

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí
Katedra: Katedra krajinného managementu
Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

Bakalářská práce

Porovnání nejnovějších metod pro výpočty vodní eroze

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
Autor bakalářské práce: Martina Šestauberová

České Budějovice, 2015

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martina ŠESTAUBEROVÁ**
Osobní číslo: **Z12075**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Porovnání nejnovějších metod pro výpočty vodní eroze**
Zadávající katedra: **Katedra krajinného managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je zpracování podrobné literární rešerše týkající se možných výpočetních metod transportu půdy vodní erozí. Bude vyhodnocena jejich vhodnost pro možné zpracování výpočetního software a jejich využitelnost pro modelování procesu eroze. Literární rešerše bude zpracována tak, aby sloužila jako kvalitní podklad pro případné zpracování diplomové práce zabývající se navazující problematikou.

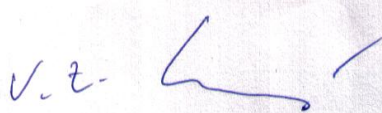
1. Literární rešerše na daná témata:
 - a/ teoretický rozbor erozních jevů
 - b/ vodní eroze
 - c/ posouzení přesnosti výpočtů používaných k vyhodnocení vodní eroze
 - d/ komplexní pozemkové úpravy a řešení eroze v krajině
2. Aplikace teoretických poznatků v konkrétním povodí.
3. Zobecnění získaných výsledků.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran textu**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

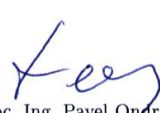
DUMBROVSKÝ, M., MEZERA, J., STŘÍTECKÝ, L.: Metodický návod pro vypracování návrhů pozemkových úprav, Česká komora pro pozemkové úpravy, Praha 2004, 190 stran
SKLENIČKA, P. Základy krajinného plánování, Naděžda Skleničková, Praha 2003, ISBN 80-903206-1-9
TOMAN, F. Pozemkové úpravy, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně 1995, ISBN 80-7157-148-8
Časopisy: Pozemkové úpravy, Urbanismus a územní rozvoj, Landscape and urban planning, Land use policy
Holý, M.: Protierozní ochrana. SNTL, Praha, 1978
Janeček, M.: Základy erodologie. ČZU Praha, Praha, 2008
Kokolia, V., Kos, M.: Protierozní osevní postupy. UVTIZ Praha, Praha 1989

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.**
Katedra krajinného managementu
Datum zadání bakalářské práce: **17. března 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2015**

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13 ④
370 06 Česká Budějovice


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

L.S.


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. března 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Porovnání nejnovějších metod pro výpočty vodní eroze jsem vypracovala 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 bakalářské 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.

V Českých Budějovicích, dne 15. 4. 2015

.....
Martina Šestauberová

Poděkování:

Mé poděkování patří panu doc. Ing. Pavlu Ondrovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a pomoc při zpracování této bakalářské práce.

Abstrakt:

Konsepem této práce je objasnění, které se týká eroze a její problematiky, z velké části zejména pak vysvětlení problematiky vodní eroze. V úvodu práce nalezneme objasnění vodní eroze, její původ, dopady a některá protierozní opatření, kterými lze právě tento druh eroze alespoň částečně utlumit nebo přinejmenším omezit její důsledky.

Jako hlavní cíl této práce je stanoveno porovnání dosažitelných postupů při výpočtu vodní eroze. V práci jsou uvedeny metody pro výpočet průměrného ročního odnosu zemin a následující vybrané modely poskytují základ sloužící k výpočtu okamžitého odnosu zemin. Základními metodami pro výpočet průměrného ročního odnosu zemin jsou pak metody USLE a RUSLE. Do této práce byly pro zjištění výpočtu okamžitého odnosu zemin vybrány jen modely, které jsou nejvíce dostupné.

Klíčová slova: eroze, USLE, RUSLE, model

Abstract:

The conspectus of this thesis is to explain erosion matters, especially water erosion problems. The introduction part explains the water erosion, its origins, impacts and some erosion control measures, which can precisely this sort of water erosion or at least limit its consequences.

The main goal of this thesis is to compare and contrast available methods for the calculation of water erosion. In this work we can find the basic methods for calculating the average annual erosion of soil and the following selected models provide the basis used to calculate the instantaneous erosion of soils. The basic methods for calculation of average annual erosion of soil are then USLE and RUSLE methods. The most available possible models were selected for the purposes of this thesis.

Key words: erosion, USLE, RUSLE, model

Obsah

1	Úvod	8
2	Literární přehled.....	10
2.1	Druhy eroze a její členění	10
2.1.1	Větrná eroze	12
2.1.2	Vodní eroze	13
2.2	Původ eroze.....	16
2.2.1	Klimatické a hydrologické	16
2.2.2	Morfologické	17
2.2.3	Půdní a geologické	17
2.2.4	Vegetační	18
2.2.5	Postup obhospodařování a využívání půdy.....	19
2.3	Důsledky vodní eroze	20
2.3.1	Důsledky ztráty půdy	20
2.3.2	Důsledky transportu a sedimentace půdy	21
2.3.3	Důsledky transportu chemických částic	22
2.4	Protierozní opatření	23
2.4.1	Organizační opatření	24
2.4.2	Agrotechnická opatření.....	26
2.4.3	Technická opatření	28
3	Cíl práce	32
4	Metodika.....	33
4.1	Metody výpočtu průměrného ročního odnosu zemin.....	33
4.1.1	Metoda USLE (univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy).....	33
4.1.2	Metoda RUSLE (revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy).....	41
4.2	Metody výpočtu okamžitého odnosu zemin	44
4.2.1	Model CREAMS (Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)	44
4.2.2	Model SWRRB (Simulator for Water resources in Rural Basins).....	45
4.2.3	Model EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator)	45
4.2.4	Model ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation).....	46
4.2.5	Model AGNPS (AGricultural NonPoint Source).....	46
4.2.6	Model SHE (Systeme Hydrologique Européen).....	46
4.2.7	Model EUROSEM (EUROpean Soil Erosion Model)	47
4.2.8	Model EROSION 2D/3D.....	47
4.2.9	Model WEPP (Water Erosion Prediction Project)	48
4.2.10	Model SWAT (Soil and Water Assessment Tool)	48
5	Výsledky a diskuze	49
5.1	Metody výpočtu průměrného ročního odnosu zemin.....	49
5.2	Posouzení vhodnosti použití vybraných modelů	56
6	Závěr	58
7	Seznam použité literatury	59
8	Seznam použitých obrázků.....	63
9	Seznam použitých zkratk.....	64
10	Seznam tabulek	65
11	Přílohy	66

1 Úvod

Přirozený proces rozrušování a transportu předmětů na povrchu zemském jako jsou půda, skály, horniny, apod. se nazývá eroze, jejíž příčinou je mechanické působení okolních látek (zejména větru, proudící vody, ledu, sněhu, zvětralin), které se pohybují. Samotná eroze byla vždy existujícím přírodním procesem, v přírodních podmínkách probíhá pozvolna bez evidentních nepříznivých důsledků. Specifický stupeň eroze jako přírodního jevu může být užitečný ekosystémům. Nicméně v současnosti je eroze stále více ohrožována nedostatkem dešťů, a proto bývá často úmyslně vytvářena ve prospěch ekosystémů.

Hloubka půdního profilu poskytuje přípustné hodnoty ztráty půdy, které jsou způsobeny erozí. Z toho důvodu by se při hospodaření měla eroze udržovat na těchto hodnotách tak, aby nedošlo k většímu odnosu půdy, než kolik se jí na daném místě vytvoří, protože půda, která vytváří nejsvrchnější vrstvu zemské kůry, je prostoupená vodou, vzduchem a organismy, je produktem přeměn organických a minerálních látek, je vyčerpatelný a nenahraditelný zdroj a obnovuje se velmi zdlouhavě. Taktéž vytváří základ udržitelného zemědělského hospodaření, a tak by se na ní také mělo nahlížet a patřičně s ní zacházet, protože podle místních podmínek se udává, že jeden centimetr půdy se vytváří desítky až stovky let, zatímco k odnosu stejné nebo větší kvantity může během jediného přivalového deště dojít právě příčinou eroze.

V současnosti je na území ČR ve skupině mírně ohrožených až nejohroženějších půd ohroženo 35,9 % zemědělské půdy vodní erozí a 18,4 % erozí větrnou. Z těchto uvedených procent je extrémně silně ohroženo podle průměrného dlouhodobého smyvu z půdy v případě vodní eroze 7,4 % ZPF a 5,1% ZPF v případě větrné eroze a při intenzivní zemědělské výrobě se eroze významně zrychluje. Majorita těchto zemědělských ploch není chráněna proti ztrátě půdy tak, aby nebyly překročeny přípustné hodnoty, kdy při erozi nejprve dochází k odnosu nejjemnějších půdních částic. Dopadem působením eroze je obměna půdní textury a skladby, pokles vodní kapacity půdy, pokles schopnosti vázat živiny, vyvažovat pH, ztráta organické složky a celkový úbytek sorpční kapacity. V ČR je rámcový způsob hospodaření zamezující další erozi půdy celkem doporučen u 51,2% zemědělské půdy. Od roku 2010 lze z hlediska vývoje sledovat stagnující trend, kde na většině

ploch erozí ohrožených půd není vykonávána systematická ochrana, která by sloužila k omezení ztráty půdy, a tím k zabraňování další degradace půdního profilu.

Degradace půdního profilu vede ke zhoršení kvality sklizně a snížení výnosů a tyto důsledky pocítují zejména zemědělci. Eroze půdy způsobuje škody projevující se znečištěním vodních zdrojů ve formě zhoršené kvality pitné vody způsobené různými hnojivy a pesticidy.

2 Literární přehled

2.1 Druhy eroze a její členění

Dle intenzity rozlišujeme erozi na:

- Normální
- Zrychlenou

Dle erozních součinitelů rozlišujeme:

- Erozi vznikající působením vody – vodní eroze (fluviální popřípadě akvatickou)
- Erozi vznikající působením větru – větrná eroze (eolitickou)
- Erozi sněhovou (nivální)
- Erozi vznikající působením ledu - ledovcová (glaciální) eroze (Janeček a kol., 2008)

Dle formy rozlišujeme:

- Plošnou erozi
- Výmolnou erozi
- Proudovou erozi

Dle mechanismu rozlišujeme erozi:

- Mezirýžkovou
- Rýžkovou

Dle časového hlediska:

- Historická eroze
- Soudobá eroze

Dále:

- Eroze zemní
- Eroze antropogenní (Holý, 1978).

Všechny erozní druhy mohou být přítomné jako jednotlivé nebo v kombinaci, což poté zpříčiňuje různorodou sílu erozních procesů. Vodní a větrná eroze způsobuje nejrozsáhlejší škody po celém světě (Holý, 1978).

Ledovcová (glaciální) eroze

Tento erozní druh vzniká působením ledovce, který se pohybuje a působí svou tíží do údolí. Při tomto pohybu dochází k vylamování a vlečení kusů hornin skalního podlaží. Společně s působením neseného horninového materiálu dochází ke změně modelace údolí před ledovcem a vznikají tzv. trogy, které charakterizujeme jako ledovcová údolí ve tvaru U. Ledovec shrnuje a unáší do níže položených ploch veliké množství horninných zvětralin, které po uložení vytvářejí morény. Na povrchu ledovce pak podle způsobu dopravy sutě vznikají svrchní morény, na okrajích vznikají boční morény a na dně ledovce spodní morény. Pokud se střetnou dva ledovcové proudy a dojde ke spojení jejich boční morény, vzniká moréna střední. U ledovcové paty se vytváří obloukovitá čelní moréna (Janeček a kol., 2008).

K tomuto druhu eroze přispívá i samotná voda z tajících ledovců, která svým vířivým pohybem způsobuje obří ledovcové hrnce. Dalším významným erozním faktorem je také působení ledu ve skalních prasklinách, které jsou zavodněny a následně dochází díky rozpínání ledu působením mrazu k odlamování části skal. K tomuto jevu na prudkých svazích přispívá gravitační síla (Holý, 1978).

Sněhová (glaciální) eroze

Sněhová eroze může být vyvolána pomalým pohybem sněhové vrstvy po neumrzlém povrchu půdy při jarním tání. Obvykle vzniká pohybem sněhu v lavinové formě a mnohdy absolutně zdevastuje postižený pás území. Podmínkou vzniku je nakypřený povrch půdy bez vegetace (zmrzlé podbrázdí – malá infiltrace) (Holý, 1978).

Dynamika sněhových lavin je mocně ovlivněna erozí sněhové pokrývky. Procesy eroze ovlivňují lavinové pohyby ve dvou směrech. Jedna strana tvoří odporující účinek na hmotu, která se pohybuje, a to díky přenášení hybnosti mezi hýbajícím se sněhem a podílem uvolněné a zrychlené pokrývky sněhu, která zrychlí

na lavinovou rychlost. Pokud dojde ke zvýšení hmotnosti laviny, dochází ke snížení třecí síly hmotnostní jednotky případně energii proudění (Barbolini a kol., 2005).

