pláně, Šumavská vrchovina, Velhartické vrchoviny a Vidhošťského hřbetu; oblasti Šumavská hornatina; celků Šumavské podhůří a Šumava.

Půdní poměry

Zastoupení jednotlivých BPEJ na řešených půdních blocích, půdních typů a hydrologických skupin (HSP) je součástí příloh.

5. Metody

5.1 Podklady k výpočtu erozní ohroženosti v prostředí ArcMap

Vrstva půdních bloků

Na základě vymezené rozvodnice byly staženy vrstvy z portálu veřejného registru půd podle dotčených katastrálních území a vyselektovány půdní bloky se standardní ornou půdou. Celkový počet řešených půdních bloků je 57.

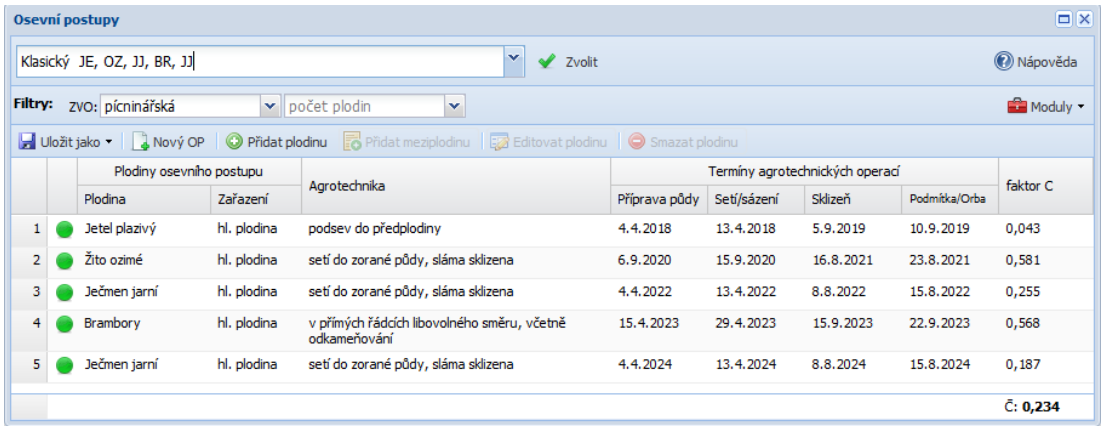
Tvorba vrstvy C faktorů

- Přiřazení hodnot C faktorů jednotlivým půdním blokům v atributové tabulce.
- Vytvoření rastru faktoru C pomocí ArcToolbox - conversion - feature to raster.

Pro určení hodnot faktorů C byly vybrány 4 modelové osevní postupy: klasický, klasický s použitím agrotechniky, osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin a osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin s použitím agrotechniky v internetové aplikaci Protierozní kalkulačka, která je dostupná na internetovém serveru www.kalkulacka.vumop.cz. Modelové osevní postupy byly sestaveny takto:

Klasický osevní postup

modelový osevní postup, který se skládal z 5 pěstovaných plodin bez použití speciální agrotechniky. Hodnota faktoru ochranného vlivu vegetace byla stanovena na 0,234. Zastoupení jednotlivých plodin a výsledné hodnoty C znázorňuje obrázek č. 7:



		Plodiny osevního postupu		Agrotechnika	Termíny agrotechnických operací				faktor C
		Plodina	Zařazení		Příprava půdy	Setí/sázení	Sklizeň	Podmítka/Orba	
1		Jetel plazivý	hl. plodina	podsev do předplodiny	4.4.2018	13.4.2018	5.9.2019	10.9.2019	0,043
2		Žito ozimé	hl. plodina	setí do zorané půdy, sláma sklizena	6.9.2020	15.9.2020	16.8.2021	23.8.2021	0,581
3		Ječmen jarní	hl. plodina	setí do zorané půdy, sláma sklizena	4.4.2022	13.4.2022	8.8.2022	15.8.2022	0,255
4		Brambory	hl. plodina	v přímých řádcích libovolného směru, včetně odkameňování	15.4.2023	29.4.2023	15.9.2023	22.9.2023	0,568
5		Ječmen jarní	hl. plodina	setí do zorané půdy, sláma sklizena	4.4.2024	13.4.2024	8.8.2024	15.8.2024	0,187
									Č: **0,234**

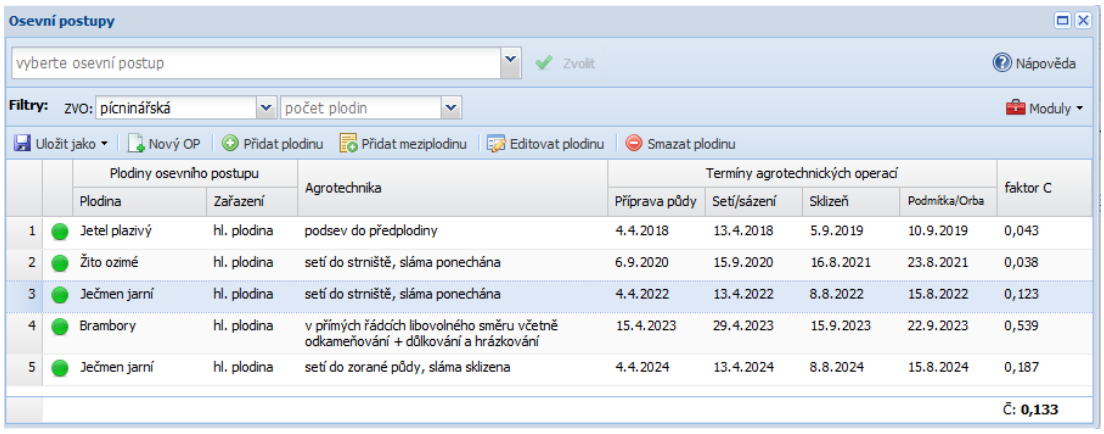
Obr. 7: Klasický osevní postup (C1) (WWW.KALKULACKA.VUMOP.CZ)

Klasický osevní postup s použitím agrotechniky

Zde byl použit modelový osevní postup, který se skládal ze stejných 5 pěstovaných plodin jako u klasického modelového osevního postupu s tím rozdílem, že u širokořádkové plodiny (brambor) bylo aplikováno hrázkování a důlkování a u obilnin bylo aplikováno setí do strniště s ponecháním slámy. Výsledná hodnota faktoru ochranného vlivu vegetace byla stanovena na 0,133.

JANEČEK A KOL., (2012) popisuje hrázkování a důlkování jako opatření omezující možnosti vzniku povrchového odtoku vytvořením akumulačních prostorů pro zachycení odtékající vody přímo na pozemku. Hrázkování se provádí speciálním strojem – hrázkovačem. Důlky se vytvářejí v meziřadí ve vzdálenosti 30-40 cm. Důlky omezují povrchový odtok v meziřadí a zvyšují infiltraci vody. Zpravidla se uvažuje, že lze na 1 ha vytvořit 28 000 důlků o objemu 2 l, což představuje možnost zadržení 56 $m^3.ha^{-1}$ vody.

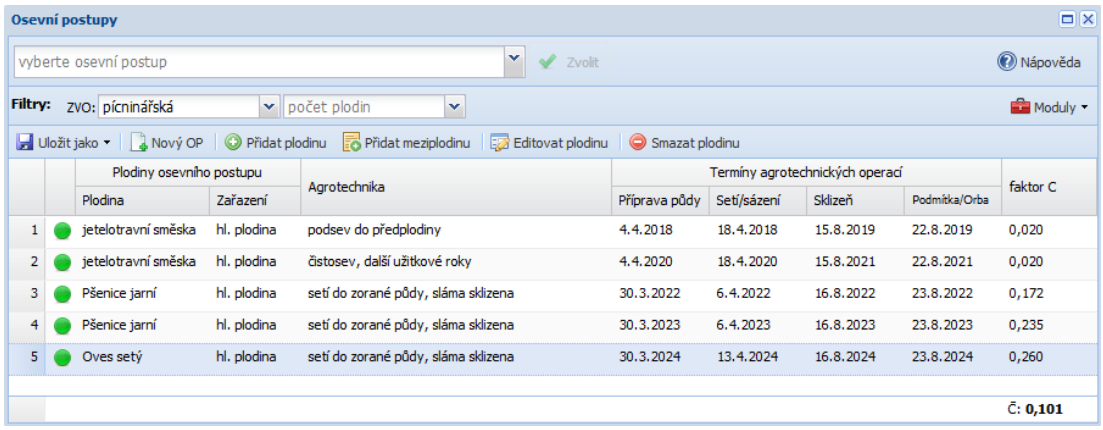
Dále se jedná o setí jarní obilniny po obilnině. Využije se zde podmítky provedené bezprostředně po sklizni předplodiny. Protierozní efekt se zvýší, jestliže se podmítka uskuteční některým z kypřičů, jež ponechávají většinu posklizňových zbytků na povrchu půdy. Dalším přínosem v tomto směru je využití podrcené a rozptýlené slámy předplodiny ponechané na povrchu půdy. Před podmítkou lze aplikovat minerální hnojiva. Zastoupení jednotlivých plodin a výsledné hodnoty C znázorňuje obrázek č.8:



Obr. 8: Klasický osevní postup s použitím agrotechniky (C2) (WWW.KALKULACKA.VUMOP.CZ)

Osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin

Zde byl použit modelový osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin pro danou výrobní oblast, který se skládal z pěti pěstovaných plodin. Hodnota ochranného vlivu vegetace byla stanovena na 0,101. Zastoupení jednotlivých plodin a výsledné hodnoty C znázorňuje obrázek č.9:

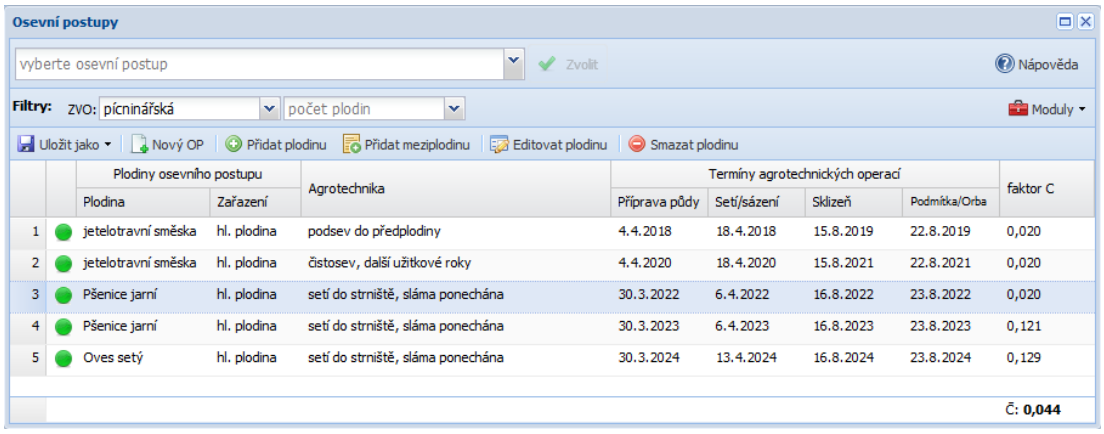


Obr. 9: Osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin (C3)

(WWW.KALKULACKA.VUMOP.CZ)

Osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin s využitím agrotechniky

Zde byl použit modelový protierozní osevní postup pro danou výrobní oblast, který se skládal z pěti pěstovaných plodin. Byla zde použita agrotechnika: setí do strniště a ponechání slámy viz. klasický modelový osevní postup s použitím agrotechniky. Hodnota ochranného vlivu vegetace byla stanovena na 0,044. Zastoupení jednotlivých plodin a výsledné hodnoty C znázorňuje obrázek č. 10:

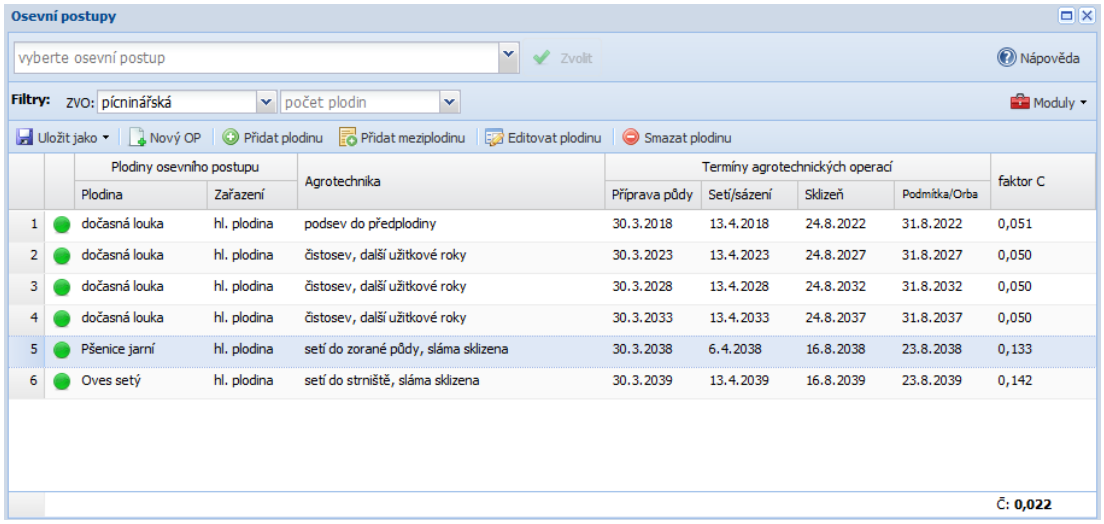


Obr. 10: Osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin s využitím agrotechniky (C4)

(WWW.KALKULACKA.VUMOP.CZ)

Osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin s vyšším zastoupením víceletých pícnin

U tohoto osevního postupu již více jak 50 % zastoupených plodin tvoří dočasné louky. Zastoupení jednotlivých plodin a výsledné hodnoty C znázorňuje obrázek č. 11:



Obr.11: Osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin s vyšším zastoupením víceletých pícnin (C5) (WWW.KALKULACKA.VUMOP.CZ)

Osevní postupy a správné střídání plodin jako integrující základna všech intenzifikačních opatření vytvářejí předpoklady pro účinné použití různých přímých a nepřímých opatření v boji proti plevelům. Proto je třeba dodržovat přesně zásady střídání plodin v osevních postupech tak, aby nenastávaly příznivé podmínky pro rozvoj plevelů (*STACH, 1995*).

Je zapotřebí vzít v úvahu možnost použití určitých herbicidů pro ochranu před plevely u osevního postupu s vyloučenými erozně nebezpečnými plodinami, kde se nachází třikrát za sebou obilniny.

Tvorba vrstvy K faktoru

- Přiřazení hodnoty K faktoru jednotlivým půdním blokům v atributové tabulce na základě hodnot hlavních půdních jednotek
- Vytvoření rastru K faktoru pomocí nástroje conversion – feature to raster.

Určení jednotlivých hodnot K faktoru podle hlavních půdních jednotek bylo provedeno podle tabulky č.3, která vypadá takto:

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

Tab. 3: Hodnota faktoru K podle HPJ (JANEČEK, 2012)

Tvorba topografického faktoru LS

Vrstva L faktoru

Pro tvorbu vrstvy L faktoru byl použit poskytnutý digitální model terénu společností CzechGlobe (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, veřejně výzkumná instituce). Tento model disponuje přesností pixelu 10 x 10 m. Z tohoto modelu byl zhotoven rastr směru odtokové linie za pomoci nástroje Spatial Analyst Tools - Hydrology -

Flow Direction. V dalším kroku byl použit výsledný rastr směru odtokové linie a z něj následně vytvořen rastr délky odtokové linie pomocí funkce Flow Lenght.

Vrstva S faktoru

Pro tvorbu vrstvy S faktoru byl použit získaný digitální model terénu s využitím nástroje Spatial Analyst Tools - Surface – Slope.

Vrstva LS faktoru

ŠINKA A KOL., (2013) uvádí, že společný vliv sklonu a délky svahu na velikost erozního odnosu vyjádřili Wischmeier, Smith (1965, 1978) topografickým faktorem LS, který představuje poměr ztráty půdy na jednotku plochy svahu ke ztrátě půdy na jednotkovém pozemku o délce 22,13 m a se sklonem 9 %. Hodnota topografického faktoru LS pro přímé svahy je definována vztahem:

$$LS = \sqrt{d} * (0{,}0138 + 0{,}0097 * I_s + 0{,}00138 * I_s^2)$$

kde: d – neporušená délka svahu (m)

I_s – sklon svahu (%)

Samotný výpočet byl uskutečněn prostřednictvím nástroje Spatial Analyst Tools – Map Algebra – Raster Calculator, kde pro odmocninu slouží funkce SquareRoot a pro mocninu funkce Power.

Tvorba vrstvy faktoru protierozních opatření P

Hodnoty faktoru účinnosti protierozních opatření-P dle (WISCHMEIERA a SMITHE, 1978) jsou uvedeny v tabulce pod textem. Jestliže na pozemku nejsou tato opatření uplatněna nebo nelze předpokládat, že by byly dodrženy uvedené podmínky maximálních délek a počtů pásů, nelze s účinností příslušných opatření vyjádřených hodnotami faktoru P počítat a hodnota faktoru P = 1 (*JANEČEK, 2012*).

LandUse (využití území)

Vrstva využití území (LandUse) byla zhotovena digitalizací připojeného wms (webové mapové služby) serveru Corrine Landcover 2012.

Digitální model terénu

Digitální model terénu byl poskytnut od společnosti Czechglobe.

BPEJ (bonitované půdně ekologické jednotky)

Vrstva BPEJ byla zhotovena digitalizací na základě podkladů na eKatalogu BPEJ Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy.

Rozvodnice

Rozvodnice byla vymezena z vrstevnic, vygenerovaných z digitálního modelu terénu.

5.2 Metoda SCS-CN (Soil conservations service- curve number)

Pro zhodnocení účinnosti technických protierozních opatření byly v této práci využity výpočty hydrologických charakteristik přímého odtoku, a to objem přímého odtoku OpH, kulminační průtok Qph a doba koncentrace Tc.

Pro modelizaci kulminačního průtoku byl použit program ERCN a pro technické znázornění příčných profilů protierozního příkopu a zatravněné dráhy údolnice program MicroStation.

5.2.1 Řešené charakteristiky

Přímý odtok

Metoda CN křivek určuje výšku přímého odtoku na základě předpokladu, že poměr výšky odtoku k výšce přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potencionálnímu objemu, který může být zadržen (*KOVÁŘ A KOL, 2013*). Přímý odtok dle *JANEČKA, (2012)* zahrnuje povrchový a hypodermický odtok. Podíly těchto odtoků jsou vyjádřeny CN křivkami.

Objem přímého odtoku

Metoda CN používá pro odhad objemu přímého odtoku podle *PASÁKA A KOL., (1984)* následující vztah:

$$O_{pH} = 1000 * H_o * F$$

$$H_o = \frac{(H_s - 0{,}2A)^2}{H_s + 0{,}8A}$$

kde:

Oph = objem přímého odtoku [m3]

F = plocha povodí [km^2]

Ho = výška přímého odtoku [mm]

Hs = výška srážky z přívalového deště [mm]

A = potencionální retence určovaná na základě čísla křivky (CN) podle

Vztahu:

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

Kulminační průtok

Metoda CN vychází z principu bezrozměrného jednotkového hydrogramu.

Pro výpočet kulminačního odtoku je použit následující vztah dle *JANEČKA, (2012):*

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

kde:

QpH = kulminační průtok [m3/s]

qpH = jednotkový kulminační průtok

P=plocha povodí
Ho = výška přímého odtoku [mm]
f= opravný koeficient pro rybníky a mokřady

Doba koncentrace

Doba koncentrace je součtem jednotlivých dob doběhu, jež definuje *JANEČEK, (2007)* jako čas, za který se přemístí voda z jednoho místa v povodí na jiné.

Doba koncentrace (Tc)= plošný povrchový odtok (Tta) + soustředěný odtok o malé hloubce (Ttb) + soustředěný odtok v otevřeném korytu (Ttc):

Tc =Tta +Ttb +Ttc[h]

Doba koncentrace je definována dle *JANEČKA, (2007)* jako čas odtoku z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu povodí do jeho uzávěrového profilu.

6. Výsledky

6.1 Výpočet erozní ohroženosti

V této kapitole byly spočítány hodnoty G všech dotčených půdních bloků a průměrná hodnota G při použití jednotlivých faktorů ochranného vlivu vegetace (C1, C2, C3, C4).

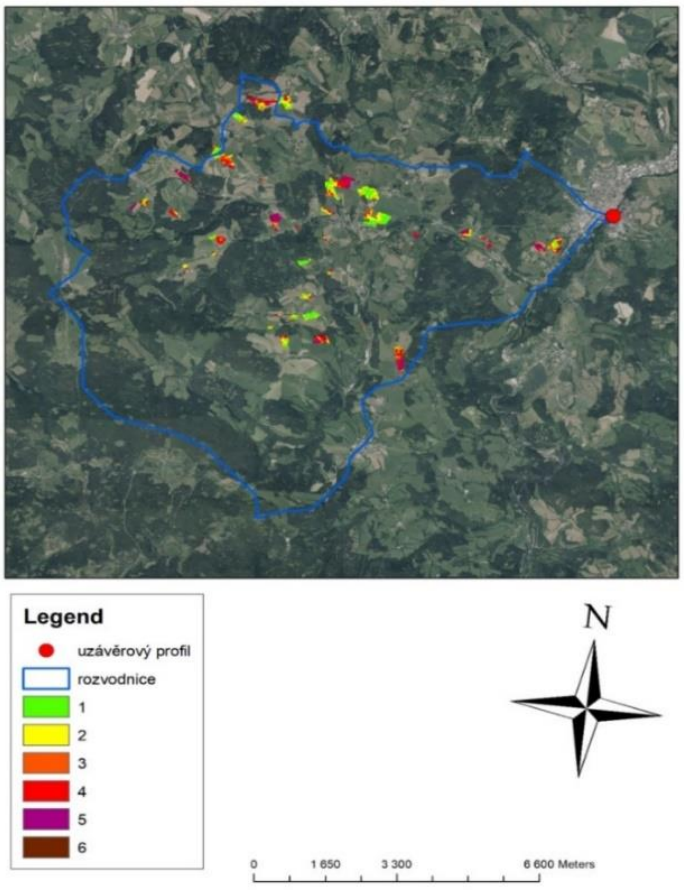
Průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy spočítáme pomocí nástroje Raster Calculator vztahem: G= 40 * rastr C faktoru * rastr K faktoru * rastr LS faktoru * rastr P faktoru.

6.1.1 Výsledky hodnot G půdních bloků pro jednotlivé C faktory

Výsledky hodnot G pro klasický modelový osevní postup (C1) jsou graficky znázorněny v obrázku č. 12. Rastrové výstupy na obrázku č. 12 – 15 byly reklasifikovány pomocí nástroje Reclassify (ArcToolbox) na hodnoty uvedené v tabulce č. 4:

hodnota	$t.ha^{-1}.rok^{-1}$
1	**0 – 4**
2	**4 – 8**
3	**8 – 10**
4	**10 – 20**
5	**20 – 40**
6	**40 -**

Tab. 4: reklasifikace hodnot G (VLASTNÍ PRÁCE)



Obr.12: Hodnoty G pro C1 (VLASTNÍ PRÁCE)

Průměrná hodnota G zájmového území činí 11,34 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$.

V tabulce č. 5 a 6 jsou znázorněny výsledky průměrné dlouhodobé ztráty půdy v $t.ha^{-1}.rok^{-1.}$ při použití faktoru C1:

Překročení limitu G	
V limitu G	

Číslo půdního bloku	Katastrální území	Hodnota G
1	Zvíkov	12,39
2	Zámyšl	28,5
3		28,5
4		7,9
5	Vlastějov	11,54
8		5,9
10		4,51
11		11,13
13	Trsice	21,28
14	Světlá u Hartmanic	11,87
15	Sušice nad Otavou	11,21
16	Suchá u Hlavňovic	13,16
17		18,66
19		6,34
21		7,53
22		13,21
23	Přestanice	18,4
24		6,83
26	Petrovice u Sušice	5,12
27		4,51
28		19,88
29		13,38
30		15,6
32		10,74
33		28,2
34		13,03
35		6,71
36	Milínov	5,13
37		11,47
38		8,7
40		8,06
42	Loučová	18,86
43		10,82
44	Jiřičná	8,3
46		16,34

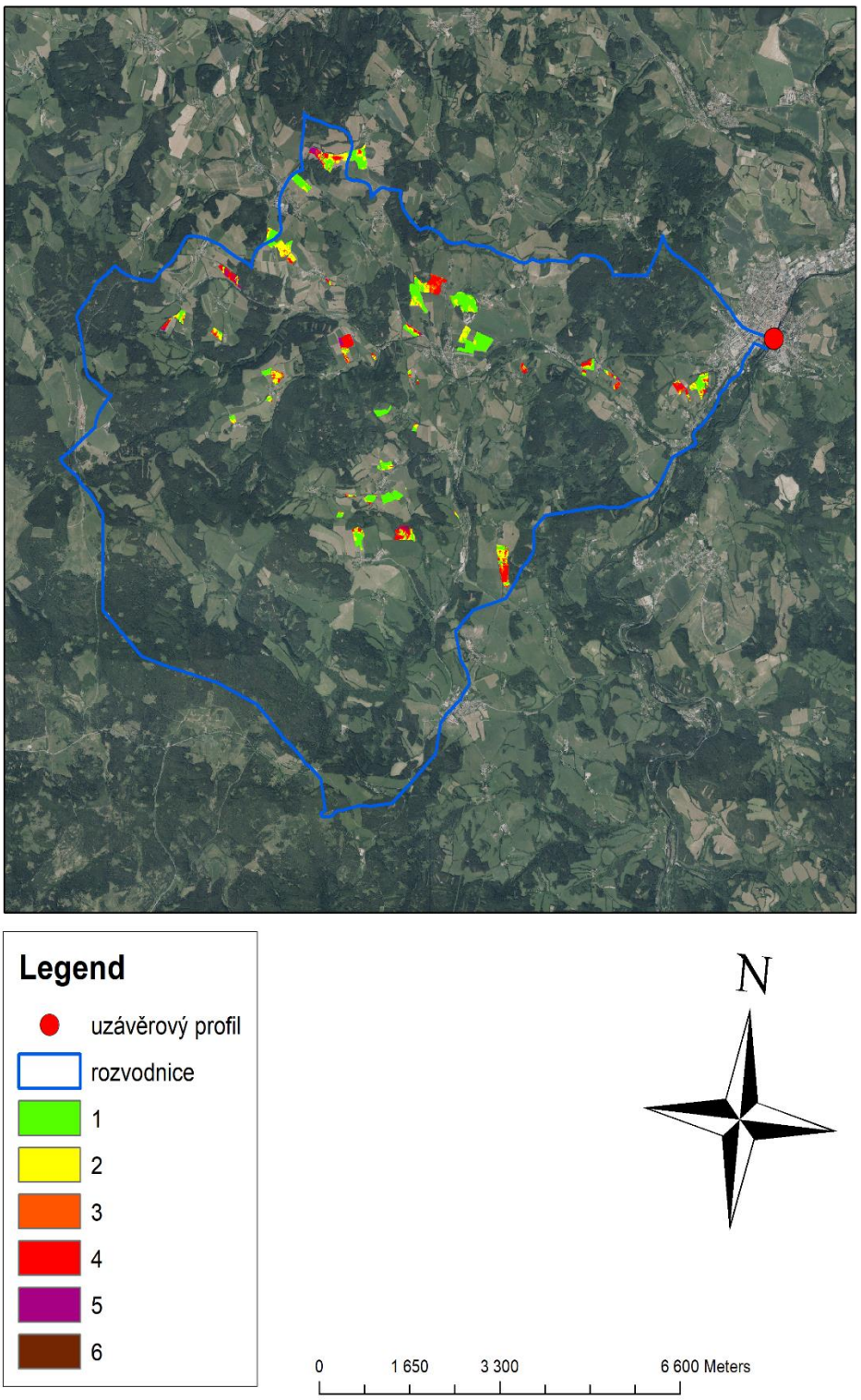
47	Javoří u Hartmanic	6,18
48	Chlum u Hartmanic	23,43
49	Dolní Staňkov	19,46
51		17,47
52		15,37
53		15,41
54	Dolejší Těšov	7,5
55	Červené Dvorce	8,17
56		22,47
57		18,59

Tab. 5: Půdní bloky překračující limit přípustného G, při použití C1 (VLASTNÍ PRÁCE)

Číslo Půdního bloku	Katastrální území	Hodnota G
6	Vlastějov	3,5
7		2,03
9		1,9
12		1,92
18	Rovná u Sušice	3,77
20		1,2
25	Posobice	3,97
31	Petrovice u Sušice	1,95
39	Milínov	3,39
41		3,26
45	Jiřičná	1,94
50	Dolní Staňkov	3,3

Tab. 6: Půdní bloky v limitu přípustného G při použití C1 (VLASTNÍ PRÁCE)

Výsledky hodnot G pro klasický modelový osevní postup s použitím agrotechniky (C2) jsou graficky znázorněny v obrázku č. 13.



Obr. 13: Hodnoty G pro C2 (VLASTNÍ PRÁCE)

Průměrná hodnota G zájmového území činí 6,44 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$.

V tabulce č. 7 a 8 jsou znázorněny výsledky průměrné dlouhodobé ztráty půdy v $t.ha^{-1}.rok^{-1.}$ při použití faktoru C2:

Překročení limitu G	
V limitu G	

Číslo půdního bloku	Katastrální území	Hodnota G
1	Zvíkov	7,04
2	Zámyšl	16,2
3		16,2
4		4,9
5	Vlastějov	6,56
11		6,33
13	Trsice	12,1
14	Světlá u Hartmanic	6,74
15	Sušice nad Otavou	6,37
16	Suchá u Hlavňovic	7,48
17		10,61
21	Rovná u Sušice	4,28
22		7,51
23	Přestanice	10,46
28	Petrovice u Sušice	11,3
29		7,6
30		8,86
32		6,10
33		16,03
34		7,40
37	Milínov	6,52
38		4,94
40		4,58
42	Loučová	10,72
43		6,15
44	Jiřičná	4,72
46		9,29
48	Clum u Hartmanic	13,32
49	Dolní Staňkov	11,06
51		9,93
52		8,74
53		8,76
54	Dolejší Těšov	4,26

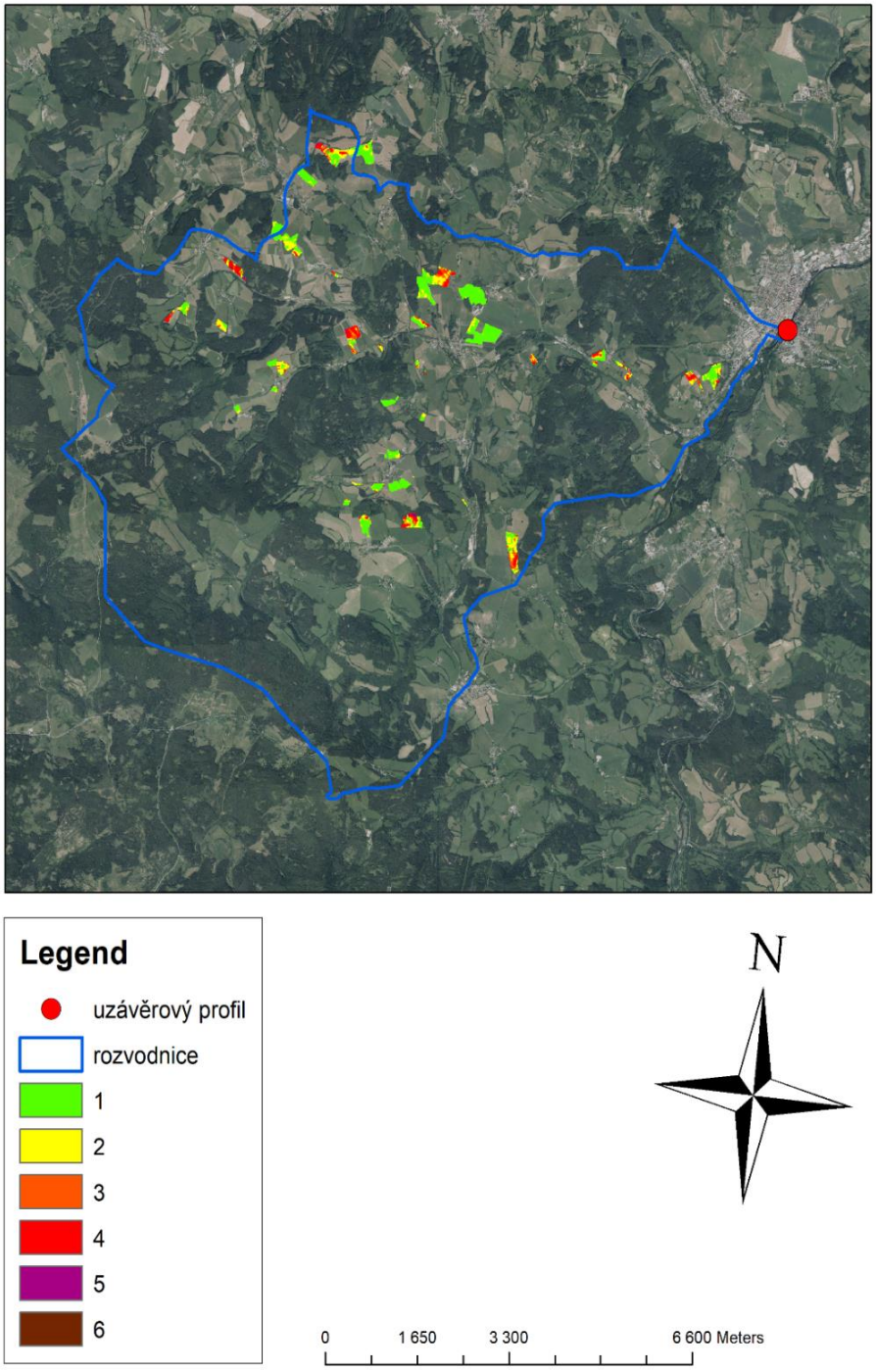
55	Červené Dvorce	4,64
56		12,77
57		10,57

Tab.7: Půdní bloky překračující limit přípustného G, při použití C2 (VLASTNÍ PRÁCE)

Číslo půdního bloku	Katastrální území	Hodnota G
6	Vlastějov	1,99
7		1,16
8		3,35
9		1,09
10		2,57
12		1,09
18	Rovná u Sušice	2,14
19		3,61
20		0,68
24	Přestanice	3,89
25	Posobice	2,26
26	Petrovice u Sušice	2,91
27		2,56
31		1,11
35		3,81
36	Milínov	2,91
39		1,92
41		1,85
45	Jiřičná	1,1
47	Javoří u Hartmanic	3,51
50	Dolní Staňkov	1,87

Tab.8: Půdní bloky v limitu přípustného G, při použití C2 (VLASTNÍ PRÁCE)

Výsledky hodnot G pro protierozní osevní postup (C3) jsou graficky znázorněny v obrázku č. 14.