Zemní eroze

Jedná se o erozní činnost suťových proudů tvořených suťovým materiálem prosyceným vodou. Při pohybu materiálu do údolí dochází k rozrušování půdy a vytvářejí se hluboké rýhy, které ohrožují osady, technické stavby a komunikace v údolích (Janeček a kol., 2008).

Antropogenní eroze

Na vzniku a průběhu erozních procesů se velkým podílem mimo jiné podílí také člověk zejména svými zásahy do přírody, a právě tímto krokem přispívá k samotnému zrychlení eroze. Činnosti člověka, které vedou k již zmíněnému zrychlení eroze, rozdělujeme na přímé a nepřímé vlivy.

Přímý vliv se projevuje zejména realizací technických staveb, odlesněním a zemědělskou sklizní. Nepřímé vlivy se projevují zničením přirozeného vegetačního půdního pokryvu a jeho substituce vegetací, která je charakteristická svým nízkým ochranným účinkem a zhoršením vlastností půdy (chemických, biologických i fyzikálních), shromažďováním povrchového odtoku různorodými úpravami území, půdním znečištěním prostřednictvím odpadů a podobně (Holý, 1978).

2.1.1 Větrná eroze

Větrná eroze je založena na rozrušování půdní hmoty, které je způsobeno kinetickou energií větru, přenesení uvolňovaných částic a jejich následujícím ukládáním při poklesu energie vzdušného proudu. Větrná eroze ohrožuje zejména oblasti, kde jsou průměrné roční srážky nižší než 250 až 300 mm, s pravidelnými větry s jedním převažujícím směrem, narážejícími na plochý popřípadě mírně zvlněný povrch půdy, a to buď nekrytý vegetací nebo krytý vegetací nedostatečně (Holý, 1978).

Rušivou činnost větru lze rozdělit na korazi a deflací. Koraze je obrus třením větrem transportovaného materiálu a je závislá na větrné síle, hrubosti a množství

unášeného materiálu a na úhlu dopadajícího větru. Výsledkem koraze jsou hrance, bašty, houbové skalní útvary, skalní mosty, skalní okna a podobně. Název koraze se používá jako synonymum abraze, který označuje proces erodování povrchu transportovaného materiálu a za důležitý obranný faktor je bráno vysazování větrolamů a zvyšování hustoty rostlinného pokryvu. Tento druh eroze nastává při dostatečně silném větru u povrchu země, dále pokud je suchý povrch půdy náchylný k erozi a pokud chybí ochranný porost.

Kořínky rostlin jsou obnažovány větrnou erozí, dále tento druh eroze přesekává mladé a tenké stonky rostlin prostřednictvím větru, který unáší zrnka zeminy (Toman, 1995). Větrná eroze má nejenom vliv na snižování produktivity půdy pomocí ztráty půdy a jejích živin, zároveň také omezuje půdní potenciál vázání uhlíku z atmosféry (Tisdall a kol., 2012). Znalosti o erozních druzích nám přináší poznatky o tom, že přestože větrná eroze působí v rozsáhlých oblastech stejně velké nebo dokonce větší škody, není tak relevantním problémem v celosvětovém měřítku jako je vodní eroze. Větrná eroze je charakteristickým jevem v aridních popřípadě semiaridních zemích. Na projevy větrné eroze narazíme také v humidních zemích v rámci sušších oblastí na půdách, kde jsou nepříznivé fyzikální vlastnosti (Holý, 1978).

2.1.2 Vodní eroze

Vodní eroze vzniká mechanickou silou povrchově tekoucí vody, která vymílá, splachuje a odnáší nejvíce úrodnou svrchní vrstvu půdy. Tento druh eroze je podle Holého (1978) a Tomana (1995) vyvolán kinetickou silou dešťových kapek, které dopadají na povrch půdy a mechanickou energií vody stékající po povrchu. Tyto poznatky doplňuje také Vrielinf (2006), který poukazuje na skutečnost, že vodní erozi řídí klimatické charakteristiky, topografie, vlastnosti půdy, vegetace a obhospodařování půdy. Dále uvádí, že vodní eroze je vážným celosvětovým problémem, který způsobuje degradaci půdy a vykazuje mocný vliv na životní prostředí a vysoké ekonomické výdaje spojené se zemědělskou výrobou, infrastrukturou a kvalitou vody.

Janeček a kol. (2007) uvádí, že na povrchu půdy se vodní eroze projevuje jako selekce půdních částic a vytvořením odtokových drah různorodých rozměrů

(např. rýžek, rýh, výmolů). V úsecích soustředění povrchového odtoku mohou vznikat strže. V místech sníženého sklonu a v depresích obvykle dochází na plochách, které jsou níže položeny, k usazování půdních částic. Částice, které jsou transportovány za meze pozemků pronikají k hydrografické síti, kde pak vytvářejí splaveniny, které se sedimentují v úsecích toků s omezenou transportní schopností a v nádržích. Největším zdrojem splavenin je smyv z orné půdy, nicméně je potřeba zahrnout i erozi ploch stavenišť, erozi lesní půdy během mechanizované těžby dřeva, břehovou a dnovou erozi v tocích.

Vodní eroze se projevuje prudkými povrchovými odtoky vyvolanými občasnými přívalovými dešti nebo náhlým sněhovým táním. Na vzniku eroze se nejvíce uplatňují přívalové srážky o vysoké intenzitě a krátkodobém trvání. Největší hrozbu pak představují prudké přívalové deště se srážkovým úhrnem nad 20 mm, které mohou způsobit katastrofální erozní účinky. Z těchto srážek působí erozivně voda, která odtéká jako povrchový odtok, který se vytváří podle povahy dešťů. Nejvíce nebezpečný je povrchový odtok z krátkodobých prudkých přívalů, který stéká po silně sklonité ploše na devastovaných horských svazích. V našich klimatologických podmínkách má vodní eroze nejintenzivnější působení na jaře a v létě. Pole oraná z jara a půdy, které jsou chráněny slabým porostem trpí smyvem a vymíláním nejvíce. Do vodní eroze lze zahrnout pobřežní erozi, která je způsobena mořskou, jezerní a rybníční vodou. Podzemní voda zejména v krasových útvarech způsobuje mechanickou erozi (koraze) a chemickou erozi (koroze) (Janeček a kol., 2008).

Podle účinku rozlišujeme čtyři stupně vodní eroze:

1) Eroze plošná

Tento jev charakterizujeme jako rozrušování a transport půdní hmoty na celé ploše erodovaného území. Prvním stupněm plošné eroze je eroze selektivní, kdy povrchový odtok odnáší nejjemnější půdní částice a spolu s nimi také chemické a organické látky. Erodované půdy se tak stávají hrubozrnnější, s výrazně nižším obsahem živin a humusu. A to vede ke snížení úrodnosti půdy. Selektivní eroze na povrchu půdy nezanechává viditelné stopy a lze ji spolehlivě dokázat pouhým zrnitostním a chemickým rozbořem. Mezi další projevy plošné eroze může za

určitých podmínek např. střídání nedostatečně odolných a odolných vrstev v půdním profilu, patřit vrstevná eroze, kdy voda odnáší půdní hmotu po vrstvách a obvykle způsobuje ztrátu celé orniční vrstvy. Vyskytuje se převážně za přítomnosti přívalových dešťů, po plošných záplavách a můžeme se s ní setkat také při nesprávném zavlažování zemědělské půdy.

2) Eroze rýhová

Za déle trvajících srážek se na dlouhých svazích povrchově odtékající voda pozvolna soustředí a vytváří hustou síť úzkých zářezů (rýh) v půdním profilu, kde pak transportuje rozrušené půdní částice. Tento stupeň plošné eroze nese označení rýhová eroze, kdy při zvyšování objemu a rychlosti povrchově odtékající vody se rýhy spojují a vzniká méně hustá síť mělkých a širších zářezů v půdním povrchu označována jako síť brázd. Tento stupeň se pak označuje jako brázdová eroze. Při rýhové i brázdové erozi se vytvářejí zářezy v půdním povrchu hojných rozměrů, a proto ji nelze zahladit klasickou agrotechnickou operací.

3) Eroze výmolová (stržová)

Postupně soustřeďovaná povrchově stékající voda, která vyrývá v půdním povrchu mělké zářezy, které se postupně prohlubují, a tím vytváří výmolovou erozi. První stádium tvoří rýžková eroze, kdy v půdním povrchu vznikají drobné a úzké zářezy a brázdová eroze vyznačována mělkými a širšími zářezy. Postihují velkou část povrchu svahu a bývají označovány jako nejvyšší stádium plošné eroze. Z brázd a rýžek vznikají soustředěným odtokem hlubší rýhy, které se směrem po svahu pozvolna prohlubují a v tomto případě se jedná o erozi rýhovou, která přechází v erozi výmolovou a ta v erozi stržovou, která je velmi nebezpečná a způsobuje devastaci území.

4) Eroze proudová (bystřinná a říční)

Probíhá ve vodních tocích působením proudu vody. Je-li rozrušováno dno toku, jedná se o erozi dnovou a pokud jsou rozrušovány břehy, jde o erozi břehovou (Cáblík, Jůva. 1963).

2.2 Původ eroze

Erozní procesy, jejich vznik, průběh a intenzita jsou ovlivňovány kombinovaným působením řady přírodních a člověkem ovlivnitelných podmínek. Nejvýznamnějšími faktory eroze jsou:

2.2.1 Klimatické a hydrologické

- nadmořská výška
- zeměpisná poloha

- rozdělení, množství a intenzita srážek
- výpar, teplota, oslunění a odtok
- přítomnost, směr a energie větru (Janeček a kol., 2008)

Bissonnais a kol. (2002) uvádí, že zejména srážky jsou klíčovým faktorem ovlivňující vodní erozi. Podstatné je jejich působení ve vztahu kvantity k síle jeho intenzity. Když voda nemůže pronikat do půdy a nastává povrchový odtok pohybující se směrem po svahu dolů, nastává eroze. Když intenzita srážek přesáhne půdní infiltrační kapacitu nebo pokud dopadají srážky na nasycený povrch, ztrácí půda schopnost absorbovat vodu. Podle Holého (1978) je nejvíce půdní ztrátou postihováno zemědělství. K uvolňování a odnosu půdních částic dochází ve velkém měřítku. Opětovaně se v době intenzivních srážek smývá mělká vrstva půdy a obnažuje se půdní podklad, což má za následek velmi nepříznivé důsledky při dlouhodobém procesu utváření nově se vytvářející půdy jak v zemědělské, tak v lesní výrobě.

Negativní důsledky eroze je možné zaznamenat i mimo plochy, na nichž k erozi dochází, vlivem transportu a depozice materiálu. Výsledkem je např. snížení kapacit nádrží, koryt vodních toků, potažmo zvýšení rizika povodní atd. (Sklenička, 2003).

2.2.2 Morfologické

- délka a tvar svahu
- sklon území
- expozice a návětrnost (Janeček a kol., 2008)

Janeček a kol. (2008) ve svém díle uvádí, že se síla eroze zvětšuje s růstem délky svahu. Ta je formulována jako vodorovná vzdálenost od počátku místa bodu povrchového odtoku, kde se snižuje sklon, a tím dochází k nahromadění erodovaného materiálu.

Povrchový odtok vody po skloněném teritoriu zapříčiňuje vodní erozi. Za předpokladu deště a se zvětšujícím se sklonem a délkou svahu získá stékající voda větší rychlost, a tím má také větší destrukční účinek na povrch půdy. Se zmenšováním sklonu se zpravidla snižuje intenzita erozních procesů (Holý, 1978). Tvar svahů má vliv na průběh a intenzitu erozních procesů. Svahy jsou rozčleněny na vypuklé, přímé a kombinované. Tímto způsobem rozčleněné svahy zabezpečují různé průběhy erozních procesů, jelikož sklon jako převládající erozní součinitel, dosahuje na dílčích typech svahů hodnoty v maximu v různorodé vzdálenosti od rozvodí a náleží mu různorodá velikost sběrného teritoria. Erozní procesy projevují svůj maximální účinek v místech svahu, v nichž jsou vzdálenost a sklon v nejnepříznivějším poměru od daného rozvodí.

Expozici svahu udává jeho umístění vzhledem k postavení světových stran. Rychlejší tání sněhu v důsledku změn denních a nočních teplot zapříčiňuje sluneční expozice jižních a západních svahů. Důsledkem tohoto tání je zvýšený povrchový odtok vznikající ze sněhových vod, dále vymrzání vegetace a daleko intenzivnější narušování půdního substrátu. Ve srovnání se zastíněnými svahy, které exponují k severu a západu, zvyšují všechny tyto aspekty intenzitu eroze (Holý, 1978).