Obr. 14: Hodnoty G pro C3 (VLASTNÍ PRÁCE)

Průměrná hodnota G zájmového území činí 4,89 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$.

V tabulce č. 9 a 10 jsou znázorněny výsledky průměrné dlouhodobé ztráty půdy v $t.ha^{-1}.rok^{-1.}$ při použití faktoru C3:

Překročení limitu G	
V limitu G	

Číslo půdního bloku	Katastrální území	Hodnota G
1	Zvíkov	5,35
2	Zámyšl	12,3
3		12,3
5	Vlastějov	4,98
11		4,8
13	Trsice	9,13
14	Světlá u Hartmanic	5,12
15	Sušice nad Otavou	4,84
16	Suchá u Hlavňovic	5,68
17		8,05
22	Rovná u Sušice	5,7
23	Přestanice	7,94
28	Petrovice u Sušice	8,58
29		5,77
30		6,73
32		4,64
33		12,17
34		5,62
37	Milínov	4,95
42	Loučová	8,14
43		4,67
46	Jiřičná	7,05
48	Chlum u Hartmanic	10,11
49	Dolní Staňkov	8,4
51		7,54
52		6,64
53		6,65
56	Červené Dvorce	9,7
57		8,02

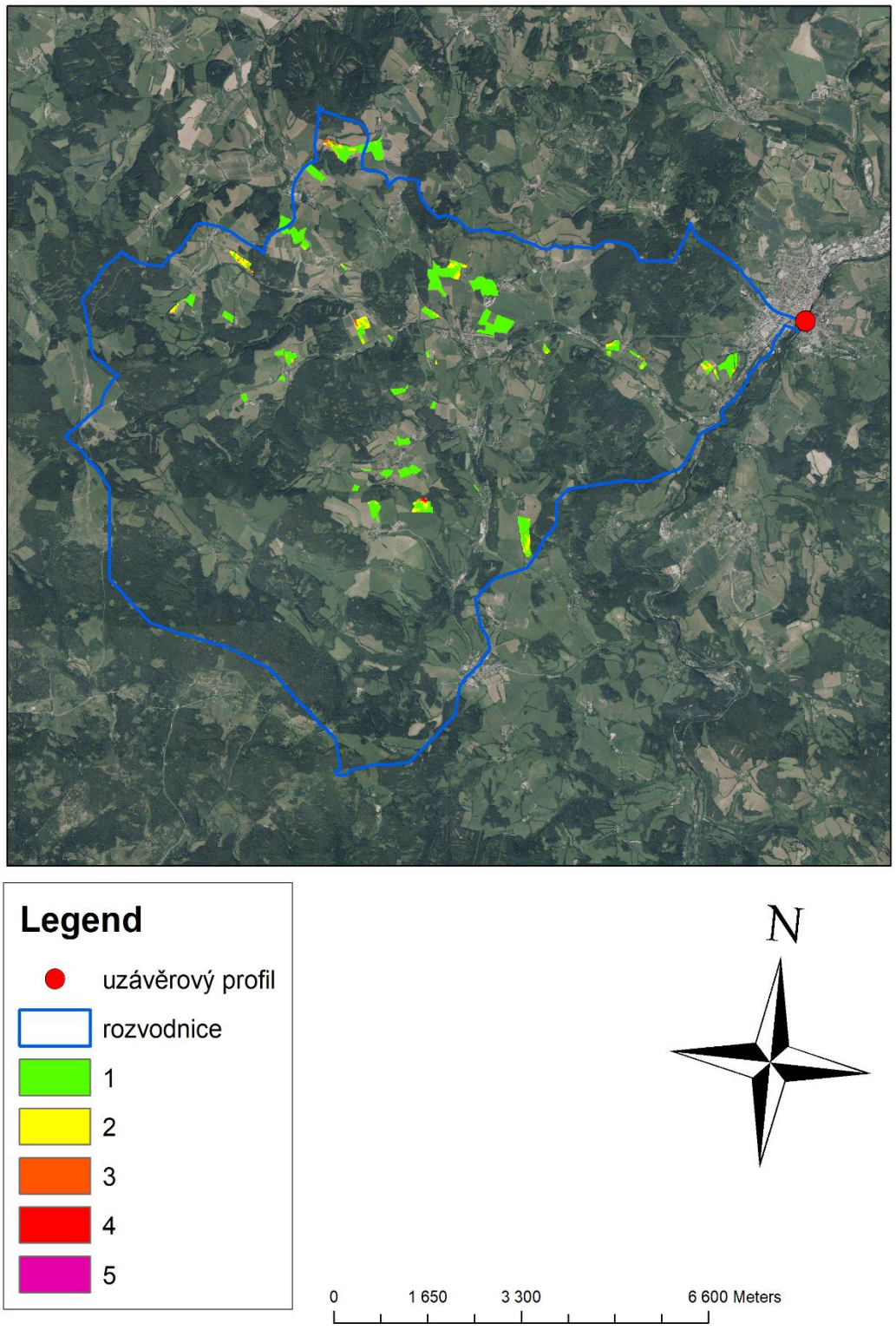
Tab.9: Půdní bloky překračující limit přípustného G, při použití C3 (VLASTNÍ PRÁCE)

Číslo půdního bloku	Katastrální území	Hodnota G
4	Zámyšl	3,41
6		1,51
7		0,88

8	Vlastějov	2,55
9		0,83
10		1,95
12		0,83
18	Rovná u Sušice	1,63
19		2,74
20		0,52
21		3,25
24	Přestanice	2,95
25	Posobice	1,71
26	Petrovice u Sušice	2,21
27		1,95
31		0,84
35		2,9
36	Milínov	2,21
38		3,75
39		1,46
40		3,48
41		1,4
44	Jiřičná	3,58
45		0,84
47	Javoří u Hartmanic	2,67
50	Dolní Staňkov	1,42
54	Dolejší Těšov	3,24
55	Červené Dvorce	3,52

Tab.10: Půdní bloky v limitu přípustného G, při použití C3 (VLASTNÍ PRÁCE)

Výsledky hodnot G pro protierozní osevní postup s použitím určité agrotechniky (C4) jsou graficky znázorněny v obrázku č. 15.



Obr. 15: Hodnota G pro C4 (VLASTNÍ PRÁCE)

Průměrná hodnota G zájmového území činí 2,13 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$.

V tabulce č.11 a 12 jsou znázorněny výsledky průměrné dlouhodobé ztráty půdy v $t.ha^{-1}.rok^{-1.}$ při použití faktoru C4:

Překročení limitu G	
V limitu G	

Číslo půdního bloku	Katastrální území	Hodnota G
2	Zámyšl	5,36
3		5,36
33	Petrovice u Sušice	5,3
48	Chlum u Hartmanic	4,4
56	Červené Dvorce	4,23

Tab.11: Půdní bloky překračující limit přípustného G, při použití C4 (VLASTNÍ PRÁCE)

Číslo Půdního bloku	Katastrální území	Hodnota G
1	Zvíkov	2,33
4	Zámyšl	1,49
5	Vlastějov	2,17
6		0,66
7		0,38
8		1,11
9		0,36
10		0,85
11		2,09
12		0,36
13	Trsice	3,98
14	Světlá u Hartmanic	2,32
15	Sušice nad Otavou	2,11
16	Suchá u Hlavňovic	2,48
17		3,51
18	Rovná u Sušice	0,71
19		1,19
20		0,23
21		1,42
22		2,48
23	Přestanice	3,46
24		1,28
25	Posobice	0,75
26		0,96
27		0,85

28	Petrovice u Sušice	3,73
29		2,52
30		2,93
31		0,37
32		2,02
34		2,45
35		1,26
36	Milínov	0,96
37		2,16
38		1,64
39		0,64
40		1,52
41		0,61
42	Loučová	3,54
43		2,03
44	Jiřičná	1,56
45		0,36
46		3,07
47	Javoří u Hartmanic	1,16
49	Dolní Staňkov	3,66
50		0,62
51		3,28
52		2,89
53		2,9
54	Dolejší Těšov	1,41
55	Červené Dvorce	1,54
57		3

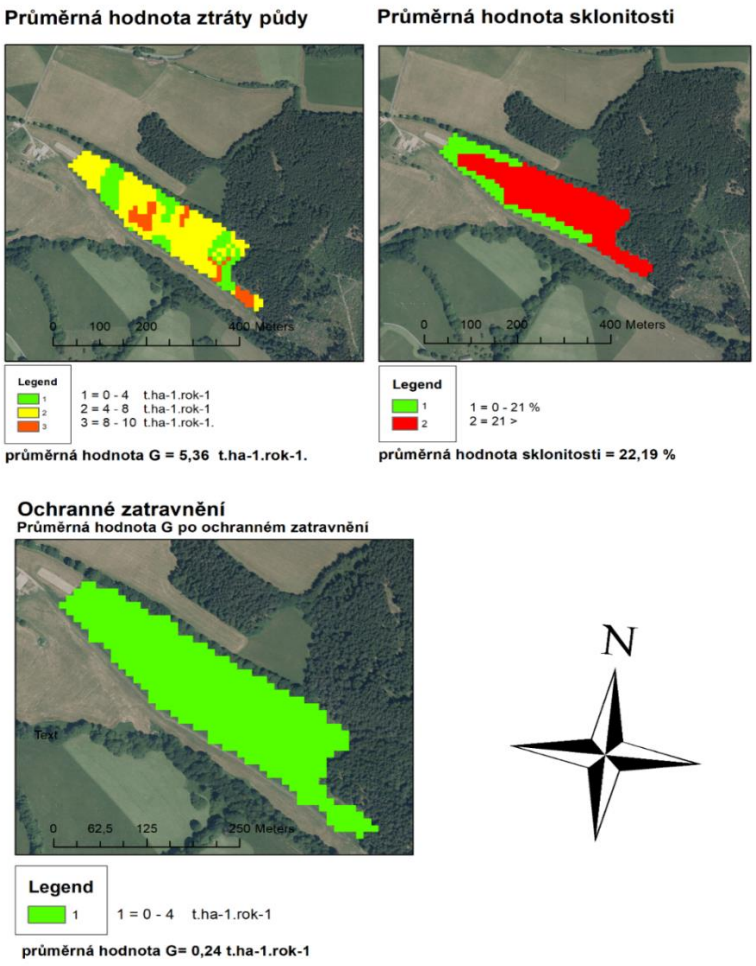
Tab.12: Půdní bloky v limitu přípustného G, při použití C4 (VLASTNÍ PRÁCE)

6.2 Individuální řešení určitých půdních bloků

Osevním postupem s vyloučením erozně nebezpečných plodin bylo dosaženo snížení průměrné hodnoty dlouhodobé ztráty půdy pod 4 $t.ha^{-1}.rok^{-1.}$ téměř u všech půdních bloků. Tato hodnota byla překročena pouze u 5 půdních bloků. K řešení těchto půdních bloků tak bylo přistupováno individuálním způsobem.

Půdní blok č.2

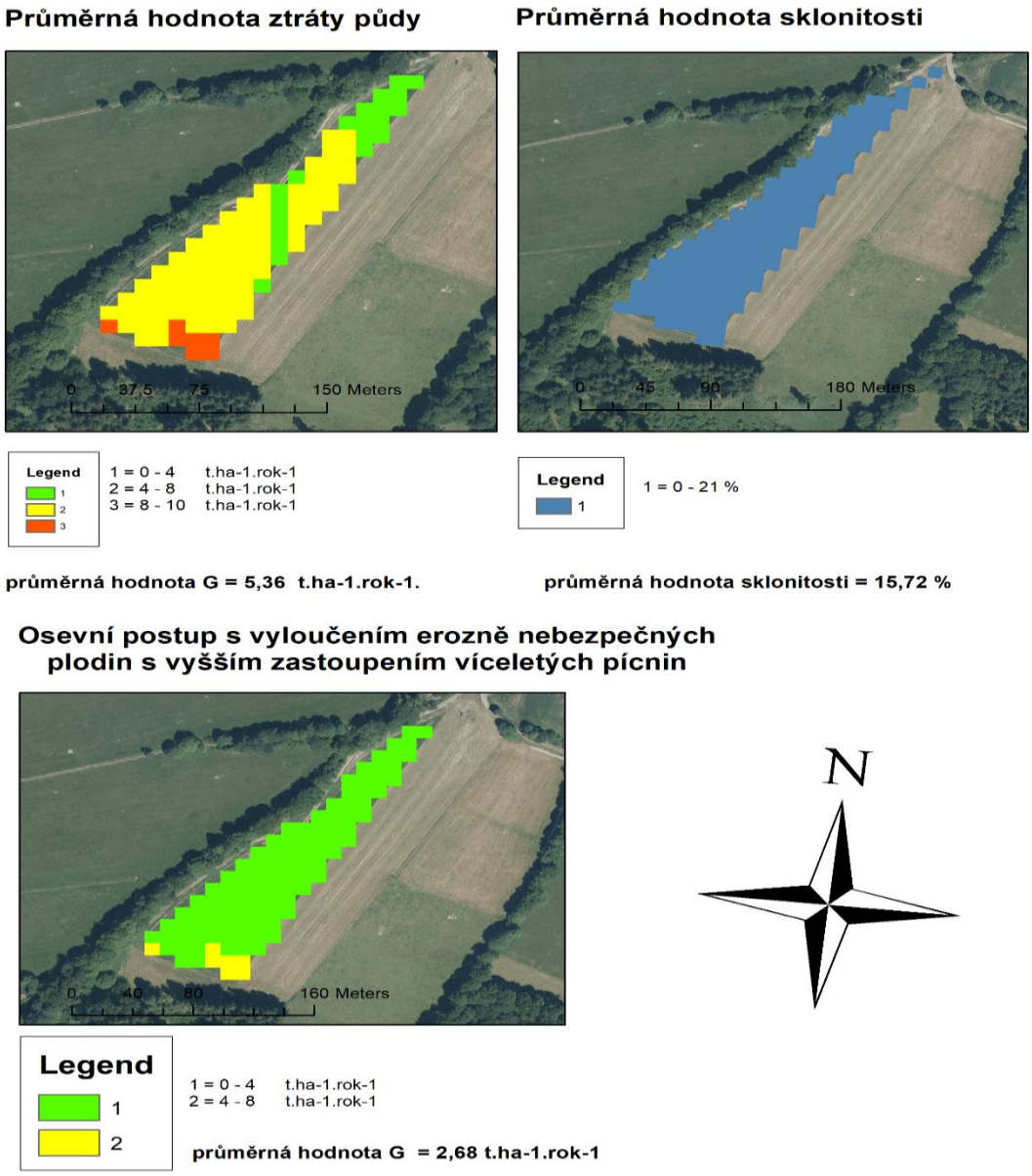
U půdního bloku č.2 bylo na základě průměrné hodnoty sklonitosti, která je 22,19 %, navrženo ochranné zatravnění celého bloku. Toto opatření bylo konzultováno s projektanty českobudějovické firmy Geopozem s.r.o., jenž se drží zásady zatravnění pozemku, jehož sklonitost převyšuje 21 %. Řešení je graficky zobrazeno na obrázku č. 16:



Obr. 16: Individuální řešení půdní bloku č.2 (VLASTNÍ PRÁCE)

Půdní blok č. 3

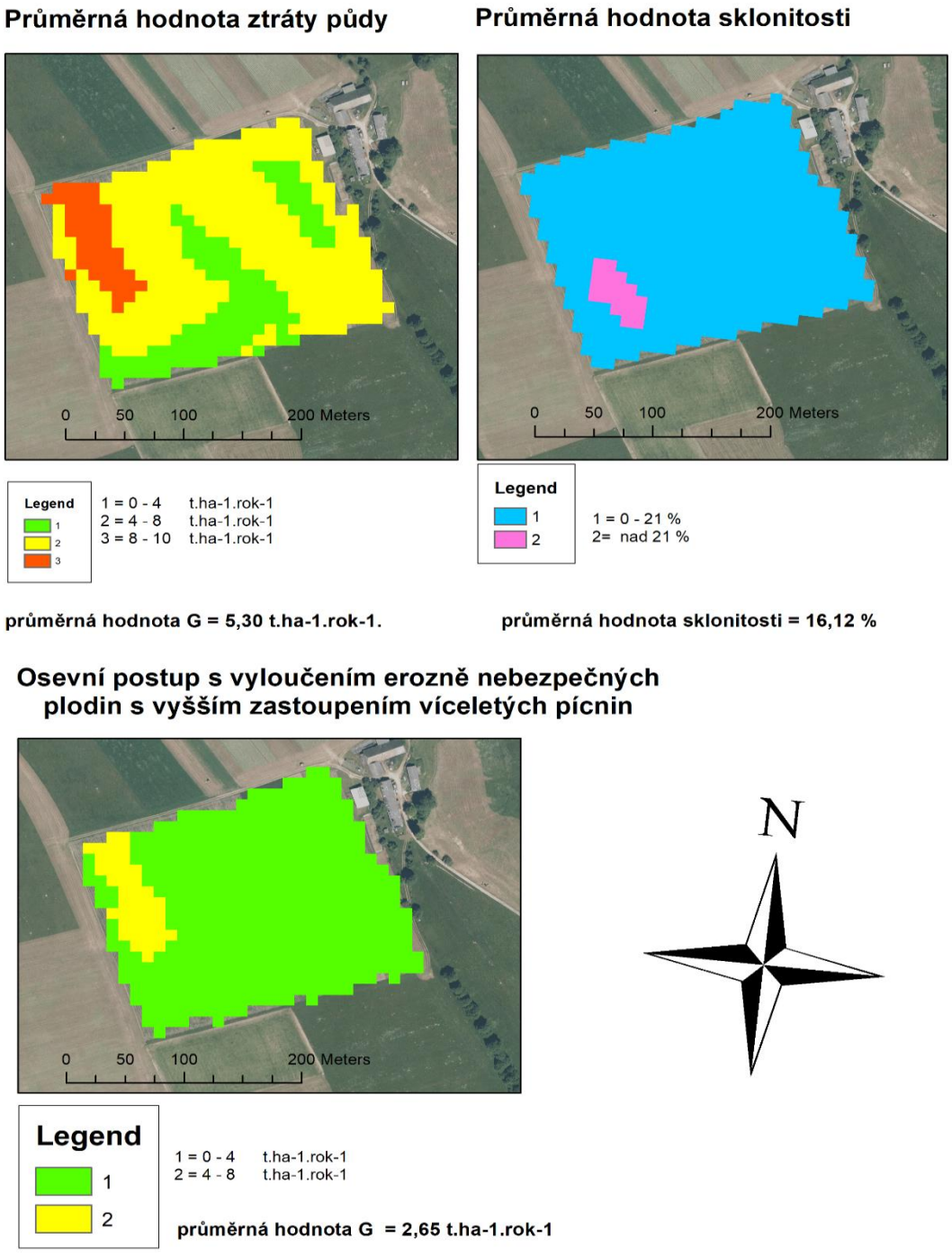
Průměrná hodnota sklonitosti zde nepřevýšila 21 %, tudíž ochranné zatravnění zde nebylo aplikováno, jako protierozní opatření byl použit osevní postup s vyšším zastoupením víceletých pícnin. Tento osevní postup snížil faktor C o 50 % a přitom bude i nadále pěstována pšenice jarní a oves setý. Ochranným zatravněním bychom se připravili o veškeré výnosy rostlinné produkce z tohoto půdního bloku. Tímto řešením budou zajištěny alespoň částečné výnosy. Řešení je graficky zobrazeno na obrázku č. 17:



Obr. 17: Individuální řešení půdního bloku č.3 (VLASTNÍ PRÁCE)

Půdní blok č.33

Zde byla použita protierozní opatření stejná jako u předchozí půdního bloku č.3. Opět byla snížena hodnota C faktoru o 50 % a byly zachovány částečné výnosy. Řešení je graficky zobrazeno na obrázku č. 18:



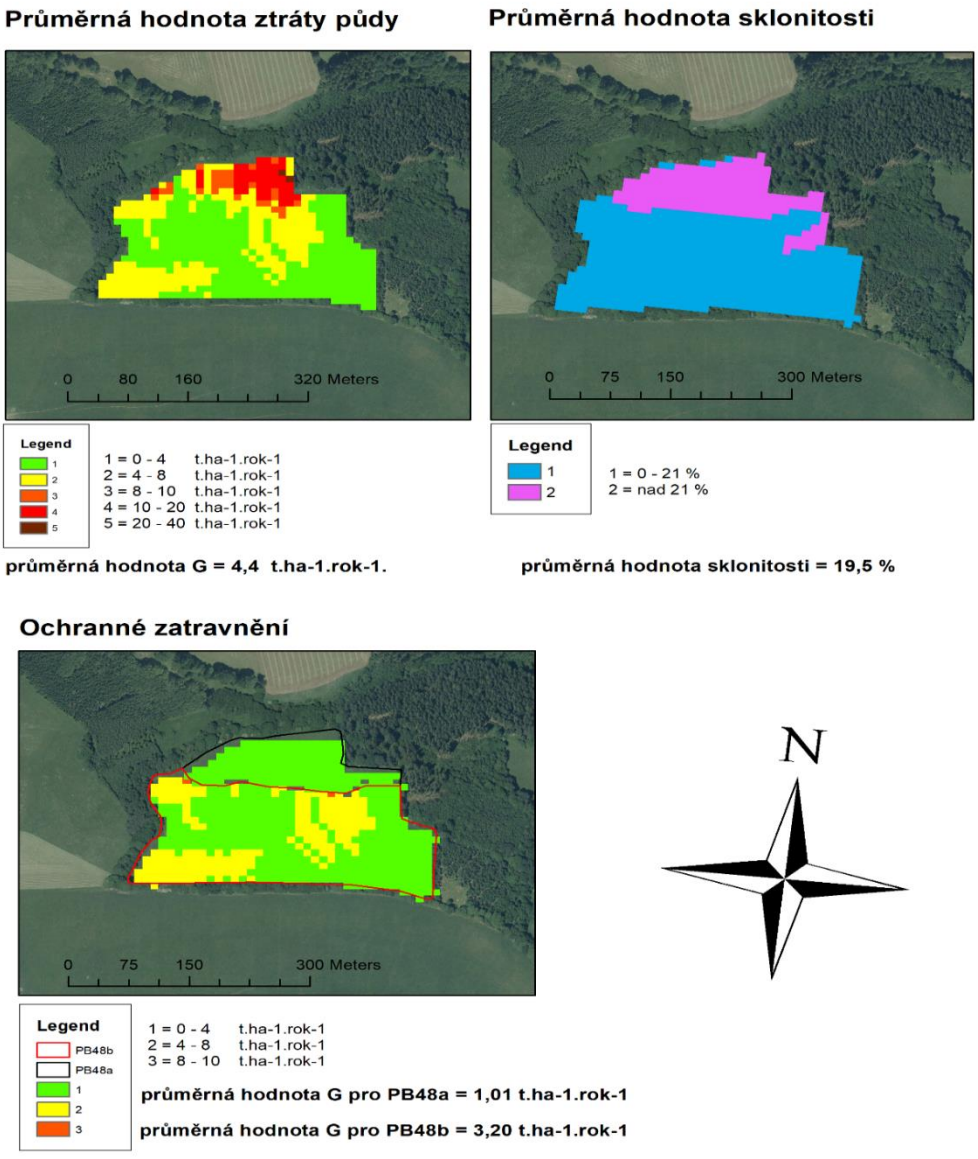
Obr. 18: Individuální řešení půdního bloku č.33 (VLASTNÍ PRÁCE)

Půdní blok č.48

U půdního bloku č. 48 byly navrženy 3 varianty řešení protierozní ochrany.

varianta č.1.

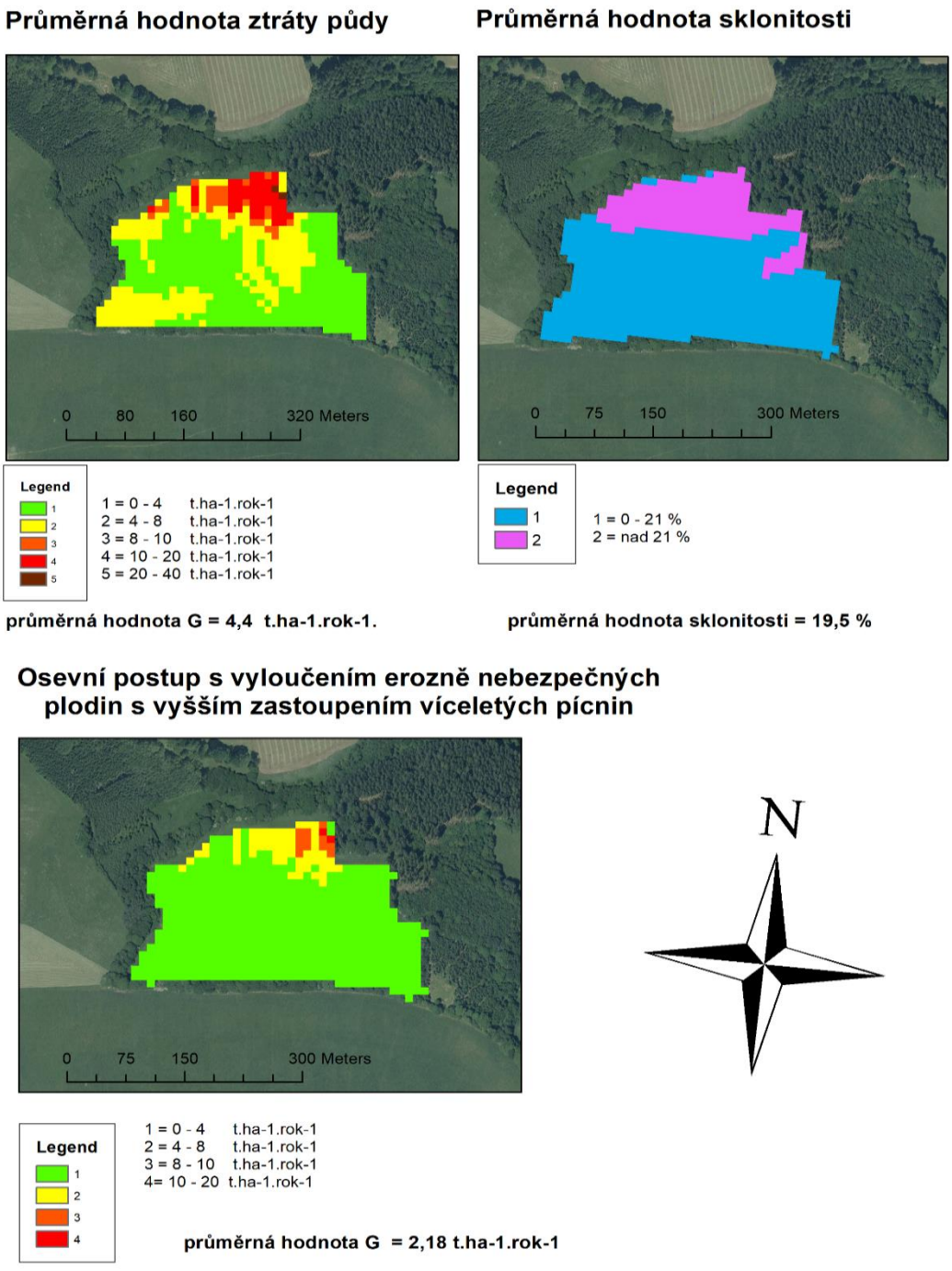
Tato varianta spočívala v rozdělení půdního bloku na půdní blok 48a, jehož průměrná sklonitost přesahovala 21 % a půdní blok 48b s průměrnou sklonitostí do 21 %. Na půdním bloku 48a bylo navrženo ochranné zatravnění, což znamenalo v rovnici USLE změnu hodnoty C faktoru na 0,005 a snížení hodnoty G na 1,01 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$. Na základě toho byla poté na půdním bloku 48b hodnota G přepočítána na výsledek 3,20 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$. Řešení je graficky zobrazeno na obrázku č. 19:



Obr. 19: Individuální řešení půdního bloku č.48, varianta 1 (VLASTNÍ PRÁCE)

varianta č.2

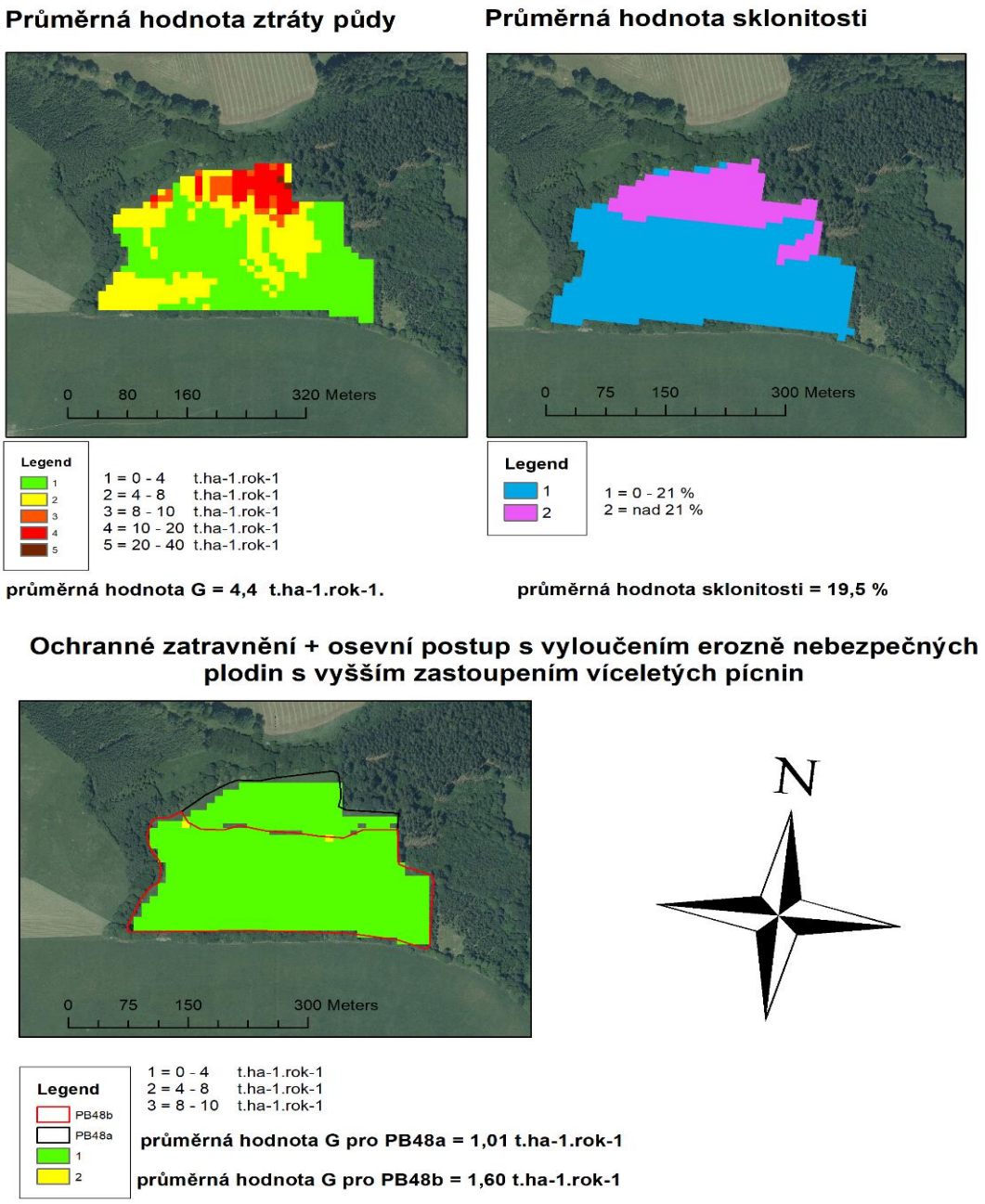
Zde byl pro změnu aplikován na celé ploše půdního bloku osevní postup s vyšším zastoupením víceletých pícnin. Hodnota C se v rovnici USLE změnila na 0,022 a hodnota G byla přepočítána na 2,18 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$. Řešení je graficky zobrazeno na obrázku č. 20:



Obr. 20: Individuální řešení půdního bloku č.48, varianta (VLASTNÍ PRÁCE)