2.2.3 Půdní a geologické

- půdní druh, půdní typ
- povaha horninového substrátu

- textura a struktura půdy, její zvrstvení, vlhkost a obsah humusu (Janeček a kol., 2008)

Podle Holého (1978) je pro určení velikosti a časového průběhu infiltrace vody ze srážek do půdy rozhodující vnitřní uspořádání půdy a zároveň její vlhkost a zvrstvení. Dále obsah humusu a nasycenost sorpčního procesu a to hlavně pro rezistenci půdy proti vodní a větrné erozi. Na vznik a průběh eroze se působení geologických poměrů může projevovat přímo - rezistencí obnaženého geologického podkladu, který je vystaven styku s ovzduším a tekoucí vodou, a nebo nepřímo – působením půdního substrátu na povrchu, jehož vlastnosti udávají druh geologického podkladu.

2.2.4 Vegetační

- hustota a doba trvání pokryvu (Janeček a kol., 2008)

Vliv vegetace na intenzitu a průběh procesů eroze se projevuje chráněním povrchu půdy před účinkem větru a před dešťovými kapkami, které dopadají na půdní povrch přímo, zdokonalením biologických, chemických a fyzikálních půdních vlastností a snížením povrchového odtoku. Důležité je také upevnění půdy kořenovými systémy vegetace. Vegetace způsobuje zejména v zimním období pravidelné rozkládání sněhové pokrývky a v souladu s mírou vývoje snižuje riziko zamrzání půdy (Holý, 1978).

Nondedeu a Bédécarrats (2007) uvádí, že půdu proti vodní erozi ochraňuje vegetace a přispívá ke zvýšení infiltrační schopnosti půdy. Půdu ochraňují rostliny za pomoci svých listů a kořenů a zároveň snižují energii dešťových kapek, které dopadají na povrch půdy. Současně také vegetace působí jako fyzická zábrana měnící tok sedimentů na půdní povrch. Za vegetaci považujeme travní, lesní a keřové porosty. Nejvýraznější vliv na vytváření povrchového odtoku, a zároveň také na průběh a intenzitu eroze má lesní porost tvořený hustým korunovým zápojem, dostatečným stavem porostu a nepoškozenou vrstvou hrabanky. Lesní porost má výrazný vliv na vytváření odtoku, ve kterém se pomocí infiltrace srážkové vody, intercepce a retardace stékající vody po povrchu snižuje maximální odtok. Sklenička (2003) udává, že významným faktorem, ovlivňujícím retenční potenciál

lesů, je jejich zdravotní stav a dále poznamenává, že nenápadným, leč v konečném důsledku též velmi důležitým faktorem, je rovněž vznik druhotné hydrologické sítě vlivem pojezdu těžké lesní mechanizace a stahování dřeva.

Podobně jako u lesních porostů má příznivý vliv na rozsah a proces povrchového odtoku také travní porost s dostatečně vyvinutým drnem (Holý, 1978).

2.2.5 Postup obhospodařování a využívání půdy

- umístění a tvar pozemku
- střídání plodin
- ukazatel obdělávání

Janeček a kol. (2007) uvádí, že výběr vhodné velikosti pozemku je závislý na mnoha faktorech a v určitých případech je dohodnutým výsledkem obvykle dvou vzájemně a opačně účinkujících přírodních faktorů, které působí k utváření malých půdních celků a ekonomických faktorů, které naopak upřednostňují tvorbu dostatečně velkých pozemků. A z toho vyplývá, že zachovat vyhovující velikost pozemku bývá velice obtížné, neboť ve kterémkoli konkrétním případě se výsledkem stane různé zohlednění všech možných vlivů lokálních podmínek.

Obecnými příčinami jsou ignorace přírodních charakteristik a rezignace na tradiční zásahy rozumného využívání krajiny, byť i v historii lze nalézt některé aspekty, které nebyly v souladu s principy protierozní ochrany (např. řemenové parcely situované delší stranou po spádnicí). Tyto obecně formulované příčiny vedly postupně k vytváření rozlehlých pozemků (bloků), determinujících příliš dlouhé dráhy povrchového odtoku, k orbě po spádu, k degradaci optimální půdní struktury (nedostatečné organické hnojení, zhutňování půd), k odstraňování prvků rozptýlené zeleně (mezí, remízů), k nevhodné delimitaci kultur (orná půda na velkých svazích), k pěstování nevhodných plodin na erozně exponovaných místech (především kukuřice a okopanin) (Sklenička, 2003). Hospodařením na půdě by se měly připravit podmínky vhodné pro ideální sklizně, zdokonalit odolnost půdy proti účinkujícímu působení vody a větru, zprostředkovat vsakování vody, vytvořit předpoklady neškodnému vodnímu odtoku přicházejícího v podobě srážek na povrch území a zajistit zásobování vláhou.

Erozi nejlépe odolává půda s vyhovujícími biologickými, chemickými a fyzikálními vlastnostmi, které jsou podmínkou pro zrod drobkovité struktury. Podobné půdy jsou vyznačovány svou propustností, a také soudržností pro vodu. Obzvláště působivá je v půdě péče o vytváření sorpčně nasyceného komplexu, který podporuje výskyt organických látek, jež jsou dodávány zejména vápenatými hnojivy a komposty. Podrobnou analýzu péče o půdy předkládají náležité odborné publikace. Tvar a rozloha pozemku, který se zvolí pro rovinné území, by se měly v oblastech, které jsou ohroženy erozí upravit dle požadavků protierozní ochrany a měly by být přizpůsobeny reliéfu ovlivňujícího vodní a větrný systém území. Šířka pozemku by neměla přesáhnout povolenou mez.

Na území, které je ohroženo erozí by měly na půdách, kde je sklon větší než 5%, být pozemky svou delší stranou ve směru vrstevnic a měly by se také stejným směrem obhospodařovat. Za nejvhodnější tvar pozemku se považuje obdélník popřípadě rovnoběžník se svými vnitřními úhly a delší stranou ve směru obhospodařování. Nejvhodnější poměr stran a jejich délek je 1:2, 1:3 a nejvýše 1:6. Úsek pozemku na území, které není ohroženo erozí je dán ekonomickým využíváním mechanizačními prostředky. Nejvhodnější délka je od 500 m do 1000 m (Holý, 1978). Protierozní ochrana vyžaduje, aby u rozměru pozemku na orné půdě ve sklonu nepřesahoval přípustnou délku, která je stanovena pomocí vypočítané přípustné půdní ztráty vlivem eroze. Tato zásada má platnost jak pro pozemek, jenž je obděláván jako jednotný celek, tak pro skupiny pozemků, které jsou odděleny pouze hranicemi, jenž nejsou schopné zachytit povrchový odtok (Janeček a kol., 2007).

2.3 Důsledky vodní eroze

2.3.1 Důsledky ztráty půdy

Největší množství smyvu z půdy na jednotku plochy nevzniká na samotné orné půdě, nýbrž v důsledku velkého prostoru, kdy dochází k tomu, že celkový smyv je větší než kterýkoli jiný zdroj (Janeček a kol., 2008).

V průběhu vodní eroze charakterizovanou vyšší intenzitou, kdy dojde ke smyvu velké části půdního vrchního horizontu, nižší horizont s menším konspektem

organické hmoty a menší propustností, nepřijme v dostačující míře vodu ze srážek a půdní typ je v tom případě ochuzen o zdroj vláhy. A právě tento jev má v suchém období výrazný dopad na vegetační vývoj (Holý, 1978).

Ztráta půdy při erozních procesech postihuje nejvíce zemědělství. Velké rýhy, výmoly a strže vznikající vodní erozí rozdělí pozemky do různorodých celků, a to má za následek zhoršování možnosti mechanizovaného obdělávání. Uvolnění a odnesení půdních částic obvykle probíhá ve značném měřítku. Často se díky intenzivním srážkám smyje mělká vrstva půdy a půdní podklad se obnaží. Tento jev má v dlouhodobém procesu vytváření nové půdy jak pro zemědělskou, tak lesní výrobu značně nepříznivé důsledky. Vyčíslit hodnoty tohoto půdního odnosu je velmi těžké, spočívají totiž na množství, typu a formě živin, které se dostávají do půdy, a také na vlastnostech půdy (Holý, 1978). Tam kde jsou půdní agregáty ustáleny humusem, je zhoršení struktury půdy menší než jílem (Janeček a kol., 2008).

Ztráta živin na zemědělských půdách je značná a představuje závažný ekonomický problém zemědělské výroby. Ztráta živin rostlinného původu vede ke snížení výnosu a kvality sklizně. V průběhu erozních procesů s nízkou intenzitou ztrácí půda jemné půdní částice, a to způsobuje měnící se texturu a strukturu půdy a dochází ke snižování vodní kapacity půdy (Holý, 1978).

Další důsledek vodní eroze představuje degradaci půdy, která patří mezi nejvíce závažné problémy, protože ohrožuje produkční schopnost ekosystému. Samotná degradace půd pak vede kvůli svým vlivům na životní prostředí k sociálním a politickým nestabilitám v mnoha zemích po celém světě a má vliv na existenci lidstva. Nejčastěji je definována jako klesání kvality a produkční schopnosti půd, což je způsobeno špatným lidským využíváním půdy. Pojem degradace svědčí o spojení nepříznivých změn v celém koloběhu živin, a také v organické hmotě půdy, dále se jedná o změny ve struktuře a textuře půdy. Půda je pro nás nejcennějším přírodním bohatstvím. Je proto bezesporu nutné ji ochraňovat (Janeček a kol., 2008).

2.3.2 Důsledky transportu a sedimentace půdy

Zrnitostní skladba materiálu, který je smytý a opouští konkrétní pozemek, závisí na půdní zrnitosti, ze které se vytvořila (Janeček a kol., 2008).

Půdní částice, ukládající se na úpatí svahu, jsou uvolňovány díky povrchovému odtoku (Holý, 1978). Během transportu dochází k významné velikostní

selekcí. Jemný materiál v podobě suspenze určený pro transport, který je nezávisle k dispozici, určuje samotnou skladbu sedimentů (Janeček a kol., 2008).

Půdní částice díky transportu vytvářejí splaveniny zanášející jak přirozené, tak umělé vodní toky, a také vodní nádrže společně se stavbami, které jsou umístěny na tocích. Následně snižují nutnou kapacitu kanálů, toků a to má za následek distribuci dílčích odvětví vodního hospodářství a omezování funkce kanálů. Tato překážka zapříčiňuje zmenšování průtočné kapacity na tocích. Niveleta dna, která se zvyšuje s jednotlivými splaveninami v tocích. Vyvolává nebezpečí inundace a zvyšuje hladiny podzemních vod v sousedních územích. Splaveniny mají za následek zamokření území, ohrožení funkce a stavební činnosti na dílčích tocích (Holý, 1978).

Podstatné nebezpečí představují splaveniny, které se nacházejí ve vodních nádržích, a kde díky vlivu zanášení nastává omezení prostorové kapacity a dochází k celkovým překážkám během každodenního provozu. Ztráty, které jsou spojovány se zanášením velkého počtu vodních nádrží, způsobují celosvětový problém. Malé vodní nádrže, které jsou umístěny v horní části konkrétního povodí, se zanášejí velmi rychle a z tohoto důvodu bývají často během několika let vyřazeny z provozu. Výrazný vliv na ekonomiku mají veškerá zanášení vodních nádrží (Holý, 1978).

Náklady, které vznikají za účelem vyčištění toků a plavebních kanálů, bývají velmi vysoké a výrazně prodražují plavební chod. Mezi obzvláště nebezpečné řadíme bystřiny s transportem štěrku, ústící do splavného toku. Ohrožení technických staveb a měst způsobují pochody suťových proudů v horských oblastech, které jsou způsobeny přívalovými dešti (Holý, 1978).

2.3.3 Důsledky transportu chemických částic

V současnosti se půda dostává do kontaktu s obrovským množstvím látek chemického původu a různých druhů s odlišným toxickým stupněm. Transport těchto látek pak představuje pro společnost velké nebezpečí. Chemické látky se přivádějí k pohybu velice lehce a procesy eroze probíhají rozptýleně na rozlehlých plochách. A právě tento jev komplikuje navrhování účinných a ekonomicky dostupných protierozních opatření (Holý, 1978).

Chemické látky pronikají do vod povrchových a podzemních, významně ohrožují vodní zdroje (Holý, 1978). Ztrátu způsobující úbytek organické hmoty díky vlivu eroze doprovází ztráta základních živin, a to zejména dusíku a fosforu. Na

jednu tunu ztráty hmoty organického původu díky erozi spadá cca 60 kilogramů N, lépe řečeno díky smyvu jednoho centimetru půdy na jeden hektar ubude 300 kilogramů N (Janeček a kol., 2008). V mnoha vodních nádržích probíhá díky vysokému obsahu N společně s P eutrofizace, a vlivem tohoto jevu dochází ke snížení rekreačního či jiného využívání (Holý, 1978).