Varianta č.3

Tato varianta je kombinací předchozích dvou variant. Znamená to tedy, že na půdním bloku 48a bylo použito ochranné zatravnění a na bloku 48b byl aplikován osevní postup s vyšším zastoupením víceletých pícnin. Hodnota faktoru C v USLE byla tedy 0,005 a 0,022. Výsledkem byly hodnoty G pro půdní blok 48a 1,01 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ a pro půdní blok 48b 1,60 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$. Řešení je graficky zobrazeno na obrázku č. 21:



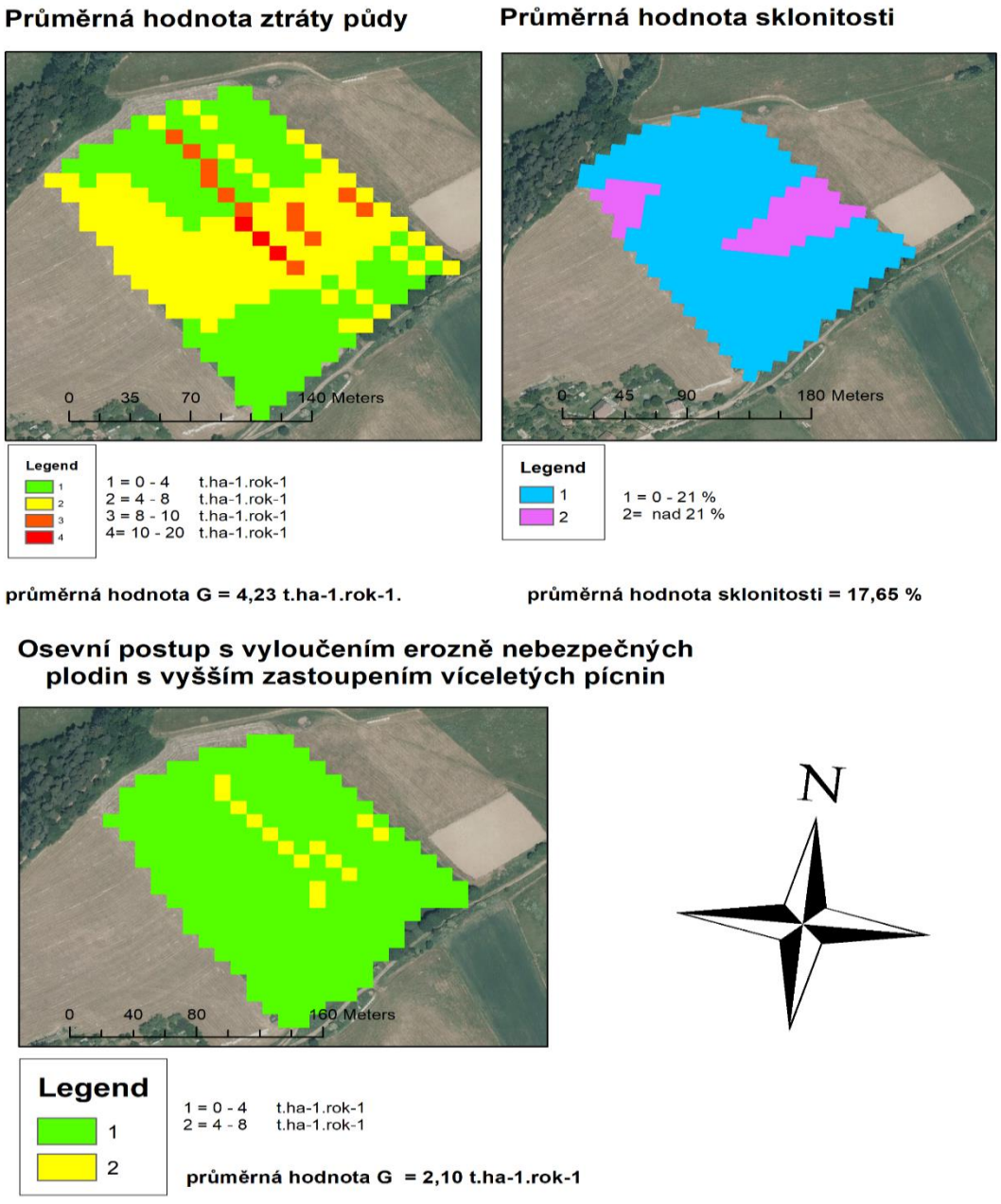
Obr. 21: Individuální řešení půdního bloku č.48, varianta 3 (VLASTNÍ PRÁCE)

Půdní blok č.56

U tohoto půdního bloku byly navrženy opět 3 varianty protierozní ochrany.

varianta č.1

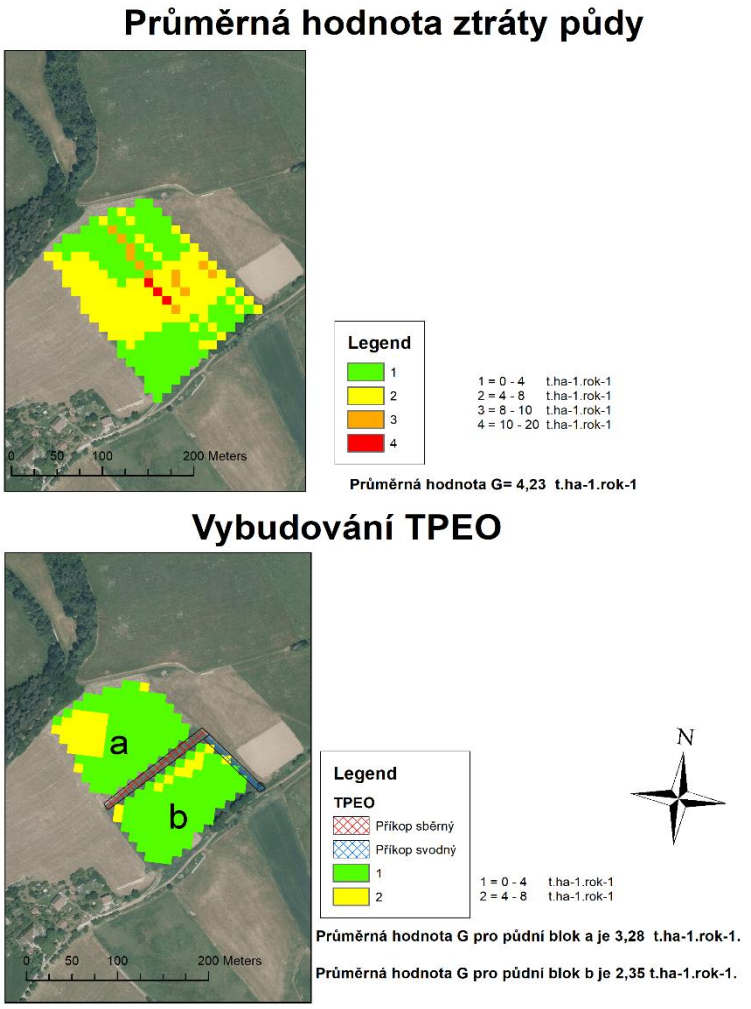
U této varianty byl použit osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin s vyšším zastoupením víceletých pícnin, neboť průměrná hodnota sklonitosti nepřesahovala 21 %. Tím se snížila hodnota C v rovnici USLE na 0,022 a výsledné G je 2,10 t.ha^{-1}.rok^{-1}. Řešení je graficky zobrazeno na obrázku č. 22:



Obr. 22: Individuální řešení půdního bloku č.56, varianta 1 (VLASTNÍ PRÁCE)

varianta č.2

U této varianty bylo vybudováno technické protierozní opatření v podobě sběrného a svodného příkopu. Na základě vybudování tohoto protierozního opatření byl přerušen povrchový odtok a půdní blok č. 56 rozdělen na půdní bloky 56a a 56b. Hodnoty G byly přepočítány u půdního bloku 56a na 3,28 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ a u půdního bloku 56b na 2,35 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$. Řešení je graficky zobrazeno na obrázku č. 23:



Obr. 23: Individuální řešení půdního bloku č.56, varianta 2 (VLASTNÍ PRÁCE)

Sběrný (odváděcí) příkop

Slouží k přerušení povrchového odtoku po ploše zemědělského pozemku a neškodnému odvedení vody buď do nejbližšího recipientu, nebo do příkopu svodného. Umístění sběrného příkopu je možno stanovit buď metodou USLE na základě stanovení přípustné nepřerušené délky pozemku na základě přípustné ztráty půdy, nebo z modelu SMODERP.

Svodný příkop

Tento příkop je třeba situovat do terénních sníženin tak, aby zajistil gravitační odvedení vody přiváděné sběrným příkopem. Jeho trasování se řídí morfologickými poměry, vlastnickými vztahy a specifickými poměry lokality.

Dimenzování protierozního příkopu

Protierozní příkopy odváděcí se dimenzují na kulminační průtok z návrhové srážky k místu, kde je příkop situován. Návrhový průtok se volí podle druhu ochrany – pro ochranu zemědělských pozemků v extravilánu na návrhovou srážku s dobou opakování 5 až 10 let pomocí Chézyho rovnice.

Navrhují se zpravidla lichoběžníkového profilu se šířkou ve dně 0,3 – 0,6 m, hloubkou 0,6 – 1,2 m a sklonem svahů 1 : 1,5 až 1 : 2.

Výpočet charakteristik povrchového odtoku

Návrhové průtoky pro dimenzování odváděcích příkopů je možno stanovit několika metodami, např. metodou čísel odtokových křivek CN, matematickými simulačními modelem SMODERP, nebo modelem EROSION 3D.

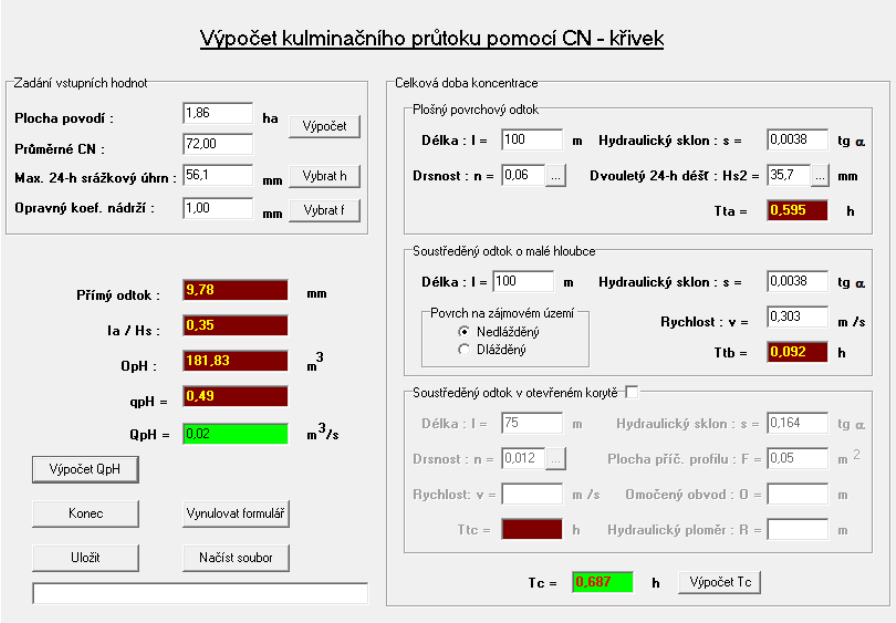
Stabilizace

Stabilizace dna a svahů se provede na základě porovnání vypočtených rychlostí průtoku vody a limitních hodnot rychlosti pro různé druhy opevnění. V úvahu přicházejí tyto způsoby opevnění: zatravnění, polovegetační tvárnice, betonové prvky. Účelné je stabilizovat i dno příkopu po určitých vzdálenostech stabilizačními prahy.

Stanovení kulminačního průtoku

Zde byla použita hodnota pro 10-ti letou srážku ze srážkoměrné stanice v Klatovech. Velikost subpovodí byla spočtena na 1,86 ha, což odpovídá výměře bloku 56a. Bylo tak učiněno kvůli tomu, že pozemek je lemován cestou s příkopem, tudíž voda z horních části je zde zadržena. Hodnota CN křivek byla stanovena na 72 dle hlavní skupiny půd získané na základě hlavní půdní jednotky podle metodiky (JANEČKA, 2012).

Výpočet kulminačního průtoku z návrhové srážky znázorňuje obrázek č.24:



Obr. 24: výpočet kulminačního průtoku (VLASTNÍ PRÁCE)

Hodnota kulminačního průtoku je **0,02m^3.s^{-1}.**

Parametry navrženého protierozního příkopu

Koryto protierozního příkopu bude ve tvaru lichoběžníku s parametry:

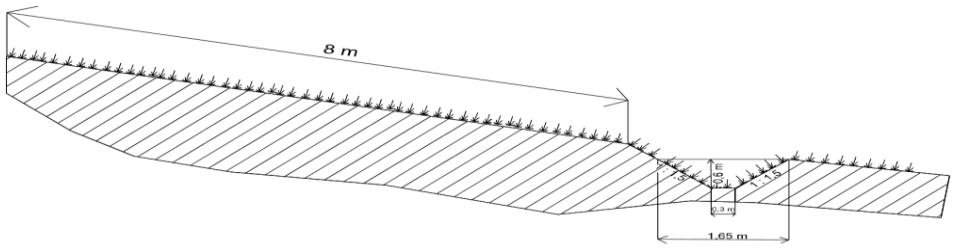
B = 1,65 m

H = 0,6 m

Sklony svahů = 1: 1,5

b = 0,3

Příčný profil protierozního příkopu je zobrazen na obr. 25:



Obr. 25: Příčný profil protierozního příkopu (VLASTNÍ PRÁCE)

Výpočet průtoku navrženého příkopu:

Jako stabilizace dna a svahů bylo použito zatravnění.

J = 0,4/140= 0,0029 $c = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} = 3{,}389$

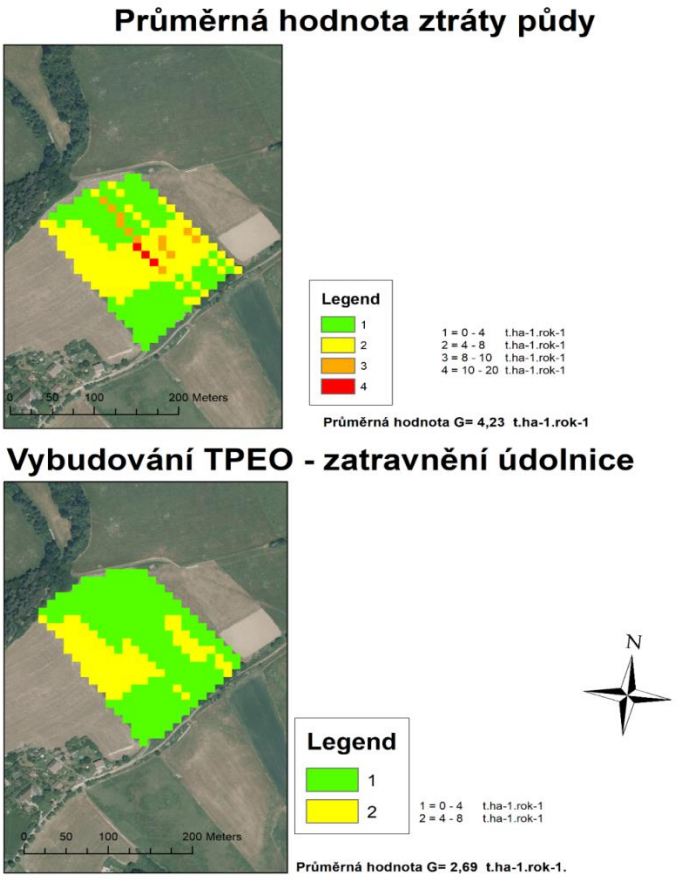
$O = b + 2h*\sqrt{1+m^2} = 2{,}46$ m $v = c * \sqrt{R * J} = 0{,}098$ m/s

$S = h*(b+m*h) = 0{,}72 m^2$ Q = s * v = **0,071 $m^3.s^{-1}$**

Z těchto výsledků vyplývá, že navržený příkop bez problémů pojme množství vody z návrhové srážky.

varianta č.3

Třetí variantou bylo technické protierozní opatření v podobě zatravnění údolnice. Zatravněním údolnice došlo ke snížení G v místech největší koncentrace povrchového odtoku. Zatravněný pás měl v rovnici USLE hodnotu C 0,005 a zbytku plochy půdního bloku zůstala hodnota C nezměněna. Výsledné G bylo přepočítáno na hodnotu 2,69 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$. Řešení je graficky zobrazeno na obrázku č. 26:



Obr. 26: Individuální řešení půdního bloku č.56, varianta 3 (VLASTNÍ PRÁCE)

Dráhy soustředěného odtoku údolnice vznikají v důsledku morfologické rozmanitosti krajiny v době přívalových dešťů nebo jarního tání. Proto je zapotřebí tyto místa upravit tak, aby jejich příčný profil umožnil neškodné odvedení vody z povrchu. Při realizaci zatravnění údolnic není nutné provádět nějaké rozsáhlé zemní práce, aby byl dosažen optimální parabolický příčný profil. Na zatravnění se používají výběžkaté trávy, jež tvoří trvalý drn. Údržba spočívá v sečení alespoň dvakrát ročně na výšku cca 10 cm a odstraňování škod vzniklých při provádění agrotechnických opatření.