Významný zdroj těchto látek představují různá průmyslová hnojiva a pesticidy, které se používají v zemědělské výrobě. Chemické látky jsou z místa, kde jsou použity nebo uloženy transportovány větrem či vodou (Holý, 1978). Ztráta hmoty organického původu má významný vliv na efektivitu použití herbicidů, které často poškozují úrodu na půdách, kde proběhla eroze, a kde je tudíž nižší obsah organických látek, a to i přesto, že jsou naaplikovány ve správných dávkách (Janeček a kol., 2008).

2.4 Protierozní opatření

Zemědělská půda, nacházející se na svazích, potřebuje nezbytnou ochranu před vodní erozí, zajištěnou vhodně zvolenými protierozními opatřeními (Janeček a kol., 2008).

O použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje jejich účinnost, požadované snížení smyvu z půdy a nezbytná ochrana objektů jako jsou vodní zdroje, toky, nádrže, intravilány měst a obcí společným uznáním zájmů všech vlastníků, uživatelů půdy, ochrany životního prostředí a utváření krajiny (Janeček a kol., 2008).

Ve většině případů jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, vzájemně se doplňujících a respektujících současně základní požadavky a možnosti zemědělské výroby. Nemalou roli při volbě protierozních opatření hrají i náklady na jejich realizaci a platné legislativy – právní předpisy (Podhrázská, Dufková, 2005).

Při navrhování protierozních opatření vycházíme z hydrologického posudku celé části povodí, ze stávajícího uspořádání pozemků a současně jejich využívání, a také z odhadnutí nynějšího smyvu půdy. K samotnému navrhování protierozních

opatření přicházíme tehdy, jestliže na daném pozemku překročí vypočtený smyv tolerovaný smyv půdy (Toman, 1995).

2.4.1 Organizační opatření

V projektech komplexních pozemkových úprav navrhujeme na orné půdě organizační opatření ve spolupráci s dalšími protierozními opatřeními za předpokladu dobré spolupráce a zainteresování hospodařících subjektů (Janeček a kol., 2008).

Východiskem protierozních organizačních opatření je umístění pozemků, a to delší stranou ve směru po vrstevnici, zvolení vhodné velikosti a tvaru pozemku (Janeček a kol., 2007).

Dělení plodin dle rozdílného stupně ochrany půdy proti vodní erozi:

1. plodiny s vysokým protierozním účinkem po celou dobu vegetace – travní porosty, jetelotrávy, jeteloviny,
2. plodiny s dobrým protierozním účinkem po většinu vegetační doby – obilniny, meziplodiny, luskoviny,
3. plodiny s nedostatečným protierozním účinkem po většinu vegetační doby – kukuřice, brambory, cukrovka (Dumbrovský, Mezera, Střítecký, 2004).

Princip ochrany proti erozi pomocí organizačních opatření vychází ze znalostí příčin původu erozních jevů a zákonitosti jejich vývoje. Základní protierozní zásady:

- včasná lhůta výsevu plodiny,
- výsev víceleté pícniny do krycí plodiny, posunutí podmínky do období, kdy dochází k nižšímu výskytu přivalových dešťů (září)
- zařazení bezkrevně seté meziplodiny,
- rozmístění plodiny dle ohroženosti pozemků (Janeček a kol., 2007).

Mezi organizační opatření řadíme:

1. delimitace kultur zatravněním a zalesněním (změny druhů pozemků),
2. protierozní osevní postup,
3. návrh velikosti a tvaru pozemku,
4. ochranné zatravnění,
5. pásové střídání plodin (Holý, 1978).

Delimitace kultur zatravněním a zalesněním:

Delimitací druhů pozemků rozumíme prostorovou a funkční optimalizaci pozemku, který slouží k pěstování dílčích kultur a tvoří rozčlenění v organizaci ZPF na půdu ornou, zahrady, louky, pastviny, vinice, sady a chmelnice (Janeček a kol., 2007).

Ochranné zalesňování se nejvíce uplatňuje jako tzv. plošné zalesňování popř. jako ochranné lesní pásy. Velmi účinnou protierozní půdní ochranu zajišťuje hustý smíšený les, který je charakterizován hojným bylinným patrem a půdou, která je pokryta silnou vrstvou tvořenou hrabankou (Janeček a kol., 2007).

Protierozní osevní postup:

Rozmístění plodin ovlivňuje vznik a proces povrchového odtoku a protierozní rezistenci půdy (Holý, 1978).

Základním principem, který zajišťuje ochranu půdy před vodní erozí, je pěstování plodiny, která nedostatečně chrání půdu proti erozi (okopaniny, kukuřice a další širokořádkové plodiny) na rovinných nebo částečně sklonitých pozemcích. Podle protierozní účinnosti během tradičního pěstování můžeme seřadit plodiny od nejvyšší k nejnižší účinnosti – porosty travní, jetel, vojtěška, ozimá obilnina, jarní obilnina, ozimá řepka, hrách, okopaniny (brambory, kukuřice, cukrovka) (Janeček a kol., 2007).

Kultury poskytující rozmanité předpoklady pro vsakování vody do půdy, a tím pro proces povrchového odtoku, upevňují půdu vlastními podzemními strukturami, vylepšují její biologické, chemické a fyzikální vlastnosti, brání neúčinnému vypařování a mají vliv na větrné proudění. V erozně ohroženém území

by proto mělo být rozmístění plodin podmíněno zejména potřebám protierozní ochrany (Holý, 1978).

Návrh velikosti a tvaru pozemku:

Vhodnou velikost pozemku ovlivňuje působení obvykle dvou navzájem protichůdně působících faktorů. Přírodní faktory působí k vytváření menších půdních celků a ekonomické faktory upřednostňují naopak tvorbu dostatečně velkých pozemků viz kapitola **2.2.5 Způsob obhospodařování a využívání půdy**

Ochranné zatravnění:

Ochranné zatravnění používáme na takových pozemcích, které z důvodu ztráty půdy díky erozi nemůžeme využít jako půdu ornou. Nejlepší protierozní ochranou je ideálně začleněný travní porost. K vytvoření kvalitního vegetačního krytu preferujeme výběžkaté trávy, které vytvářejí pevný drn (Janeček a kol., 2008).

Pásové střídání plodin:

Pásovým střídáním plodin rozumíme střídání pásů s plodinami, které nedostatečně chrání půdu před erozí jako jsou obiloviny a okopaniny, s pásy chránícími – porosty travní, které ochraňují plodinový pás, který leží níže.

Ochranné pásy rozdělujeme na:

- plodinové pásy vrstevnicové – poskytují ochranu proti vodní erozi,
- plodinové pásy protideflační – chrání půdu proti větrné erozi (Holý, 1978).

Šířka jednotlivého pásu závisí na délce a sklonu svahu, náchylnosti půdy k erozi a na propustnosti půdy. Doporučuje se pás široký od 20 m do 40 m dle sklonu pozemku. Počet pásů je pak závislý na délce u jednotlivých svahů, kterou je obvykle potřeba přerušit průlehy, popřípadě příkopy (Janeček a kol., 2008).

2.4.2 Agrotechnická opatření

Mezi nejvíce závažná opatření zařazujeme právě agrotechnická opatření, protože jsou záležitostmi rozhodujícího podílu půdy zemědělské, tzn. půda orná a

dlouhodobé kultury, jako jsou ovocné sady, vinice, chmelnice. Jedná se o 4/5 neboli 82% zemědělského půdního fondu, kde 46% zaujímají plochy se svojí svažitostí, která je vyšší než 8%. Tyto plochy jsou více náchylnější k erozi, neboť jsou dlouhou dobu bez pokryvu vegetace (Pasák a kol., 1974).

Půda, která nevykazuje známky vegetačního pokryvu, podléhá erozi nejvíce. Agrotechnická opatření bývají založena na minimalizaci časového úseku, tehdy když půda nemá vegetační pokryv. K ochraně půdy před erozí můžeme využít posklizňové zbytky plodiny. Nejrizikovějším obdobím u vodní eroze je doba sněhového tání, a obzvláště potom období přítomnosti přívalových dešťů od června do srpna (Janeček a kol. 2007).

Agrotechnická protierozní opatření používáme pro zlepšení vsakovacích možností půdy, ke zvýšení odolnosti proti erozi, a také k ochraně povrchu v dobách přítomnosti přívalových srážek, kde širokořádkové plodiny svým vzrůstem a zapojením, kryjí půdu nedostačujícím způsobem (Janeček a kol., 2008).

Mezi agrotechnická opatření řadíme:

1. výsev do ochranné plodiny nebo do strniště,
2. protierozní agrotechnologie,
3. hrázkování a důlkování povrchu půdy,
4. zatravnění nebo krátkodobé porosty v meziřadí,
5. mulčování (Janeček, 2007).

Protierozní osevní postupy:

Osevní postup znamená rozmístění zemědělských kultur do honů tak, aby se pravidelně za určitý počet let vystřídaly. Za správného použití jsou osevní postupy výrazným prostředkem, který ochraňuje půdu proti erozi (Holý, 1978).

Ke zvýšení rostlinné výroby, úrodnosti půdy, organizaci a ekonomiky zemědělských podniků, dále k ochraně půdy, vodních zdrojů a samotné krajiny, mají svůj velký význam osevní postupy (Kokolia a kol., 1989).

Aby byla zachována úrodnost půdy a zajištěny vysoké výnosy, střídají se plodiny v rotaci a zřetel je brán na předplodinu. V našich podmínkách je vhodná základní struktura osevního postupu daná zastoupením 45-50% obilovin, 30% okopanin a 25-30% pícnin společně s luštinami. Osevní postupy a jejich složení volíme tak, aby se v průběhu rotace vyskytlo co největší množství plodin

s ochranným účinkem – např. traviny a vojtěška. Plodiny okopaninového typu, které mají nedostatečný ochranný účinek, zvyšují účinek půdní eroze (Holý, 1978).

Vyřešení osevních postupů je obtížný a komplikovaný plán, který vyžaduje komplexní přístup, jak ve všech ekonomických, tak ekologických kritériích (Kokolia a kol., 1989).

Ochranné obdělávání půdy:

Ochranné obdělávání půdy tvoří systém pěstování plodin udržující přinejmenším 30% zbytků rostlinného původu na půdním povrchu, což přispívá ke snížení eroze. Jedná se převážně o obdělávání redukované, které zmenšuje slučováním počet operací během ochrany půdního povrchu pomocí rostlinných zbytků. Takovýto ochranný systém půdy ochraňuje půdní povrch proti eroznímu působení, a to díky zapojení porostu pěstovaných plodin, popřípadě zanecháním posklizňových zbytků. Namísto orby se půda jen nakypří. Posklizňové zbytky se při bezorebném zpracování zapravují pouze z části do půdy a na povrchu se pak vytváří mulč (Janeček a kol., 2008).

2.4.3 Technická opatření

Přechod mezi agrotechnickými, biologickými a technickými opatřeními není ostře ohraničen, obvykle se opatření spojují v účelný soubor. Jako technická se zpravidla označují ta opatření, jež vyžadují kromě agrotechnických a biologických zásahů i zásahy technické, spočívající ve větších úpravách půdního povrchu, jako je např. vytváření průlehů, příkopů, hrázek, teras aj. (Holý, 1978). V případě, že nelze dosáhnout hodnoty přípustné půdní ztráty za pomoci organizačních opatření nebo když je vyřešení eroze pomocí technických opatření prospěšnější, používají se právě tato opatření. Rozsah těchto opatření je ale nezbytné zredukovat na co nejmenší počet, neboť se řadí mezi nákladná protierozní opatření (Toman, 1995).

Technická protierozní opatření zmenšují intenzitu erozních procesů tím, že působí na dva základní morfologické faktory (na sklon a na délku svahu) a vytvářejí podmínky přeměny povrchového odtoku na odtok podzemní (Holý, 1978).

Janeček a kol. (2008) uvádí, že tato opatření obvykle slouží pro vyrovnání terénních příčných nerovností, a také ke zredukování podélného sklonu na značně

svažitých pozemcích, dále jako ochrana proti tzv. „cizí“ vodě, která může vytékat z lesních porostů, a ke zpomalování odtoku z povrchu půdy. Zemní úpravy (terénní urovnávání, terasy, meze aj.) řadíme do první skupiny opatření a hydrotechnické prvky (příkopy, ochranné hrázky, nádrže aj.) do druhé skupiny.

K uvedeným opatřením je nutno přiřadit technická opatření prováděná v rámci organizace povodí, jako je např. úprava toků, výstavba komunikační sítě, závlahových systémů atd. (Holý, 1978).

Mezi technická opatření řadíme:

1. protierozní průlehy,
2. protierozní meze,
3. zasakovací pásy,
4. protierozní nádrže,
5. protierozní příkopy,
6. terasování (Dumbrovský, Mezera, Střítecký, 2004).

Průlehy:

Ochrana obdělávanými průlehy spočívá ve vytváření systému širokých mělkých příkopů – průlehů, jež zachycují povrchově stékající vodu. V průlezech bez podélného sklonu se vsakuje voda do půdy, průlehy s podélným sklonem odvádějí vodu mimo ohrožené území (Holý, 1978).

Rozdělujeme průlehy nezpevněné, obdělávané v rámci orné půdy, popřípadě zpevněné - osetím. Své účinnosti nabývají v terénu se sklonem 5-15%, ojediněle do 18% (Toman, 1995).

Jsou navrhovány k zachycení, infiltraci a k odvodu krátkodobého odtoku z povrchu, který je způsoben přívalovým deštěm, popřípadě náhlým táním z jara a považujeme je za jedno z nejvíce účinných protierozních opatření. Mělké, obvykle jen široké a zpevněné příkopy za pomoci vegetace se sklony 1:5 a 1:10. Z hlediska funkce navrhujeme průlehy:

- záchytné – slouží ke chránění pozemku před cizí vodou,
- sběrné

vsakovací – nulový popř. malý podélný sklon, vhodnost pro propustné půdy

odváděcí – vodu z pozemku odvádějí do svodných průlehů (příkopů),

- svodné – podoba zatravněných drah soustředěného povrchového odtoku (Janeček a kol., 2008).

Protierozní nádrže:

Představují jedno z neúčinnějších opatření, které reguluje odtok vody, a zároveň zachycuje náplavy tzn. transportované splaveniny. Zachytný prostor by měl zachytit objem odtékající vody z přívalových dešťů, jarního tání v periodě 50 let. Výhodným řešením mohou být i tzv. suché nádrže, které jsou naplněné pouze při zvýšení odtoku (Toman, 1995).

Protierozní funkce nádrží záleží zejména na polohovém umístění, vliv má technické uspořádání, provoz a údržba. Aby nádrže plně zvládly erozně nebezpečný odtok v povodí, je účelné zakládat je v soustavách. Nádrže umístěné v nejvyšších místech povodí, na němž se začíná soustřeďovat povrchový odtok, vytvářející nebezpečí vzniku intenzivních projevů výmolné eroze, zachycují srážkové přívaly a jarní sněhovou vodu a vlivem svého retenčního účinku umožňují později neškodný odtok vody do nádrží v nižších polohách, jež mají převážně účel akumulární a hospodářský (Holý, 1978).

Správně založená soustava nádrží pomáhá vyrovnávat odtok vody z povodí, čímž je chrání před rozvinutím erozních procesů a umožňuje zároveň využít zachycenou vodu k různým hospodářským účelům.

Příkopy:

Příkopy jsou na pozemcích navrhovány jako dílčí prvky, popřípadě jako otevřená soustava, dále jako zpevněné nebo nezpevněné, v příčném profilu do tvaru lichoběžníku (Janeček a kol., 2008).

Na území, které je ohrožováno erozí a kde je sklon $< 20\%$, slouží k zachycení a odvádění stékající vody po povrchu, popřípadě umožňují lepší vsakování vody. Na základě funkce se rozdělují na příkopy záchytné, odváděcí a vsakovací (Holý, 1978). Dle Tomana (1995) se mohou rozdělovat na příkopy svodné, záchytné nebo sběrné.

Z hlediska funkce navrhujeme příkopy:

- záchytné (obvodové) sloužící ke chránění pozemků před přítokem vnějších vod,
- sběrné k zachycení vnitřních vod, obvykle omezující nepřerušené délky povrchového odtoku,
- svodné zajišťující neškodný odtok do recipientu (Janeček a kol., 2008).

Terasování:

Terasy přináší možnost ochraňovat proti erozi extrémně svažité pozemky se sklonem $>20\%$ zejména u hlubokých a velmi hlubokých půd. Tímto protierozním opatřením se současně vytvářejí podmínky pro zemědělské využívání na velice svažitých pozemcích, a to zejména pro pěstování kultur trvalého charakteru (vinice, sady). Optimálně by terasy měly vytvářet útvary vyhovující pozemkům a zajišťovat přístupnost a optimální řízení vodohospodářských poměrů. Vybudované úzké terasy se šířkou terasové plošiny umožňují výsadbu jedné popřípadě dvou řad vinné révy nebo ovocných stromů. Naproti tomu široké terasy se šířkou terasové plošiny umožňují výsadbu třech a více pásem nebo pěstování všedních plodin (Janeček a kol. 2007).

Terasy se budují také jako stupňovité, pomocí nichž se na hlubokých půdách upravují svahy s velkým sklonem. Tvar a výška stupňovitých teras závisí na sklonu pozemku a na způsobu, kterým je daný pozemek obhospodařován (Holý, 1978).

Pro svou technickou a ekonomickou náročnost se zde u nás tento způsob protierozní ochrany téměř neprovádí. Avšak nalezneme zde také problémy spojené s vlastnictvím pozemků ve zterasovaném území a se špatným technickým stavem teras (zborčené svahy, zaplavení apod.) (Janeček a kol. 2007).

3 Cíl práce

Cílem práce je vyhledání a porovnání metod výpočtu vodní eroze a to jak metod současně používaných, tak metod, které se používaly v minulosti. Jednotlivé postupy budou ověřeny na modelové části povodí. Erozní modely se z hlediska výpočtu rozdělují na dvě skupiny. První skupinu tvoří empirické erozní modely vycházející z dlouhodobého experimentálního sledování měření v terénu a vlivu jednotlivých erozních faktorů na erozi. Tato skupina modelů je méně náročná na výpočet a vstupní data, nevýhodou je menší přesnost měření. Druhá skupina simulačních erozních modelů vychází z fyzikálního popisu erozního procesu a pomocí matematického způsobu řeší jeho prostory a časový průběh. Díky tomu odstraňuje nevýhody empirických modelů. Pro svojí náročnost na výpočet a vstupní data je nutné použití výpočetní techniky.

4 Metodika

Pro zpracování základní metodiky byly zvoleny dva postupy pro výpočet:

1. Univerzální rovnice pro výpočet průměrného ročního odnosu zeminy - USLE a
2. Revidovaná rovnice pro výpočet ztráty půdy - RUSLE. Dále bylo vybráno deset prototypů okamžitého odnosu zeminy.

4.1 Metody výpočtu průměrného ročního odnosu zemin

4.1.1 Metoda USLE (univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy)

Za původní empirický model procesu eroze je považován vztah odvozený Zingem (1940) sloužící k odhadu průměrné roční ztráty půdy vodní erozí na bázi objemného výzkumu dopadu sklonu a délky svahu:

$$G=C.S^{1,4}.L^{0,6}$$

Kde jednotlivé konstanty představují:

G - průměrná roční ztráta

S - sklon svahu

L - délka svahu

C – konstanta zahrnující ostatní faktory,

které ovlivňují erozi

Následující uvedené presumpce intenzity vodní eroze tvoří historický vývoj předpovědních postupů v USA vyplývajících ze zdokonalení teorie vodní eroze, která byla založena na dlouhodobém terénním a laboratorním erozním výzkumu.

V roce 1941 rozšířil Smith (1941) Zinggovu rovnici do tvaru:

$$G=C.S^{7/5}.L^{3/5}.P$$

Kde jednotlivé konstanty představují: P - faktor protierozního opatření

C – faktor, který zahrnuje vliv klimatu, půdy a vegetačního pokryvu

S - sklon svahu

L - délka svahu (Janeček a kol., 2008).

R. K. Frevert vytvořil nový empirický model pro stát Iowa (USA) tzv. Frevertovu rovnici, která se odlišuje od původní tím, že zařazuje více erozních faktorů.

$$G = 10 \cdot (K' \cdot O' \cdot L' \cdot S' \cdot C' \cdot P')$$

Kde jednotlivé konstanty představují: G - průměrná roční ztráta půdy

K - faktor erodovatelnosti půdy

O - faktor geologického podkladu

L - faktor délky svahu

S - sklon svahu

C - faktor vegetačního pokryvu

P - faktor druhu protierozních opatření

10 – koeficient, který vyjadřuje vliv klimatu (srážek) na proces vodní eroze (Holý, 1978).

V roce 1946 započalo v rámci SCS působit výzkumné shromáždění pod dozorem Musgravi a výsledným dílem celého týmu byla „rovnice Musgrava“ ve tvaru:

$$G = K \cdot C \cdot S^{1,35} \cdot L^{0,35} \cdot R^{30} \cdot 1,75$$

Kde jednotlivé faktory představují: G - roční ztráta půdy (jednotka = palce)

K - faktor erodovatelnosti půdy

C - faktor účinku vegetačního krytu

S - sklon svahu (%)

L - délka svahu

R - úhrn 30 min. deště s periodicitou $p=0,5$

(Musgrave, 1947).

V roce 1947 pak byla ve státě Missouri vytvořena rovnice sloužící k odhadu velikosti ztrát půdy:

$$G = A \cdot S \cdot L \cdot K \cdot P$$

Kde jednotlivé faktory představují: A - průměrná roční ztráta půdy na pozemku se sklonem 3%, délkou 27,43 m s jílovitohlinitými půdami

S - faktor sklonu

L - faktor délky

K - faktor druhu půdy

P - faktor protierozních opatření

Zdražil (1965) upravil a doplnil o vliv organického hnojení Frevertovu rovnici sloužící pro vyhodnocování erozní ohroženosti a k odhadování ekonomických vlivů protierozních opatření u nás:

$$X = 0,63 \cdot G \cdot P \cdot S \cdot D \cdot H \cdot O \cdot PO$$

Kde jednotlivé faktory představují: X - průměrná ztráta půdy (mm/rok)

G - koeficient geologického podkladu

P - koeficient druhu půdy

S - koeficient sklonu pozemku

D - koeficient nepřerušené délky pozemku svahu

H - koeficient hnojení

O - koeficient osevního postupu

PO - koeficient druhu protierozní ochrany

U výpočtu metodou USLE se vychází z univerzální rovnice Wischmeier – Smith, která počítá smyv vynásobením šesti faktorů ovlivňujících hodnotu smyvu. Rovnice byla formulována pro území USA za účelem zjištění dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí na jednotlivých pozemcích. Vypočítaná ztráta se porovnává s hodnotami přípustné ztráty. Toto srovnání upozorňuje na pozemky, u nichž dochází z dlouhodobého hlediska k větší ztrátě půdy, než se dokáže na daném místě vytvořit přirozenými půdotvornými procesy. Tyto pozemky je pak nutné podrobit důkladnějšímu šetření z hlediska návrhů protierozních opatření. Použitím uvedené rovnice se zjistí dlouhodobá průměrná roční ztráta půdy. Rovnici nelze použít pro kratší než roční období, tím méně pro zjištění půdy erozí z jednotlivých srážek (Toman, 1995).

Univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí z pozemků dle Wischmiera – Smithe:

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

Kde jednotlivé faktory představují: G - průměrná dlouhodobá ztráta půdy ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$)

R - faktor erozní účinnosti deště vyjádřený v závislosti na četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě kinetické energie deště

K - faktor erodovatelnosti půdy vyjádřený v závislosti na skladbě ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti

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

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

P - faktor účinnosti protierozních opatření (Hovorka a kol., 1990).

Analýza dílčích faktorů:

Faktor R-erozní účinnosti deště

Sklenička (2003) a Janeček a kol. (2008) definují ve svých publikacích R-faktor erozní účinnosti deště ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{H}^{-1}$) jako součin celkové kinetické energie deště- E ($\text{J} \cdot \text{m}^2$) a maximální 30-ti minutové intenzity deště i_{30} ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$).

Erozní účinnost dešťových srážek se nejvýrazněji projevuje na začátku erozního procesu, v té době, kdy dešťové kapky dopadají na povrch půdy, a kde se dosud nevytvořila vrstva povrchově odtékající vody.

V USA vznikl na bázi velkého množství nashromážděných dat o dešťových srážkách vztah pro faktor erozní účinnosti deště R:

$$\mathbf{R = E \cdot i_{30}/100}$$

Kde jednotlivé konstanty představují:

R – faktor erozní účinnosti deště ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)
E - celková kinetická energie deště ($\text{J} \cdot \text{m}^2$)
i_{30} max. 30-ti minutová intenzita deště ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)

Souhrnná kinetická energie deště E je pak vyjádřena jako:

$$\mathbf{E = \sum E_i}$$

Kde jednotlivé konstanty představují:

E_i – kinetická energie i-tého úseku deště ($\text{J} \cdot \text{m}^2$)
N – počet úseku deště

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

Kde jednotlivé konstanty představují:

i_{si} – intenzita deště i-tého úseku ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)
H_{si} – úhrn deště v i-tém úseku (cm)

(Janeček a kol., 2008).