K identifikaci drah soustředěného odtoku lze využít hydrologických extenzí GIS. Získané analýzy jsou upřesněny terénním průzkumem zpravidla po výskytu přívalové srážky či po náhlém tání sněhu. Kapacita přírodních profilů je většinou vyhovující, pouze je třeba definovat rozsah zatravnění. Potřebná šířka zatravnění údolnice B (m) se stanoví na základě znalosti střední profilové rychlosti v ($m.s^{-1}$), návrhového kulminačního průtoku Q_m ($m^3.s^{-1}$), podélného sklonu údolnice (%) a hloubky vody ve středu údolnice h_m (m). Nejvhodnější je parabolový profil s malou hloubkou. Jedná se o tvar nejvíce odpovídající přírodně vymodelovaným vodním cestám.

Stanovení kulminačního průtoku

Zde byla použita hodnota pro 10-ti letou srážku ze srážkoměrné stanice v Klatovech. Hodnota CN křivek byla stanovena na 72 dle hlavní skupiny půd získané na základě hlavní půdní jednotky podle metodiky (JANEČKA, 2012).

Výpočet kulminačního průtoku z návrhové srážky znázorňuje obrázek č.24, který je uveden výše.

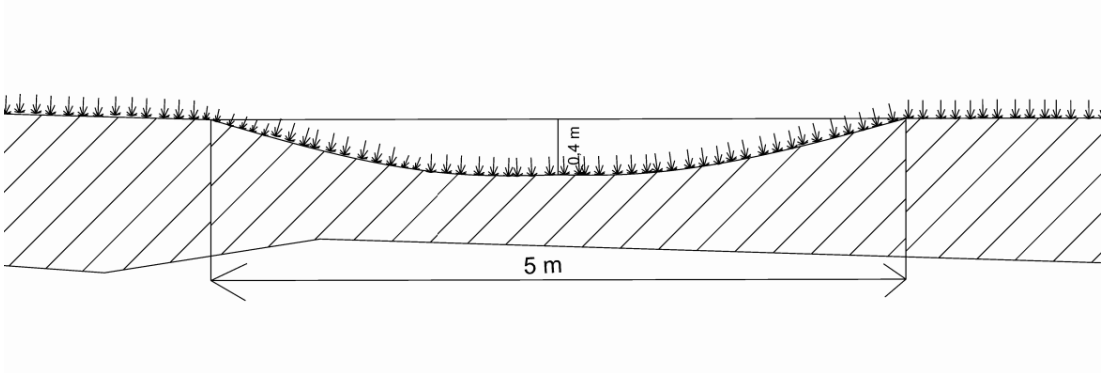
Hodnota kulminačního průtoku je **$0,02 m^3*s^{-1}$.**

Parametry navrženého parabolického koryta zatravněné údolnice:

B= 5 m

h= 0,4 m

Příčný profil navrženého parabolického koryta je znázorněn na obr. č. 27:



Obr. 27: Příčný profil zatravněné údolnice (VLASTNÍ PRÁCE)

S = 2/3*B*h= 1,33 m^2 J = 0,0029

$y_s = \frac{S}{B}$ = 0,266 v = c*$\sqrt{R * J}$ = 3,33 *0,028= 0,092 $m*s^{-1}$

c = $\frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}$ = 4,167 * 0,8 = 3,33 Q = s*v= 1,33 * 0,092= **0,122 $m^3.s^{-1}$**

6.3 Posouzení vlivu protierozních opatření

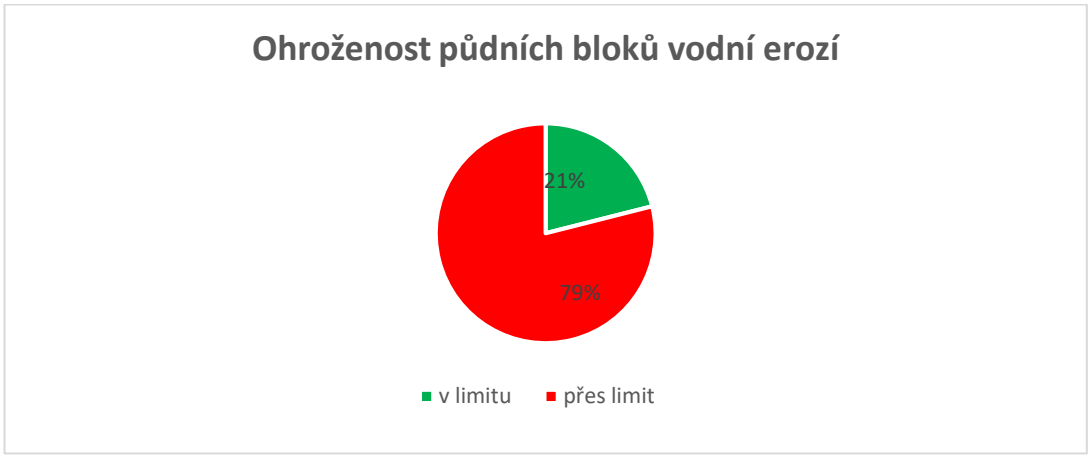
V této kapitole byly navzájem porovnány účinky jednotlivých protierozních opatření na základě hodnot průměrné roční ztráty půdy za rok. Výsledky G půdních bloků při aplikování hodnot ochranného vlivu vegetace C1, C2, C3, C4 znázorňuje tabulka č.13:

Číslo půdního bloku	C1	C2	C3	C4	G1	G2	G3	G4
1	**0,234**	**0,133**	**0,101**	**0,044**	12,39	7,04	5,35	2,33
2					28,5	16,2	12,3	5,36
3					28,5	16,2	12,3	5,36
4					7,9	4,9	3,41	1,49
5					11,54	6,56	4,98	2,17
6					3,5	1,99	1,51	0,66
7					2,03	1,16	0,88	0,38
8					5,9	3,35	2,55	1,11
9					1,9	1,09	0,83	0,36
10					4,51	2,57	1,95	0,85
11					11,13	6,33	4,8	2,09

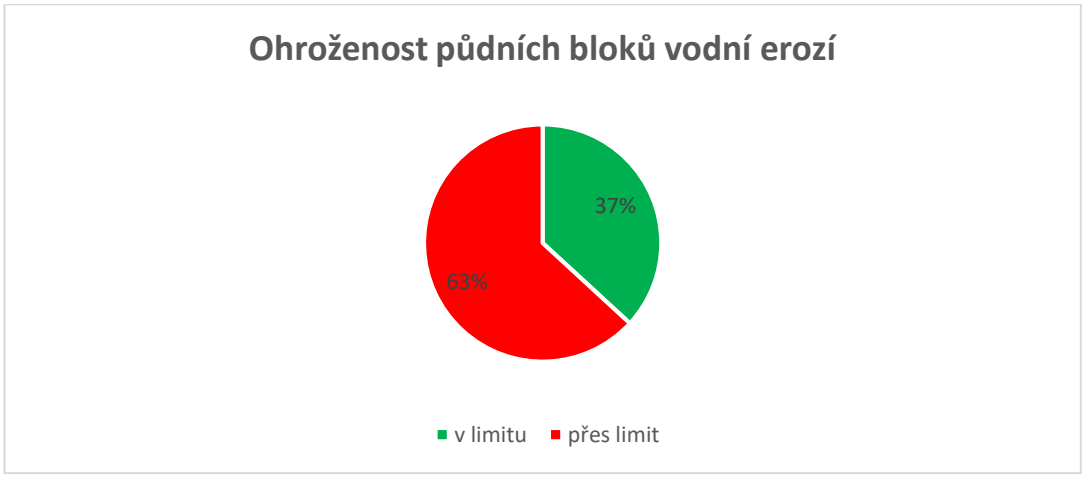
12					1,92	1,09	0,83	0,36
13					21,28	12,1	9,13	3,98
14					11,87	6,74	5,12	2,32
15					11,21	6,37	4,84	2,11
16					13,16	7,48	5,68	2,48
17					18,66	10,61	8,05	3,51
18					3,77	2,14	1,63	0,71
19					6,34	3,61	2,74	1,19
20					1,2	0,68	0,52	0,23
21					7,53	4,28	3,25	1,42
22					13,21	7,51	5,7	2,48
23					18,4	10,46	7,94	3,46
24					6,83	3,89	2,95	1,28
25					3,97	2,26	1,71	0,75
26					5,12	2,91	2,21	0,96
27					4,51	2,56	1,95	0,85
28					19,88	11,3	8,58	3,73
29					13,38	7,6	5,77	2,52
30					15,6	8,86	6,73	2,93
31					1,95	1,11	0,84	0,37
32					10,74	6,10	4,64	2,02
33					28,2	16,03	12,17	5,3
34					13,03	7,40	5,62	2,45
35					6,71	3,81	2,9	1,26
36					5,13	2,91	2,21	0,96
37					11,47	6,52	4,95	2,16
38					8,7	4,94	3,75	1,64
39					3,39	1,92	1,46	0,64
40					8,06	4,58	3,48	1,52
41					3,26	1,85	1,4	0,61
42					18,86	10,72	8,14	3,54
43					10,82	6,15	4,67	2,03
44					8,3	4,72	3,58	1,56
45					1,94	1,1	0,84	0,36
46					16,34	9,29	7,05	3,07
47	**0,234**	**0,133**	**0,101**	**0,044**	6,18	3,51	2,67	1,16
48					23,43	13,32	10,11	4,4
49					19,46	11,06	8,4	3,66
50					3,3	1,87	1,42	0,62
51					17,47	9,93	7,54	3,28
52					15,37	8,74	6,64	2,89
53					15,41	8,76	6,65	2,9
54					7,5	4,26	3,24	1,41
55					8,17	4,64	3,52	1,54
56					22,47	12,77	9,7	4,23
57					18,59	10,57	8,02	3

Tab.13: Posouzení vlivu protierozních opatření (C1 – C4) (VLASTNÍ PRÁCE)

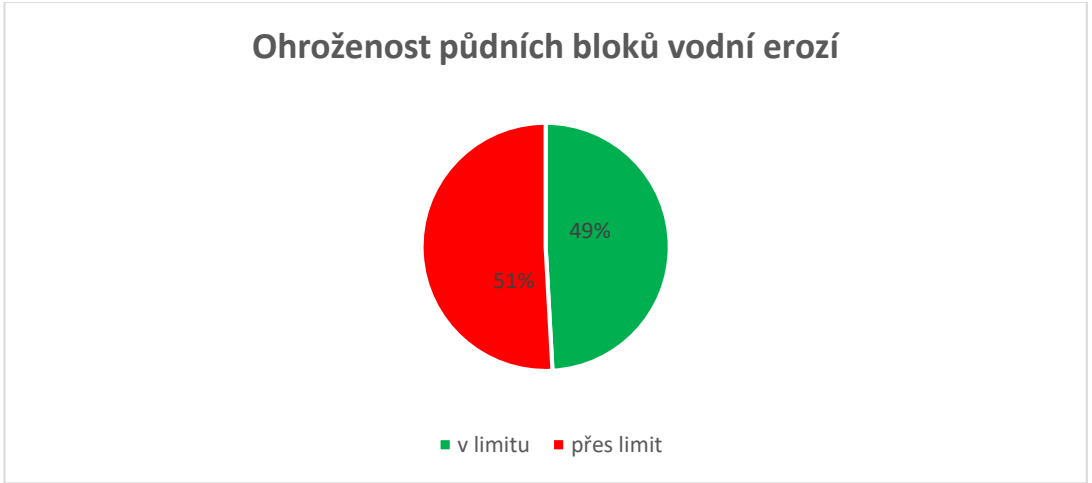
Procentuální vyjádření výsledků ohroženosti půdních bloků vodní erozí znázorňují grafy č.1-4:



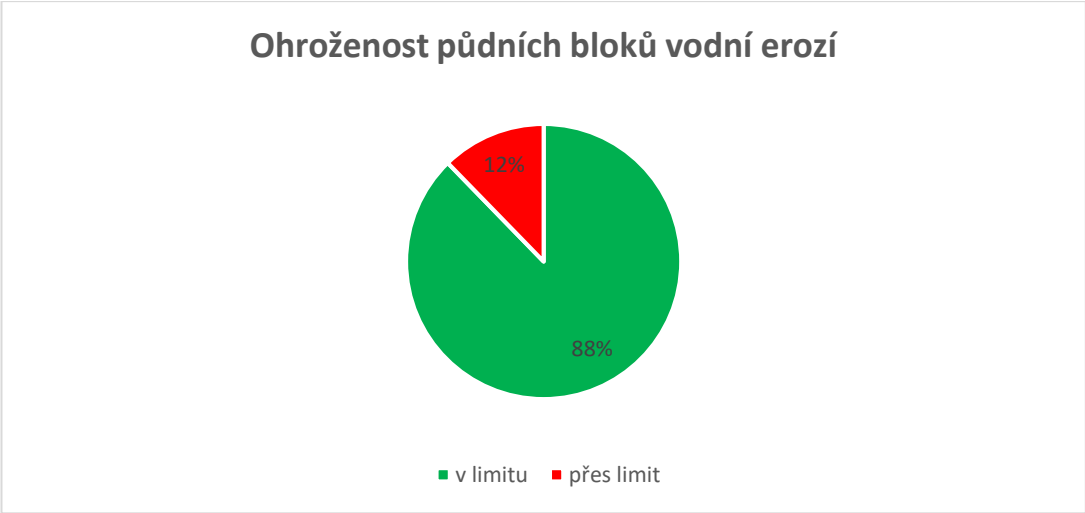
Graf č.1: Ohroženost půdních bloků při C1 (VLASTNÍ PRÁCE)



Graf č.2: Ohroženost půdních bloků při C2 (VLASTNÍ PRÁCE)

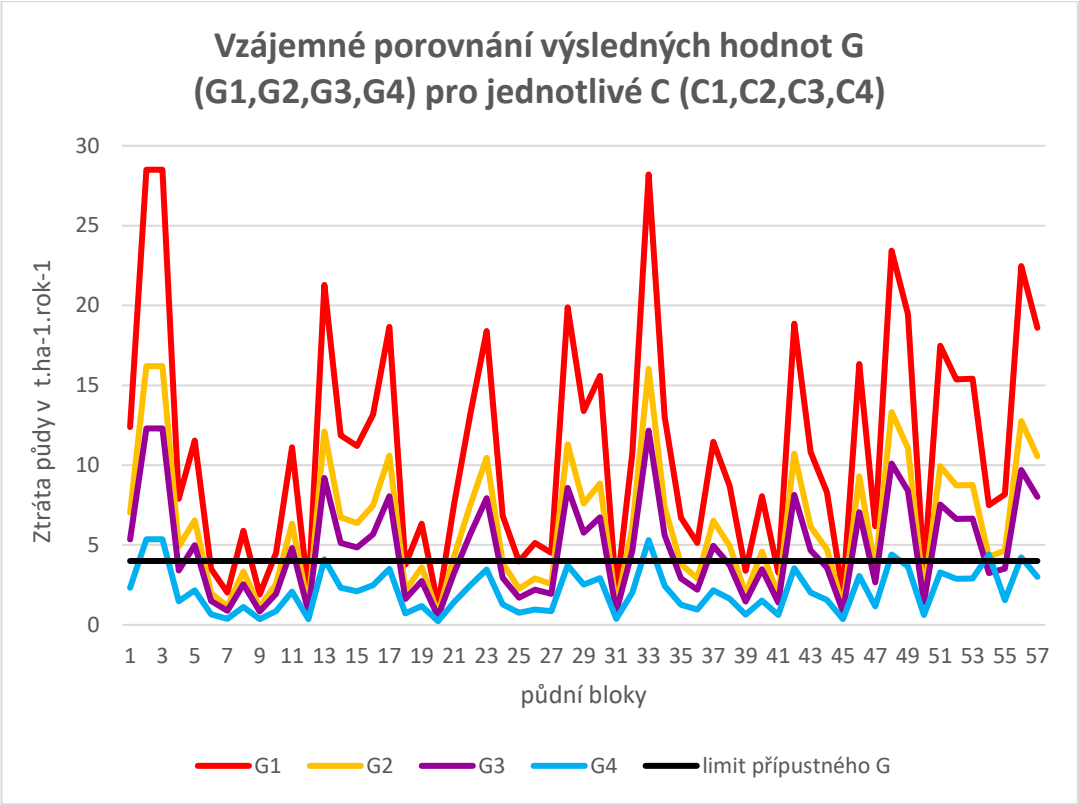


Graf č.3: Ohroženost půdních bloků při C3 (VLASTNÍ PRÁCE)



Graf č.4: Ohroženost půdních bloků při C4 (VLASTNÍ PRÁCE)

Graf č. 5 znázorňuje vzájemné porovnání výsledných hodnot G při použití jednotlivých C faktorů:



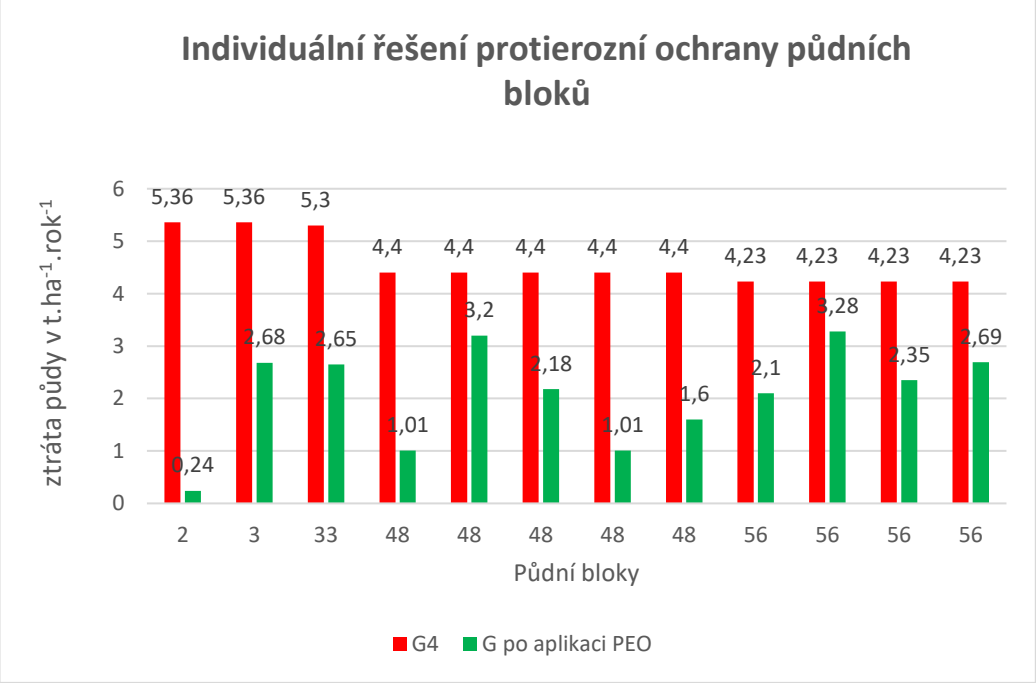
Graf č.5: Vzájemné srovnání výsledných hodnot G (VLASTNÍ PRÁCE)

Výsledné hodnoty G u půdních bloků, které byly řešeny individuálně jsou znázorněny v tabulce č. 14:

Číslo půdního bloku	G4	sklonitost	C_{TTP}	C4	C5	TPEO	G
2	5,36	22,19 %	0,005				0,24
3	5,36	15,72 %			0,022		2,68
33	5,30	16,12 %			0,022		2,65
48var1a)	4,4	19,5 %	0,005				1,01
48var1b)				0,044			3,20
48var2	4,4	19,5 %			0,022		2,18
48var3a)	4,4	19,5 %	0,005				1,01
48var3b)					0,022		1,60
56var1	4,23	17,65			0,022		2,10
56var2a)	4,23	17,65		0,044		Příkop (sběrný, svodný)	3,28
56var2b)							2,35
56var3	4,23	17,65	0,005	0,044		Zatravnění údolnice	2,69

Tab.14: Posouzení vlivu PEO na individuálně řešených půdních blocích (VLASTNÍ PRÁCE)

Grafické zobrazení snížení hodnot G půdních bloků řešených individuálním přístupem znázorňuje graf č. 6:



Graf č.6: Posouzení individuálního řešení protierozní ochrany (VLASTNÍ PRÁCE)

Tabulka č. 15 zobrazuje procentuální snížení hodnot G po individuálně vyřešené protierozní ochraně:

Půdní blok	PEO	Snížení hodnoty G (%)
2	Ochranné zatravnění	81,34
3	OP+ víceleté pícniny	50
33	OP + víceleté pícniny	50
48var1a)	Ochranné zatravnění	77,05
48var1b)	PEOP+agrotechnika	27,27
48var2	OP + víceleté pícniny	50,45
48var3a)	Ochranné zatravnění	77,05
48var3b)	OP+ víceleté pícniny	63,64
56var1	OP + víceleté pícniny	50,35
56var2a)	Příkop (sběrný, svodný)	22,46
56var2b)	Příkop (sběrný, svodný)	44,44
56var3	Zatravnění údolnice	36,41

Tab. 15: Procentuální vyjádření efektivity použitých PEO (VLASTNÍ PRÁCE)

7. Diskuse

V této práci byla potenciálně vybudována protierozní opatření organizačního charakteru, agrotechnického, technického a jejich kombinace. Nejdříve byla spočítána erozní ohroženost půdních bloků za použití klasického modelového osevního postupu pro danou výrobní oblast. U použití tohoto osevního postupu tvořily 79 % půdní bloky s překročením limitu průměrné roční ztráty půdy (G). Půdních bloků s hodnotou G do přípustného limitu 4 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ bylo 21 %. Z těchto výsledků vyplývá, že tento osevní postup by v těchto podmínkách z hlediska erozní ohroženosti byl neadekvátní.

Ve studii *VYSOUDILA, (2012)* byl pro výpočet erozního smyvu v katastrálním území Habrůvka použit osevní postup s hodnotou C faktoru 0,229. Výsledkem bylo překročení hodnoty přípustného G v 29 %, což je o 50 % méně než u výsledku, kterého bylo dosaženo v této práci. Takto velký rozdíl v hodnotách G lze připsat rozdílným geografickým podmínkám, neboť zájmové území řešené v této práci se nachází v bezprostřední blízkosti pohoří Šumavy. Sklonitost se zde pohybuje nejčastěji od 10-20 %. Katastrální území Habrůvka leží u Moravského krasu a hodnoty sklonitosti erozně uzavřených celků dosahují hodnot kolem 6 -8 %.

V dalším kroku byl aplikován tentýž osevní postup, tentokrát ale s použitím agrotechnického protierozního opatření v podobě setí do strniště, ponechanou slámou předplodiny a u širokořádkové plodiny (brambor) hrázkování a důlkování. Na základě těchto skutečností byla přepočítána hodnota faktoru ochranného vlivu

vegetace (C) a přepočítána hodnota (G). Počet půdních bloků přesahující limit 4 $t.ha^{-1}.rok^{-1.}$ se snížil na 63 % a počet půdních bloků s hodnotou G do přípustného limitu se zvýšil na hodnotu 37 %. Z toho vyplývá, že zde použitá agrotechnická opatření snížila počet půdních bloků překračující přípustnou hodnotu G o jednu pětinu oproti klasickému modelovému osevnímu postupu.

Společnost *ENVICONS S.R.O., (2013*), potvrzuje svou studií pozitivní vliv snížení faktoru ochranného vlivu vegetace při aplikaci agrotechnických opatření: setí do strniště a ponechání posklizňových zbytků předplodiny u jednotlivých plodin v osevním postupu. Aplikací těchto opatření došlo ke snížení hodnoty faktoru C z 0,188 na 0,093.

Důlkováním se dle *SEDLÁKA, (1978)* podstatně zvyšuje retenční schopnost půdy, snižuje množství a rychlost povrchového odtoku. Účinnost je proměnlivá na základě sklonitosti pozemku. Jímavost půdy může být až 20 litrů vody na 1 m^2 v časovém úseku do 2 minut, což odpovídá 20 mm srážek a snížení povrchového odtoku až o 60 % u širokořádkové plodiny.

Ve třetím kroku byl aplikován protierozní osevní postup (resp. osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin). Opět byla přepočítána hodnota C a zároveň i hodnota G. Počet půdních bloků přesahující limit přípustné hodnoty G tvořil 51 %, počet půdních bloků s hodnotou nepřekračující limit přípustného G tvořil 49 %.

Z toho lze usoudit, že protierozní osevní postup vykazuje oproti klasickému modelovému osevnímu postupu snížení počtu půdních bloků s překračujícím limitem roční ztráty půdy o 28 %. Toto řešení hodnotím velmi pozitivně, poněvadž jím bylo docíleno snížení počtu ohrožených pozemků o více než třetinu oproti klasickému modelovému osevnímu postupu, a to bez použití složitých technických a finančně náročných opatření. Naopak použití klasického modelového osevního postupu s použitím agrotechnických opatření byl počet půdních bloků s překračující přípustnou hodnotou G snížen o jednu pětinu.

Studií *VYSLOUŽILOVÉ A KLIMENTA, (2012)* je prokázán vliv snížení ztráty půdy v povodí na hektar zvýšeným zastoupením obilnin v osevním postupu. Ztráta půdy v povodí v $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ klesla z hodnoty 3,85 v roce 2001 na 2,72 v roce 2007.

Čtvrtý krok zahrnoval aplikaci protierozního osevního postupu z kroku 3, ale navíc obsahoval použití agrotechnických opatření: setí do strniště a ponechání slámy předplodiny. Opět byly na základě těchto skutečností přepočítány hodnoty C a G. Snížení počtu půdních bloků s přesahující hodnotou přípustného G bylo již na 12 %, tudíž počet bloků do limitu přípustného G se vyšplhal na 88 %. Tímto opatřením došlo ke snížení počtu bloků přesahujících přípustnou hodnotu G o více než čtyři pětiny oproti klasickému modelovému osevnímu postupu, o čtyři pětiny oproti použití klasického modelového osevního postupu s použitím agrotechnických protierozních opatření a o tři čtvrtiny oproti aplikaci protierozního osevního postupu z třetího kroku.

Studie *NĚMCE, (2014)* potvrzuje pozitivní vliv aplikace protierozního osevního postupu (vyloučení erozně nebezpečných plodin) s ponecháním posklizňových zbytků. V jeho práci došlo po jeho aplikaci ke snížení ztráty půdy u vybraného půdního bloku v katastrálním území Dětřichov u Frýdlantu téměř o 40 %.

I po aplikaci protierozního osevního postupu s použitím agrotechnických opatření zůstalo ještě 5 půdních bloků, jež překračovaly hodnotu přípustného G. Tyto pozemky byly nadále řešeny individuálním přístupem a byly porovnány vlivy použitých protierozních opatření.

Půdní blok č.2

Zde bylo doporučeno organizační protierozní opatření v podobě ochranného zatravnění, jelikož pozemek měl průměrnou hodnotu sklonitosti 22,19 % a neměl by tudíž být používán jako orná půda. Toto opatření je jak finančně, tak technicky přijatelné a jeho účinnost je velmi vysoká a činí 81,34 %.

NĚMEC, (*2014*) potvrzuje ve své práci vysokou účinnost zatravnění půdního bloku v katastrálním území Dětřichov u Frýdlantu. Jeho výsledky poukazují na snížení hodnoty G o 97,6 %. Studie *VAŠINOVÉ A KOL., (2012)* také zobrazuje snížení ztrát půdy vodní erozí zatravněním pozemků s vysokou sklonitostí.

Půdní blok č.3

U tohoto půdního bloku bylo navrženo organizační protierozní opatření v podobě osevního postupu s vyšším zastoupením víceletých pícnin. Toto opatření snížilo hodnotu G o 50 % při zachování alespoň částečných výnosů oproti půdnímu bloku

č.2, kde jsou výnosy prakticky nulové. Toto opatření bylo zvoleno jako nejvhodnější z hlediska realizace, finančních nákladů a efektivity.

Půdní blok č.33

Zde bylo aplikováno opět organizační protierozní opatření v podobě osevního postupu s vyšším zastoupením víceletých pícnin, čímž se snížila hodnota G na tomto půdním bloku s vysokou hodnotou sklonitostí o 50 %. Toto opatření bylo opět zvoleno jako nejvhodnější z hlediska realizace, finančních nákladů a efektivity.

Půdní blok č.48

varianta 1

Ve variantě č.1 bylo aplikováno organizační protierozní opatření v podobě zatravnění části půdního bloku, kde průměrná sklonitost překračovala 21 %. Toto opatření snížilo hodnotu G na zbylé ploše o sklonitosti do 21 % o 27,27 %.

varianta 2

Zde byl jako protierozní opatření aplikován osevní postup s vyšším zastoupením víceletých pícnin. Toto opatření snížilo hodnotu G o 50,45 %

varianta 3

Tato varianta je kombinací varianty č.1 a varianty č.2 resp. na části půdního bloku se sklonem nad 21 % bylo aplikováno ochranné zatravnění a na zbytku plochy půdního bloku č.48 osevní postup s vyšším zastoupením víceletých pícnin. Tím bylo dosaženo snížení hodnoty G o 63,64 %.

U tohoto půdního se jako nejúčinnější ukázalo opatření ve variantě č.3.

Půdní blok č.56

varianta 1

U varianty č.1 byl použit osevní postup s vyšším zastoupením víceletých pícnin. Aplikací tohoto protierozního opatření došlo ke snížení hodnoty G o 50,35 %.

varianta 2

U této varianty bylo navrženo technické opatření v podobě protierozního příkopu. Jeho vybudováním byla snížena hodnota G o cca 30 %.

varianta 3

V poslední variantě bylo technické protierozní opatření v podobě zatravnění údolnice. Hodnota G byla snížena o 36,41 %.

Snížení hodnoty G zatravněním údolnice dokazuje i studie *NĚMCE, (2014),* kde se tímto opatřením snížila hodnota G o cca 20 %. Z výsledků studie *VAŠINOVÉ A KOL., (*2012) vyplývají též pozitivní vlivy na snížení ztráty půdy stabilizací drah soustředěného odtoku. Vliv vegetačního pokryvu na odnos půdy se projevuje dle *ŠINKY A KOL., (2013)* jednak ochranou půdní povrchu před destrukčním působením dopadajících dešťových kapek a zpomalováním rychlosti povrchového odtoku a jednak působením vegetace na půdní vlastnosti. Jedním z faktorů, který ovlivňuje povrchový odtok a tím i zvýšení erozní ohroženosti je součinitel drsnosti povrchu. V průměru je součinitel drsnosti travní porostu více jak dvojnásobný oproti obdělávané půdě.

U tohoto půdní bloku bylo nejúčinnějším opatřením aplikace osevního postupu s vyšším zastoupením víceletých pícnin, avšak pokud budeme chtít zachovat co nejvyšší výnosy rostlinné produkce, mělo by být aplikováno technické protierozní opatření z varianty č.3, což znamená zatravnění údolnice.

K řešením aplikací protierozní ochrany bylo potřeba přistupovat individuálně. Z výsledků vyplývá, že aplikací jen jednoho druhu nelze na takto velkém území snížit ztrátu půdy pod přípustný limit u všech pozemků. Zásadním principem by měla být jejich kombinace. Tuto skutečnost potvrzuje ve své práci *SOCHOREC, (2010),* kde bylo aplikací kombinací organizačních, agrotechnických a technických opatření docíleno snížení ztráty půdy všech pozemků v katastrálním území Uherské Hradiště pod přípustnou hodnotu. *KONEČNÁ A KOL., (2014)* uvádějí, že protierozní opatření je smysluplné zavádět dlouhodobě, neboť obvykle jen v tomto případě mohou přínosy převažovat nad náklady.

8. Závěr

Vodní eroze je celosvětově rozšířený problém a je tedy třeba eliminovat faktory, které její vznik podporují. Dále je nutné se rozhodnout o použití ideální protierozní ochrany. V teoretické části této práce je popsán vznik erozních procesů a způsoby jejich modelování.

V praktické části mé práce jsou zhodnoceny vlivy namodelovaných protierozních procesů. Jedná se o organizační, agrotechnická, technická opatření a jejich kombinací. Z organizačních opatření se jedná o aplikace různých osevních postupů s různým zastoupením pěstovaných plodin a ochranné zatravnění. Agrotechnická opatření byla aplikována u vybraných plodin v osevních postupech a byla to opatření: setí do strniště, ponechávání posklizňových zbytků předplodiny a hrázkování a důlkování u širokořádkové plodiny (v osevních postupech použitých v této práci byla pouze jedna širokořádková plodina v podobě brambor). Z technických protierozních opatření byl namodelován protierozní příkop a zatravnění údolnice.

Z dosažených výsledků je patrný pozitivní vliv navržených protierozních opatření a dosažení snížení ztrát půdy pod limit 4 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ u všech řešených půdních bloků. Z porovnání organizačních opatření v podobě osevních postupů vyšel jako nejefektivnější protierozní osevní postup v kombinaci agrotechnickými opatřeními v podobě setí do strniště a ponechání slámy.

U individuálně řešených půdních bloků (2,3,33,48,56) byla zvolena vždy nejvhodnější protierozní opatření a v případě bloků 48 a 56 se jednalo o kombinace více druhů těchto opatření. Tento fakt je potvrzením toho, že kombinací těchto opatření roste jejich účinnost, ale i jejich finanční náročnost.

Vzhledem k vysokému výskytu negativních účinků vodní eroze by měla být takováto modelování za účelem posouzení jejich vlivu velmi důležitá, až nezbytná pro rozhodování jejich realizací.

9. Seznam použité literatury

[1] BERAN, J. *Základy vodního hospodářství.* Praha: Česká zemědělská univerzita, 2009, 146 s. ISBN 978-80-213-1875-5.