Faktor K - erodovatelnosti půdy

Tento faktor vyjadřuje erodovatelnost nebo-li náchylnost půdy k erozi. Jeho hodnota závisí na zrnitostním složení půdy, na obsahu organických částí, na struktuře a propustnosti.

Půdní vlastnosti mají vliv na infiltrační schopnost půdy a rezistenci povrchu půdy a půdních částic proti rozrušujícímu účinku dopadajících dešťových kapek a transportu pomocí povrchového odtoku. Faktor erodovatelnosti půdy nebo také náchylnosti půdy k erozi je všeobecnou rovnicí formulován jako odnos půdy v t.ha⁻¹ na jednotku dešťového faktoru R ze standardního pozemku o velikosti 22,13 m (na svahu se sklonem 9%), který je pěstován jako kypřený černý úhor kultivací ve směru sklonu. V případě, že obsah prachu práškového písku (0.002-0.1 mm) v půdě nepřesahuje 70%, můžeme faktor K určit pomocí vztahu:

$$100K=2,75 M 1,14 10^{-4/12-a}/+3.25/b-2/+2.5/c-3/$$

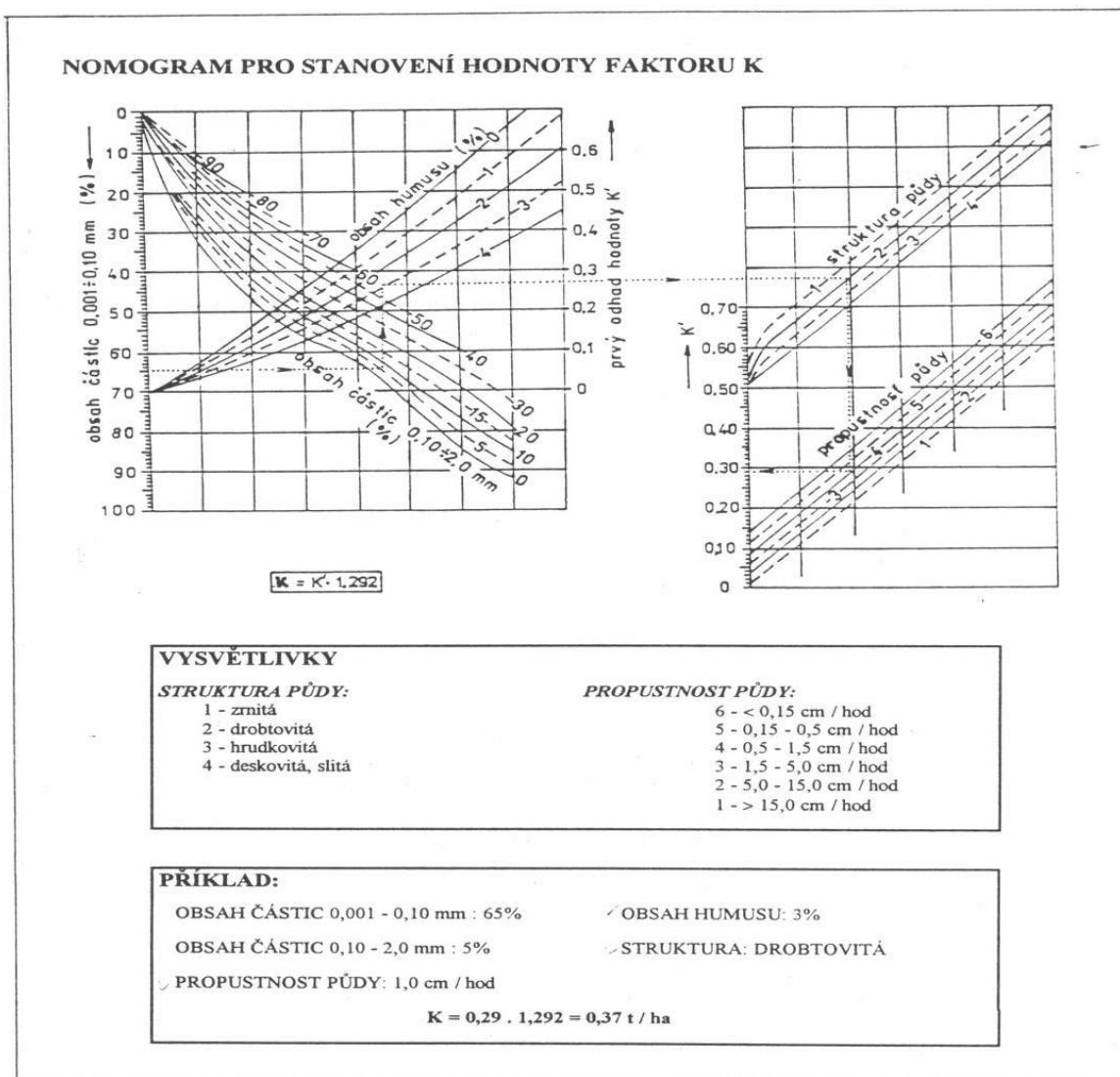
Kde jednotlivé konstanty představují: M - (% prachu + práškového písku) x (100 - % jílu) (% prachu + % práškového písku = částice 0,002 + 0,1 mm, % jílu = částice < 0,002 mm)

a- % organické hmoty

b- třída struktury ornice

c- třída propustnosti půdního profilu

Obrázek 1: Nomogram pro odvození K faktoru



[Zdroj: FSV ČVUT, 2004]

Faktor L – délky svahu

Definice udává jednotku délky pozemku 22,13 m a klon 9%. Rovnice sloužící k výpočtu faktoru délky vztahu je:

$$L = (\lambda / 22,13)^m$$

Kde jednotlivé konstanty představují: 22,13 – délka normovaného pozemku (m),

λ – horizontální zobrazení nepřerušené délky svahu,

m – exponent délky svahu, který vyjadřuje náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze (Kinnell, 2001).

Faktor S - sklonu svahu

Ztráta půdy se zvyšuje s narůstajícím sklonem svahu. Hodnota tohoto faktoru se stanovuje za pomoci dvou vztahů:

$$S = 10,8 \sin s + 0,03 \text{ pro } s < 9\%$$

$$S = 16,8 \sin s - 0,50 \text{ pro } s > 9\%$$

K formulaci vlivu proměnného sklonu svahu, popřípadě k formulaci vlivu změn půdních vlastností (K) na svahu na ztrátu půdy erozí, můžeme svah rozdělit na 10 totožně dlouhých segmentů a faktor sklonu svahu S určit jako průměr faktoru S , popřípadě K dílčích úseků. Konečná hodnota faktoru sklonu svahu S určená pro svahy nepravidelného tvaru se určuje od nejvyšší polohy S_1 po nejnižší polohu S_{10} pomocí vztahu:

$$S = 0,03. S_1 + 0,06. S_2 + 0,07. S_3 + 0,09. S_4 + 0,10. S_5 + 0,11. S_6 + 0,12. S_7 + 0,13. S_8 + 0,14. S_9 + 0,15. S_{10}$$

Kde: S - hodnota faktoru S pro i -tý úsek svahu, který je rozdělen na 10 stejně dlouhých úseků

Faktor C - ochranného vlivu vegetace

Vliv vegetace na půdě je obsažen ve faktoru C , který se nazývá ochranný vliv vegetace. Porosty chrání povrch půdy před dopadajícími kapkami a zpomalují povrchový odtok, a tím zlepšují půdní vlastnosti, které jsou důležité z hlediska vodní eroze.

Ochranný vliv vegetace vyplývá z pokryvnosti a hustoty porostu v období vydatného výskytu přívalových dešťů (v měsících duben – září). Z tohoto důvodu představují porosty trav a jetelovin dokonalou protierozní ochranu. Naopak mezi

plodiny nejméně chránící půdu patří širokořádkové plodiny jako je kukuřice, okopaniny, řepka, obilniny jarní a ozimé.

Celý rok je rozdělen do pěti období pro každou plodinu v závislosti na aktuálním stavu pozemku a porostu. Pro tato období je dána dílčí hodnota faktoru C:

1. období - podmítka a hrubá brázda
2. období - příprava pozemku k setí do 1 měsíce po zasetí
3. období po dobu druhého měsíce od jarního či letního setí či sázení (u ozimu do 30. 4.)
4. období - od konce 3. období sklizně
5. období - strniště (Wischmeier a Smith, 1978).

Faktor P - účinnosti protierozního opatření

V případě, že jsou na svahu pozemku aplikována některá opatření proti erozi (například hrázkování, vrstevnicové obdělávání, terasování aj.), jejich vliv je také zahrnován do výpočtů. Pokud se jedná o přímé řádky libovolného směru, při výpočtu se volí číslo 1 (Agroprojekt, 1987).

Tabulka 1: Přípustná ztráta půdy vodní erozí

Hloubka půdy	[cm]	G – přípustné [t / ha / rok]
Mělké půdy	0 – 30	1
Středně hluboké půdy	30 – 60	4
Hluboké půdy	nad 60	10

[Zdroj: vlastní]

Je-li vypočtená průměrná ztráta půdy větší než přípustná ztráta, je nutno na pozemku zajistit protierozní ochranu (Sklenička, 2003).

4.1.2 Metoda RUSLE (revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy)

Ze zkušeností s aplikací tzv. Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), nastalo v 90. letech prověřování, aktualizace a úpravy, které vedly ke změnám a jednotlivým způsobům stanovení faktorů v rovnici, a následně byla rovnice pojmenována jako „Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy (RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation). RUSLE se stejně jako USLE používá pro predikci dlouhodobé průměrné

roční ztráty půdy vodní erozí ze zemědělsky využívaných pozemků ležících v klimatické oblasti daného typu, s daným druhem půdy, o určitém sklonu a délce svahu, při určitém systému pěstování plodin, obdělávání půdy a uplatňování protierozních opatření. Lze ji však aplikovat i pro území s nezemědělským využitím, např. na staveništích (Janeček a kol., 2008).

Díky nenáročné datové náročnosti a zřetelné struktuře prototypu je Universal Soil Loss Equation (USLE) v současnosti nejoblíbenější a nejvíce rozšířený model určený k získání předpovědi rizika u vodní eroze a pro plánování nejrůznějších opatření k ochraně půdy. Tento erozní model přijala v USA roku 1958 Služba ochrany půdy (Raclot a Alberger, 2006).

RUSLE je také volně přístupná na internetu ve formě počítačového programu. Program RUSLE stanovuje hodnoty některých faktorů na základě algoritmů používaných v USLE. RUSLE umožňuje řešiteli předpovědět průměrnou velikost ztráty půdy pro každou z mnoha možných kombinací systémů obdělávání, osevního postupu a ochranných opatření na konkrétním místě. Jsou – li tyto předpokládané ztráty půdy porovnány s hodnotami přípustné ztráty půdy pro vyšetřovanou lokalitu, dává RUSLE v rozmezích určitých limitů podklady pro návrhy protierozních opatření (Janeček a kol., 2008).

Zhang a kol. (2013) se ve svém díle vyjadřuje o tom, že i skrz velké nedostatky jsou Universal Soil Loss Equation (USLE) a revidované Universal Soil Loss Equation (RUSLE) dosud nejvíce používané rovnice sloužící k odhadování půdní eroze. A to zejména díky jednoduchosti aplikace rovnice a chopnosti předpovědět průměrnou a dlouhodobou erozi na jednotkové ploše.

Výstupem RUSLE ani USLE není množství splavenin. Množství splavenin totiž nelze ztotožnit se ztrátou půdy, splaveniny představují erodované půdní částice, které byly transportovány do místa v povodí, ležícího v určité vzdálenosti od původního místa jejich uvolnění. Množství splavenin v povodí je dáno erozí ze zdrojových ploch v povodí a v hydrografické síti po odečtení množství, které se v území usadilo (Janeček a kol., 2008).

Rusle stále neposkytuje odhady klasické rýhové eroze, půdní selhání hmoty ani eroze v nenarušených lesích. Dále neposkytuje informace o ztrátě půdy z povodí, i když technologie RUSLE by mohla být použita k nahrazení faktorů u USLE pro model MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation = modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy) určený pro tento účel (Williams, 1977).

RUSLE vznikla na bázi revize a aktualizace USLE a vyjadřuje změny ve způsobu určení jednotlivých faktorů eroze:

Faktor R: přezkoumání a aktualizace existujících isoerodentních map pro celé území USA, upřesnění časového průběhu hodnot faktoru R v 15-ti denním intervalu, určení faktoru R v oblastech s nevelkými sklony.

Faktor K: stanovení časového průběhu hodnoty faktoru erodovatelnosti půdy v dopadu zhutňování povrchu půdy a rozpadání půdních agregátů díky vlivu srážek a obhospodařování, vzhledem k objemovým změnám, které jsou vyvolány mrznutím a táním zahrnutí vlivu skeletu na povrchu půdy a v půdním profilu na propustnost půdy.

Faktor LS: nastolení nového vztahu pro vliv délky a sklonu svahu, uvažující poměr rýžkové a mezi rýžkové eroze, zpřesnění hodnoty sklonu svahu pro stanovení ztráty půdy.

Faktor C: upřesnění faktoru, který slouží k hodnocení vlivu dílčích druhů zemědělských plodin a současně ke způsobům jejich pěstování pro nevyužívané půdy, pastviny, poškozené lesy, území s povrchovou těžbou surovin, rekultivované plochy a staveniště, včetně zařazení vlivu předcházejícího využívání půdy, pokryvu půdy a druhu vegetace, drsnosti půdního povrchu tak, že se určuje SLR (soil – loss ratio) jako poměr ztráty půdy při současných hospodářských podmínkách, ke ztrátě půdy za normálních podmínek (úhor):

$$\mathbf{SLR = PLU . CC . SC . SR . SM}$$

SLR se určuje pro jakýkoli interval, ve kterém můžeme očekávat kontaktní podmínky (max. 15 dní). Jakékoli této hodnotě je přidělen náležitý segment erozní účinnosti deště (EI) za dané období.

Na rozdíl od USLE vyžaduje RUSLE větší množství vstupních dat, což na jedné straně umožňuje přesnější popsání zájmové lokality a vede k přesnějším výsledkům, na druhé straně však přináší problémy s možnostmi jejich získání (Janeček a kol., 2008).

4.2 Metody výpočtu okamžitého odnosu zemin

Empirický základ klasifikace velikosti erozních procesů se v současné době nahrazuje kvalitativně vyššími metodami, a to z důvodu současné úrovně znalosti v oborech, kde se zkoumají vztahy způsobující erozi, vývojem výpočetní techniky (včetně GIS), a především přechodem v prioritách ochrany proti erozi. Erozi je třeba posuzovat nejen ve vztahu k ochraně půdy, ale také k ostatním ekologickým dopadům.

A proto vznikají simulační modely erozních procesů, řešící erozní jevy na bázi fyzikálních popisů dílčích probíhajících procesů. K modelaci eroze vzniklo mnoho modelů, z nichž některé nejsou ani doložené a z tohoto důvodu jsou zde uvedené pouze některé.

4.2.1 Model CREAMS (Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)

Model CREAMS je určen k prognóze pohybu chemických látek, odtoku vody a eroze v různých zemědělských systémech. Model vznikl v USA a jako první představoval komplexní řešení zahrnující hydrologické a erozní procesy a transport chemických látek – N, P na plochách se stejnými půdními podmínkami, jednotným využíváním a rovnoměrným zasahováním srážek. Tento model vyhodnocuje vliv deště na látkový transport a zabývá se pohybem látek při delším časovém období (Podhrázká a Dufková, 2005).

Model provádí porovnání množství částic uvolněných srážkami a povrchovým odtokem a transportní schopností tekoucí vody (Kniesel, 1980). Je složen z erozní, chemické a hydrologické složky. Hydrologická složka udává objem odtoku z povrchu a maximální odtok, obsaženou vodu v půdě a infiltraci. Erozní složka klasifikuje erozní proces a počet splavenin. Chemická složka obsahuje transport živin rostlinného původu – N,P, pesticidů a udává jejich koncentraci.

Souhrn: Model CREAMS představuje souhrnný model řešící hydrologické a erozní procesy transportu chemických látek – N,P. Náročnost na vysoký objem vstupních dat.

4.2.2 Model SWRRB (Simulator for Water resources in Rural Basins)

Model SWRRB byl vytvořen za účelem simulace hydrologických procesů, a také k transportování splavenin, které se nacházejí na povodích, která jsou využívána do velikosti 100 km². Hydrologická část vycházející z hodnot denního úhrnu srážek využívá ke stanovení povrchového odtoku číselnou metodu odtokových křivek CN a část týkající se eroze užívá Univerzální rovnici ztráty půdy (Podhrazská a Dufková 2005).

Souhrn: Model SWRRB byl vyvinut z dřívějšího modelu CREAMS. Jedná se o dynamický simulační model stvořený pro dlouhodobé simulace k určování statistik odtoku a ukládání. Rovněž zahrnuje bouřkové příhody, etapu mezi bouřkami, rostlinný růst a evapotranspiraci. Je určen pro malá povodí do 100 km², ve kterých převažují zemědělské procesy kladoucí důraz na hydrologii a sedimentaci látek.

4.2.3 Model EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator)

Tento model jako jediný zahrnuje účinek větrné eroze, která má vliv na úrodnost půdy. Model je stanoven pro vyhodnocování vlivů procesů eroze na změnu vlastností půdy a na její úrodnost. Důkladně také modeluje vývoj plodin, které jsou závislé na hydrologických a klimatických podmínkách. Mimo jiné zařazuje režim N a P, pesticidů a podzemních drenážních systémů. Prvek plošného a soustředěného odtoku charakterizuje vyšetřované území. Hydrologický segment se řídí podle hodnot denního úhrnu srážek a je využíván ke stanovení charakteristiky povrchového odtoku (Podhrazská a Dufková, 2005).

Souhrn: Model EPIC je určen pro malá stejnorodá území do velikosti cca 1 ha a slouží pro vyhodnocování dopadů procesů eroze na změnu vlastností půdy a na úrodnost půdy. Model byl vyvinutý ke zhodnocení zemědělských strategií. Hlavním přínosem tohoto modelu je podrobné zaměření na povrchový odtok a průběhy rostlinného růstu.

4.2.4 Model ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation)

Tento dynamický model, řešící hydrologické pochody a transport splavenin z nehomogenního povodí, je stanoven pro návrhy srážek s časově proměnnými intenzitami. Hydrologický model řeší jednotlivé charakteristiky povrchového odtoku a je vybudován na fyzikálním základě. Infiltrace ovlivňující akumulaci povrchové vody včetně odtoku je hlavním hydrologickým procesem modelu (Podhrázká a Dufková, 2005).

Souhrn: Model ANSWERS určuje simulaci hydrologických a erozních procesů v malých zemědělsky využívaných povodích. Model stanovuje procesy odtoku v průběhu srážkové činnosti a bezprostředně po srážkové činnosti. Tudíž je tento model regulován srážkami a je sestaven k příjmu čtyř srážkových měření.

4.2.5 Model AGNPS (AGricultural NonPoint Source)

Model AGNP určuje řešení eroze, transport látek chemického původu a odtok dílčích srážek uvnitř povodí o velikosti 200 km². Hydrologická část modelu využívá čísla odtokových křivek CN a erozní část využívá Univerzální rovnici ztráty půdy (Podhrázká a Dufková, 2005).

Souhrn: Model AGNSP byl vyvinut za účelem ohodnocení nebodového zdroje znečištění a jeho chodu v povodí. S pomocí tohoto modelu simulujeme nánosy živin, sedimentů a pesticidů podle využití území. Náročnost objemu dat modelu je středně vysoká a model je určen pro menší povodí.

4.2.6 Model SHE (Systeme Hydrologique Européen)

Jedná se o komplexní hydrologický model, který svým výstupem v poli působení povrchového, a také podzemního odtoku umožňuje navázat další modely vhodné při řešení vodohospodářské problematiky a dopadů, které jsou zapříčiněny transportem látek pomocí odtoku (Podhrázká a Dufková, 2005).

Souhrn: Model SHE se obvykle používá na povodí od 30 m² do 5000 km² a je vhodný k predikci důsledků půdního užívání a změn týkajících se klimatu v uplatnění na povodí. Výhodou u tohoto modelu je nenáročnost na vstupní data.

4.2.7 Model EUROSEM (EUROpean Soil Erosion Model)

Model EUROSEM zahrnuje procesy uvolňování půdních částic díky působení deště a transportu povrchového odtoku. Rozšířená verze modelu dále zahrnuje proces plošné rýžkové eroze. Tento druh eroze je simulován na základě vytváření erozní rýhy (Morgan, Quinton, Rickson, 1993).

Souhrn: Model EUROSEM je procesně podložený model určený pro předpověď vodní eroze půdy pro pole a malá povodí. Tento odtokový a erozní model byl vyvinut pro stanovení rizika eroze půdy a pro zhodnocení úrovně ochrany půdy. Náročnost na objem vstupních dat je vysoká.

4.2.8 Model EROSION 2D/3D

Model počítá erozi půdy, která je vyvolána množstvím srážek, a poté ukládána na dílčí svazky (2D) a na malá povodí (3D). Tento druh modelu byl vyvinutý se záměrem vytvoření jednoduše využitelného nástroje sloužícího k předpovědi eroze půdy a pro její ochranu. Z modelu EROSION 2D vznikl model EROSION 3D za účelem řešení ztráty půdy na svazích (Schmidt, 1991).

Model EROSION 3D má schopnost pracovat už s veškerou plochou povodí. Do výpočtů jsou zařazeny ztráty půd způsobené plošným i soustředěným odtokem. Geometrickou základnu pro model 3D vytváří pravidelná čtvercová síť. Model EROSION 2D/3D vznikl zejména na podkladě fyzikálních principů. Eroze může být omezena množstvím sedimentů. Samotný model by měl být jednoduše použitelný, a pokud možno s co nejmenším počtem vstupních dat, dále by měl podávat platné výsledky, fungovat na podkladu událostí a také být kompatibilní se stávajícím GIS (Schmidt, Wemer a Michael, 1999).

Souhrn: Model EROSION 2D/3D byl založen k prognóze odtoku z povrchu půdy během přívalových dešťů a plošné eroze na zemědělsky využívaných půdách a je určen pro povodí do velikosti 400 km². Dále se používá k omezení vzniku eroze a predikci nahromadění nebezpečných substancí a sedimentů. Jeho použití si žádá informace rastrového rozložení na reliéfu půdy a srážkové podmínky. Náročnost na objem vstupních dat je vysoká.

4.2.9 Model WEPP (Water Erosion Prediction Project)

Model WEPP neboli Předpovědní projekt vodní eroze byl vyvinut ministerstvem zemědělství v Americe. Představuje základní mechanismy, které kontrolují vodní erozi a odhaduje území společně s časovým rozložením půdní ztráty. Má rozsáhlou škálu použití a je reprezentován jako výrazné zdokonalení nad USLE (Raclot a Alberger, 2006).

Projekt vznikl na konci osmdesátých let a hlavním cílem bylo zvýšení univerzálnosti modelu a nahrazení empirických postupů u ochrany půd a vodního zdroje společnou metodikou na základě simulačních modelů. Hlavní složky tohoto modelu vytváří klima, hydrologie, rostlinný růst, zemědělské postupy a půdní složení (Dun a kol., 1999).

Odtok směřuje po zemském povrchu na bázi kinematických rovnic. Rovnovážný stav pro rovnici kontinuity je používán k výpočtu míry eroze. Technologie GIS výrazně zjednodušuje správu obrovského množství dat, které jsou na rozvodí určeny pro aplikaci modelu WEPP (Amore a kol., 2004).

Souhrn: Model WEPP je určen pro nevelká povodí a je způsobilý předvídat prostorové a časové dělení čisté ztráty půdy a ukládání pro rozsáhlou škálu časového období a prostorového měřítka. Základními součástmi modelu jsou svahy a kanály. Aplikuje se k výhodnějšímu znázorňování erozních procesů a je zde velká náročnost na objem vstupních dat.

4.2.10 Model SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

Byl speciálně vyvinutý pro komplexní povodí a díky své jednoduchosti se stal široce používaným nástrojem vědecké komunity na rozhodování v oblastech řízení půdy, toku a jakosti vody a studiích o dopadu změn klimatu (Galván a kol., 2004).

Model je schopen postihnout časový průběh přivalové srážky v hodinovém kroku, přičemž pak poskytuje míru eroze v kroku denním (Arnold, Allen, 1993). Byl vyvinut pro velká komplexní povodí. Pro svou jednoduchost je model SWAT široce používaný nástroj vědeckou komunitou na rozhodnutí v oblasti řízení půdy, toku potoka a kvality vody, hydrologické analýzy, studie o dopadu změny klimatu, posouzení zatížení znečišťující látky a podobně. SWAT používá výšková pásma pro

výpočet orografické srážky. Denní srážky ve výškových pásmech se odhadují přidáním konstantního množství zaznamenaných srážek v srážkoměru (Galván a kol., 2014).

Souhrn: Jedná se o matematický model, který byl speciálně vyvinut a určen pro velká povodí. Hlavním úkolem modelu je posuzovat erozní procesy, transport splavenin a posuzovat dopady odtokových poměrů na hospodaření zemědělců. Doporučeným časovým krokem výpočtu je jeden den. Model je využíván mnoha americkými federálními agenturami např. Environmental Protection Agency (USEPA). I přes svou náročnost na vstupní data je velice používaný.