[2] BLANCO, H., LAL, R. *Principles of soil conservation and management.* New York: Springer Berlin Heidelberg, 2008, 601 s.

[3] BLAŽEK, V. *Voda v České republice.* Praha: Consult, 2006, 253 s. ISBN 80-903-4821-1.

[4] 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. *Pozemkové úpravy v České republice.* Praha: Consult, 2011, 206 s. ISBN 80-903482-8-9.

[5] BUZEK, L. *Eroze půdy.* Ostrava: Pedagogická fakulta v Ostravě, 1983, 257 s.

[6] DORST, J. *Ohrožená příroda: Avant que Nature meure (Prig.).* Praha: Panorama, 1985, 420 s.

[7] DOSTÁL, T. *Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO: Metodika.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2014, 69 s. ISBN 978-80-87361-30-6.

[8] ENVICONS, S.R.O. *Návrh protierozních opatření ů "Píšť – Protipovodňová a protierozní ochrana": studie.* Pardubice, 2013, 36 s.

[9] HOLÝ, M. *Protierozní ochrana*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1978, 269 s.

[10] HOLÝ, M. *Eroze a životní prostředí.* Praha: ČVUT, 1994, 383 s.

[11] HOLÝ, M., MLS, J., VÁŠKA, J. *Modelování erozních procesů*. Praha: Academia, 1982, 75 s.

[12] HRÁDEK, F., KUŘÍK, P. *Hydrologie.* Praha: Credit, 2002, 271 s. ISBN 80-213-0950-4.

[13] JANEČEK, M. *Využití metody "Čísel odtokových křivek" k určování přímého odtoku z malých zemědělských povodí.* Praha: VÚZZP,1982. 42-53 s.

[14] JANEČEK, M., PASÁK, V., TIPPL, M., PIVCOVÁ, J., VÁŠKA, J., TOMAN, F. *Nové směry v protierozní ochraně půdy: Studijní zpráva.* Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1998, 55 s.

[15] JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2007, 76 s. ISBN 978-80-254-0973-2.

[16] JANEČEK, M. *Základy erodologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008, 164 s. ISBN 978-80-213-1842-7.

[17] JANEČEK, M., KOVÁŘ, P. *Aktuálnost "Metody čísel odtokových křivek-CN" k určování přímého odtoku z malého povodí.* Vodní hospodářství, 2010, roč. 7, č. 60, 187-190 s.

[18] JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika.* Praha: Česká zemědělská univerzita, 2012, 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.

[19] JŮVA, K., KLEČKA, A., ZACHAR, D. *Ochrana krajiny ČSSR.* Praha: Academia, 1981, 549 s.

[20] KADLEC, V., DOSTÁL, T., VRÁNA, K., KAVKA, P., KRÁSA, J., DEVÁTÝ, J., PODHRÁZSKÁ J., POCHOP, M., KULÍŘOVÁ P., HEŘMANOVSKÁ D., NOVOTNÝ, I., PAPAJ, V. *Navrhování technických protierozních opatření: Metodika.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2014, 100 s. ISBN 978-80-87361-29-0.

[21] KLIMÁNEK, M. *Digitální modely terénu.* Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006, 85 s. ISBN 97880-7157-982-3.

[22] KLIMENT, Z., LANGHAMMER J. *Modelování erozní ohrožení ve velkých územních celcích.* Praha: Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, 2005, 7 s.

[23] KONEČNÁ, J., PRAŽAN, J., PODHRÁZSKÁ, J., KUČERA, J., KOUTNÁ, K., FIALA, R. *Hodnocení ekonomických aspektů protierozní ochrany zemědělské půdy.* Brno: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2014, 50 s. ISBN 978-80-87361-26-9.

[24] KOVÁŘ, P., JANEČEK, M., HRABALÍKOVÁ, M. *Soubor účelových map k metodice stanovení vybraných faktorů tvorby povrchového odtoku v podmínkách malých povodí: Případová studie.* Praha: ČZU, 2013, 21 s.

[25] KREŠL, J., SEREDA, O. *Inženýrské stavby lesnické a protierozní ochrana půdy.* Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně, 1989,254 s.

[26] MEZERA, A., BENEŠ, S., FÉR, F., HRON, F., KOLÁŘ, O., KUBÍN, J. NOVÁKOVÁ, E., POKORNÝ, J., ŠTOLC, J., VIDLÁKOVÁ, O. *Tvorba a ochrana krajiny*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1979, 476 s.

[27] MZE. *Příručka ochrany proti vodní erozi.* Praha: Ministerstvo zemědělství, 2011, 56 s. ISBN 978-80-7084-996-5.

[28] NĚMEC, J. In: ROŽNOVSKÝ, J. *Extrémy oběhu vody v krajině: sborník abstraktů a CD s příspěvky z mezinárodní konference*: *Mikulov 8.-9. dubna 2014*. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 2014, 13 s. ISBN 978-80- 87577-30-1.

[29] 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. *Příručka ochrany proti vodní erozi: (aktualizované znění – leden 2014*), 2. aktualiz. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2014, 73 s. ISBN 978-80-87361-33-7.

[30] PASÁK, V., JANEČEK, M., ŠABATA, M., DÝROVÁ, E., HEJL, R., ŠVEHLA, F., TINTĚRA, J., ASINGR, J., ŠROT, R. *Ochrana půdy před erozí*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984. 158 s.

[31] PODHRÁZSKÁ, J., DUFKOVÁ, J. *Protierozní ochrana půdy.* Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2005, 99 s. ISBN 80-7157-856-8.

[32] QUITT, E. *Klimatické oblasti Československa.* Brno: Československá akademie věd, 1971, 73 s.

[33] SEDLÁK, L. In: KOLEKTIV AUTORŮ. *Protierozní ochrana zemědělských půd.* Praha: ČV zemědělské společnosti ČSVTS, 1978, 144 s.

[34] SLAVÍK, L. *Biotechnické úpravy v krajině.* Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2000, 225 s. ISBN 80-7044-310-3.

[35] SKLENIČKA, P. *Základy krajinného plánování*. Praha: Naděžda Skleničková, 2003, 321 s. ISBN 80-903206-1-9.

[36] SOCHOREC, M., KNOT, P. *The plan of antierosion measures in the area of Uherské Hradiště.* Brno: Mendelova univerzita, 2010, 7 s.

[37] SOUKUP, M., EICHLER, J., SKLENIČKA, P., KULHAVÝ, Z., VLČKOVÁ, M., PILNÁ, E. *Biotechnická opatření v krajině pro zvýšení retence vody na odvodněných pozemcích v pramenných oblastech.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2008, 66 s. ISBN 978-80-904027-2-0.

[38] STACH, J. *Základní agrotechnika (Osevní postupy).* České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1995, 99 s. ISBN 80-7040-117-6.

[39] ŠINKA, K., MUCHOVÁ, Z., KONC, L. *Aplikácie geografických informačních systémov v pozemkových úpravách.* Nitra: Slovenská poľnohospodárská univerzita. 2013, 251 s. ISBN 978-80-552-1128-2.

[40] ŠTEFÁČEK, S. *Encyklopedie vodních toků Čech, Moravy a Slezska.* Praha: Baset, 2008, 743 s. ISBN 978-80-7340-105-4.

[41] ŠVEHLÍK, R. *Vodní eroze na jihovýchodní Moravě v obrazech.* Uherské Hradiště: Přírodovědecký klub, 2005, 64 s. ISBN 80-86485-08-0.

[42] UHLÍŘOVÁ, J., MAZÍN, V., PRAŽAN, J., KOUTNÁ, K. *Metodika studie širších územních vazeb ochrany půdy a vody v komplexních pozemkových úpravách*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2005, 30 s.

[43] VAN OOST, K., GOVERS, G., DESMET, P. *Evaluatingtheeffectsofchanges in landscapestructure on soilerosion by water and tillage*. Landscape Ekology, 2000, 577–589 s.

[44] VAŠINOVÁ, K., VÁCHAL, J., PÁRTLOVÁ, P., VÁCHALOVÁ R. *Zvýšení hodnoty faktoru erozní účinnosti deště R ve vztahu k návrhu protierozních opatření*. Littera Scripta, 2012, 5(2), 305-315 s.

[45] VÁŇOVÁ, V., KRISTENOVÁ, H. *Analýzy erozních událostí v rámci monitoringu eroze zemědělské půdy.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2013, 8 s.

[46] VYSLOUŽILOVA, B., KLIMENT, Z. *Modelování erozních a sedimentačních procesů v malém povodí*. Geografie, 2012, 117, č. 2, 170 - 190 s.

[47] VYSOUDIL, J. *Studie odtokových poměrů a protierozní ochrany.* Podklad pro Územně plánovací dokumentaci obce Habrůvka, 2012, 12 s.

[48] WINPENNY, J. *Values for the Environment.* London: Overseas Development Institute, 1991, 277 s.

[49] ŽÍŽALA, D., KRÁSA, J., BÁČOVÁ, M., ZELENKOVÁ, K., LABURDA, T., NOVOTNÝ, I. *Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2016, 154 s. ISBN 978-80-87361-63-4.

[50] ŽÍŽALA, D., KRISTENOVÁ, H. *Využití geoinformačních vrstev při řešení vodní eroze půdy*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2012, 8 s.

Další zdroje

[51] CORRINE LANDCOVER 2012 European Environment Agency (EEA) under the framework of the Copernicus programme - copernicus@eea.europa.eu.

[52] MZE. *Aktuální znění standardu GAEC 2 od 1.1.2013*. In: *www.eagri.cz* [online]. 2013 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/mze/zivotniprostredi/ochrana-pudy/eroze-pudy/aktualni-zneni-standardu-gaec-2-od-1-1.html.

[53] SCHNEIDER, P. *Vodní eroze.* In *www.sweb.cz* [online]. 2006 [cit. 2018-03-28]. Dostupné z http://www.sweb.cz/eroze/rusle.htm.

[54] Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. *Protierozní kalkulačka. In: www.kalkulacka.vumop.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z

https://kalkulacka.vumop.cz/app/?zoom=6&center=-826722.105740413,-1128428.0352912534.

[55] HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM (VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T.G. MASARYKA, VEŘEJNÁ VÝZKUMNÁ INSTITUCE). *Mapa VH a ochrana vod. In* www.heis.vuv.cz [online]. 2018 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=AJAX_MAIN&IFRAME=1&LEGEND_HIDE=0&QUERY_SELECTION=1&FULLTEXT_CHECKED=1.

10. Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr.1: Nomogram ke stanovení faktoru K

Obr.2: Mapa maximální přípustné hodnoty faktoru C

Obr.3: Stanovení nákladů na PEO

Obr.4: Vliv plodin na smyv půdy

Obr.5: Doporučené zabezpečenosti pro dimenz. zákl. typů TPEO

Obr.6: Potenciální pokles ceny půd

Obr.7: Klasický osevní postup (C1)

Obr.8: Klasický osevní postup s použitím agrotechniky (C2)

Obr.9: Osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin (C3)

Obr.10: Osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin s využitím agrotechniky (C4)

Obr.11: Osevní postup s vyloučením erozně nebezpečných plodin s vyšším zastoupením víceletých pícnin (C5)

Obr.12: Hodnoty G pro C1

Obr.13: Hodnoty G pro C2

Obr.14: Hodnoty G pro C3

Obr.15: Hodnota G pro C4

Obr.16: Individuální řešení půdní bloku č.2

Obr.17: Individuální řešení půdního bloku č.3

Obr.18: Individuální řešení půdního bloku č.33

Obr.19: Individuální řešení půdního bloku č.48, varianta 1

Obr.20: Individuální řešení půdního bloku č.48, varianta 2

Obr.21: Individuální řešení půdního bloku č.48, varianta 3

Obr.22: Individuální řešení půdního bloku č.56, varianta 1

Obr.23: Individuální řešení půdního bloku č.56, varianta 2

Obr.24: Výpočet kulminačního průtoku

Obr.25: Příčný profil protierozního příkopu

Obr.26: Individuální řešení půdního bloku č.56, varianta 3

Obr.27: Příčný profil zatravněné údolnice

Seznam tabulek

Tab.1: Hodnoty faktoru P

Tab.2: Landuse

Tab.3: Hodnota faktoru K podle HPJ

Tab.4: Reklasifikace hodnot G

Tab.5: Půdní bloky překračující limit přípustného G, při použití C1

Tab.6: Půdní bloky v limitu přípustného G při použití C1

Tab.7: Půdní bloky překračující limit přípustného G, při použití C2

Tab.8: Půdní bloky v limitu přípustného G, při použití C2

Tab.9: Půdní bloky překračující limit přípustného G, při použití C3

Tab.10: Půdní bloky v limitu přípustného G, při použití C3

Tab.11: Půdní bloky překračující limit přípustného G, při použití C4

Tab.12: Půdní bloky v limitu přípustného G, při použití C4

Tab.13: Posouzení vlivu protierozních opatření (C1 – C4)

Tab.14: Posouzení vlivu PEO na individuálně řešených půdních blocích

Tab.15: Procentuální vyjádření efektivity použitých PEO

Seznam grafů

Graf č.1: Ohroženost půdních bloků při C1

Graf č.2: Ohroženost půdních bloků při C2

Graf č.3: Ohroženost půdních bloků při C3

Graf č.4: Ohroženost půdních bloků při C4

Graf č.5: Vzájemné srovnání výsledných hodnot G

Graf č.6: Posouzení individuálního řešení protierozní ochrany

11. Seznam příloh

11.1 Příloha č.1

Příloha č.1 Zastoupení BPEJ

BPEJ	Půdní typ	Výměra (ha)	Výměra (%)	HSP
729010	Kambizemě převážně na rovině nebo úplné rovině, se všesměrnou expozicí	**1,58**	**1**	**B**
729140	Kambizemě převážně na mírných svazích, se všesměrnou expozicí	**4,21**	**3**	**B**
729410	Kambizemě převážně na středních svazích, s jižní expozicí	**3,50**	**2**	**B**
729440		**3,10**	**2**	**B**
740680	Silné svažité půdy převážně na výrazných svazích, s jižní expozicí	**4,45**	**3**	**B**
750110	Pseudogleje převážně na mírných svazích, se všesměrnou expozicí	**0,16**	**0**	**C**
772010	Gleje převážně na rovině nebo úplné rovině, se všesměrnou expozicí	**0,19**	**0**	**D**
834240	Kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly převážně na mírných svazích, s jižní expozicí	**11**	**7**	**B**
834440	Kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly převážně na středních svazích, s jižní expozicí	**0,56**	**0**	**B**
834540	Kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly	**0,83**	**1**	**B**

	převážně na středních svazích, se severní expozicí			
835310	Kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly převážně na mírných svazích, se severní expozicí	**0,26**	**0**	**B**
835440	Kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly převážně na středních svazích, s jižní expozicí	**6,66**	**4**	**B**
840670	Silné svažité půdy převážně na výrazných svazích, s jižní expozicí	**0,3**	**0**	**B**
840680		**33,71**	**22**	**B**
840780	Silné svažité půdy převážně na výrazných svazích, se severní expozicí	**1,02**	**1**	**B**
850110	Pseudogleje převážně na mírných svazích, se všesměrnou expozicí	**10,78**	**7**	**C**
850410	Pseudogleje převážně na středních svazích, s jižní expozicí	**0,20**	**0**	**C**
850510	Pseudogleje převážně na středních svazích, se severní expozicí	**0,82**	**1**	**C**
858000	Fluvizemě převážně na rovině nebo úplné rovině, se všesměrnou expozicí	**2,12**	**1**	**C**
867010	Gleje převážně na rovině nebo úplné rovině, se všesměrnou expozicí	**4**	**3**	**D**
868110	Gleje převážně na mírných svazích, se všesměrnou expozicí	**0,34**	**0**	**D**

936010	Kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly převážně na rovině nebo úplné rovině, se všesměrnou expozicí	**2,1**	**1**	**B**
936040		**1,91**	**1**	**B**
936210	Kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly převážně na mírných svazích, s jižní expozicí	**10,93**	**7**	**B**
936240		**11,68**	**8**	**B**
936310	Kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly převážně na mírných svazích, se severní expozicí	**1,37**	**1**	**B**
936340		**2,72**	**2**	**B**
936440	Kambizemě dystrické, podzoly, kryptopodzoly převážně na středních svazích, s jižní expozicí	**14,82**	**10**	**B**
940670	Silné svažité půdy převážně na výrazných svazích, s jižní expozicí	**1,96**	**1**	**B**
940680		**15,14**	**10**	**B**
940780	Silné svažité půdy převážně na výrazných svazích, se severní expozicí	**0,38**	**0**	**B**
950110	Pseudogleje převážně na mírných svazích, se všesměrnou expozicí	**0,007**	**0**	**C**
950410	Pseudogleje převážně na středních svazích, s jižní expozicí	**0,06**	**0**	**C**
950440		**0,01**	**0**	**C**
973410	Gleje převážně na středních svazích, s jižní expozicí	**0,02**	**0**	**D**