5 Výsledky a diskuze

Povodí Římovský potok:

Potok pramení v polích u vrchu V Boru. Na území se nacházejí dva bezejmenné toky, z nichž jeden se do potoka vlévá z pravé strany a druhý z levé strany. Délka pravého přítoku činí 1,8 km, délka levého přítoku 1,2 km. Na pravém přítoku se dále nachází Římovský rybník, jehož plocha činí 0,6 km². Na toku samotného Římovského potoka se nachází Nový rybník, jehož plocha není určena. Samotný potok je levým přítokem řeky Malše

5.1 Metody výpočtu průměrného ročního odnosu zemin

- **Frevertova rovnice ve tvaru:**

$$G_A = 10 \cdot (K' \cdot O' \cdot S' \cdot C' \cdot P' \cdot L')$$

K' faktor v rozmezí 0,75-0,90 → zvoleno **0,80**

O' faktor v rozmezí 0,70-0,90 → zvoleno **0,90**

C' faktor → **2,00**

P' faktor → **0.50**

Tabulka 2: Výpočet L', S' faktoru

Číslo odtokové dráhy	Délka odtokové dráhy (m)	L'-dle tabulek	I (%)	S'- dle tabulek
1	533	7,5	2	0,22
2	236	4,1	7	0,27
3	557	7,59	2	0,22
4	306	5	3	0,23
5	444	6,9	3	0,23
6	1085	11,4	3	0,23
7	258	4,3	5	0,25
8	506	7,3	2	0,22
9	125	2,9	5	0,25
10	386	6,2	2	0,22

[Zdroj: vlastní]

Dosazení jednotlivých hodnot všech faktorů do Frevertovy rovnice

$$G_A = 10 \cdot (K' \cdot O' \cdot S' \cdot C' \cdot P' \cdot L')$$

Tabulka 3: Výpočet dle Frevertovy rovnice

Odtoková dráha č. 1	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=7,5	G(t/ha)=11,88
Odtoková dráha č. 2	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,27	C'= 2,00	P'=0,50	L'=4,1	G(t/ha)=7,97
Odtoková dráha č. 3	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=7,59	G(t/ha)=12,03
Odtoková dráha č. 4	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,23	C'= 2,00	P'=0,50	L'=5	G(t/ha)=8,28
Odtoková dráha č. 5	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,23	C'= 2,00	P'=0,50	L'=6,9	G(t/ha)=11,43
Odtoková dráha č. 6	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,23	C'= 2,00	P'=0,50	L'=11,4	G(t/ha)=18,88
Odtoková dráha č. 7	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,25	C'= 2,00	P'=0,50	L'=4,3	G(t/ha)=7,74
Odtoková dráha č. 8	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=7,3	G(t/ha)=11,56
Odtoková dráha č. 9	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,25	C'= 2,00	P'=0,50	L'=2,9	G(t/ha)=5,22
Odtoková dráha č. 10	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=6,2	G(t/ha)=9,82

[Zdroj: vlastní]

- Frevertova rovnice upravená podle Zdražila ve tvaru:

$$G_B = 8,24 \cdot K' \cdot O' \cdot S' \cdot C' \cdot P' \cdot L'$$

Dosazení jednotlivých hodnot všech faktorů do tvaru rovnice

$$G_B = 8,24 \cdot K' \cdot O' \cdot S' \cdot C' \cdot P' \cdot L':$$

Tabulka 4: Výpočet Frevertovy rovnice upravené dle Zdražila

Odtoková dráha č. 1	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=7,5	G(t/ha)=4,89
Odtoková dráha č. 2	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,27	C'= 2,00	P'=0,50	L'=4,1	G(t/ha)=3,28
Odtoková dráha č. 3	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=7,59	G(t/ha)=4,95
Odtoková dráha č. 4	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,23	C'= 2,00	P'=0,50	L'=5	G(t/ha)=3,41
Odtoková dráha č. 5	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,23	C'= 2,00	P'=0,50	L'=6,9	G(t/ha)=4,71
Odtoková dráha č. 6	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,23	C'= 2,00	P'=0,50	L'=11,4	G(t/ha)=7,78
Odtoková dráha č. 7	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,25	C'= 2,00	P'=0,50	L'=4,3	G(t/ha)=3,19
Odtoková dráha č. 8	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=7,3	G(t/ha)=4,76
Odtoková dráha č. 9	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,25	C'= 2,00	P'=0,50	L'=2,9	G(t/ha)=2,15
Odtoková dráha č. 10	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=6,2	G(t/ha)=4,05

[Zdroj: vlastní]

- Frevertova rovnice doplněná o faktor hnojení H=0,85 ve tvaru:

$$G_c = 8,24 \cdot K' \cdot O' \cdot S' \cdot C' \cdot P' \cdot L' \cdot H'$$

Tabulka 5: Výpočet Frevertovy rovnice doplněné o faktor hnojení

Odtoková dráha č. 1	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=7,5	G(t/ha)=8,32
Odtoková dráha č. 2	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,27	C'= 2,00	P'=0,50	L'=4,1	G(t/ha)=5,58
Odtoková dráha č. 3	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=7,59	G(t/ha)=8,42
Odtoková dráha č. 4	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,23	C'= 2,00	P'=0,50	L'=5	G(t/ha)=5,80
Odtoková dráha č. 5	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,23	C'= 2,00	P'=0,50	L'=6,9	G(t/ha)=8,00
Odtoková dráha č. 6	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,23	C'= 2,00	P'=0,50	L'=11,4	G(t/ha)=13,22
Odtoková dráha č. 7	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,25	C'= 2,00	P'=0,50	L'=4,3	G(t/ha)=5,42
Odtoková dráha č. 8	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=7,3	G(t/ha)=8,10
Odtoková dráha č. 9	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,25	C'= 2,00	P'=0,50	L'=2,9	G(t/ha)=3,66
Odtoková dráha č. 10	K'=0,80	O'=0,90	S'=0,22	C'= 2,00	P'=0,50	L'=6,2	G(t/ha)=6,88

[Zdroj: vlastní]

- Rovnice dle Wischmeiera, Smithe – 1978 ve tvaru:

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

Faktor R

= součin celkové kinetické energie deště a jeho maximální 30 - minutové intenzity.

Pro většinu území je hodnota faktoru R = 40

Faktor K

= charakterizuje půdní vlastnosti. Podmínky ovlivňující hodnotu faktoru K jsou shrnuty v nomogramu, kde se faktor K odečítá. Další možnost určení faktoru K je pomocí kódu KPP nebo BPEJ.

Tabulka 6: K faktor

Číslo odtokové dráhy	K Faktor
1	0,41
2	0,51
3	0,13
4	0,17
5	0,29
6	0,51
7	0,16
8	0,17
9	0,13
10	0,17

[Zdroj: vlastní]

Hodnoty faktorů L, S:

Hodnoty faktorů L a S byly stanoveny pomocí tabulek. Rozhodujícím bodem pro určení faktoru L byla délka dílčích odtokových drah, které byly změřeny v programu ArcMap na vybraném povodí Římovský potok. Následně byl vypočítán sklon dle vztahu:

$$\frac{\text{převýšení}}{\text{délka odtokové dráhy}} * 100$$

a následně podle výsledku byl faktor zaokrouhlen na celá čísla. Ze sklonu (I) byl poté zjištěn dle tabulek S faktor.

Tabulka 7: Výpočet L, S faktoru

Číslo odtokové dráhy	Délka odtokové dráhy (m)	L - dle tabulek	I (%)	S- dle tabulek
1	533	5,09	2	0,18
2	236	3,19	7	0,7
3	557	4,85	2	0,18
4	306	3,74	3	0,26
5	444	4,47	3	0,26
6	1085	6,97	3	0,26
7	258	3,47	5	0,45
8	506	4,84	2	0,18
9	124	2,64	5	0,45
10	386	4,13	2	0,18

[Zdroj: vlastní]

Faktor C:

Pro pozemek byl navržen 6- honný osevní postup pro výpočet faktoru C:

1. Vojtěška
2. Pšenice ozimá
3. Kukuřice
4. Pšenice ozimá
5. Řepka
6. Ječmen jarní s podsevem

Vojtěška

→ $C_1 = 0,015$

Pšenice ozimá

	Období	C	R	Součin (C.R)
1.	15.9-30.9	0,5	0,01	0,005
2.	1.10-15.11	0,55	0,004	0,0022
3.	16.11-30.4	0,3	0,005	0,0015
4.	1.5-15.8	0,05	0,8155	0,04078
5.	16.8-31.8	0,2	0,1555	0,0311
				0,08058

→ $C_2 = 0,08058$

Kukuřice

	Období	C	R	Součin (C.R)
1.	1.9-15.4	0,75	0,00265	0,00199
2.	16.4-16.5	0,9	0,0375	0,03375
3.	17.5-1.7	0,7	0,303	0,2121
4.	2.7-30.8	0,35	0,633	0,22155
5.	1.9-15.9	0,7	0,01	0,007
				0,47639

→ $C_3 = 0,47639$

Pšenice ozimá

	Období	C	R	Součin (C.R)
1.	15.9-30.9	0,5	0,01	0,005
2.	1.10-15.11	0,55	0,004	0,0022
3.	16.11-30.4	0,3	0,005	0,0015
4.	1.5-15.8	0,05	0,8155	0,040775
5.	16.8-31.8	0,2	0,1555	0,0311
				0,080575

→ $C_4 = 0,080575$

Řepka

	Období	C	R	Součin (C.R)
1.	1.9-15.9	0,65	0,01	0,0065
2.	16.9-30.9	0,8	0,01	0,008
3.	1.10-30.4	0,65	0,009	0,00585
4.	1.5-15.8	0,3	0,035	0,0105
5.	16.8-31.8	0,7	0,155	0,1085
				0,13935

→ $C_5 = 0,13935$

Ječmen jarní s podsevem

	Období	C	R	Součin (C.R)
1.	1.9-31.3	0,7	0,024	0,0168
2.	1.4-1.5	0,75	0,005	0,00375
3.	2.5-2.6	0,5	0,07	0,035
4.	3.6-15.7	0,08	0,429	0,03432
5.				
				0,08987

→ $C_6 = 0,08987$

Výsledné C:

$$C = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6) / 6 =$$

$$(0,015 + 0,08058 + 0,47639 + 0,08058 + 0,13935 + 0,08987) / 6$$

$$C = 0,146$$

Faktor P:

= účinnost protierozního opatření je vyjádřena hodnotami faktoru P

Nejméně účinné je vrstevnicové obdělávání půdy. Účinnější je pásové střídání plodin a hrázkování. Nejúčinnější, ale nejnákladnější je terasování. Nejčastěji se používá hodnota 1, protože se v našem zemědělství protierozní opatření neprovádějí.

Dosazení jednotlivých hodnot všech faktorů do vzorce $G_d = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$

Tabulka 8: Tab. č. 8: Výpočet dle Wischmeiera, Smithe

Odtoková dráha č. 1	R= 40	K= 0,41	L= 5,09	S= 0,18	C= 0,146	P= 1	G(t/ha)=2,193749
Odtoková dráha č. 2	R= 40	K= 0,51	L= 3,19	S= 0,7	C= 0,146	P= 1	G(t/ha)=6,650767
Odtoková dráha č. 3	R= 40	K= 0,13	L=4,85	S=0,18	C= 0,146	P= 1	G(t/ha)=0,662782
Odtoková dráha č. 4	R= 40	K= 0,17	L=3,74	S= 0,26	C= 0,146	P= 1	G(t/ha)=0,965399
Odtoková dráha č. 5	R= 40	K= 0,29	L=4,47	S= 0,26	C= 0,146	P= 1	G(t/ha)=1,968309
Odtoková dráha č. 6	R= 40	K= 0,51	L=6,97	S= 0,26	C= 0,146	P= 1	G(t/ha)=5,397457
Odtoková dráha č. 7	R= 40	K= 0,16	L=3,47	S=0,45	C= 0,146	P= 1	G(t/ha)=1,459066
Odtoková dráha č. 8	R= 40	K= 0,17	L=4,84	S=0,18	C= 0,146	P= 1	G(t/ha)=0,8649274
Odtoková dráha č. 9	R= 40	K= 0,13	L=2,64	S=0,45	C= 0,146	P= 1	G(t/ha)=0,9032962
Odtoková dráha č. 10	R= 40	K= 0,17	L=4,13	S=0,18	C= 0,146	P= 1	G(t/ha)=0,7380475

[Zdroj: vlastní]

5.2 Posouzení vhodnosti použití vybraných modelů

Tabulka 9: Posouzení vhodnosti/nevhodnosti

Model	Posouzení vhodnosti/nevhodnosti
CREAMS	Vhodný
SWRRB	Vhodný
EPIC	Nevhodný
ANSWERS	Vhodný
AGNPS	Vhodný
SHE	Vhodný
EUROSEM	Vhodný
EROSION 2D/3D	Vhodný
WEPP	Vhodný
SWAT	Nevhodný

[Zdroj: vlastní]

Tabulka 10: Výsledky

G_A - nevhodná	Po dosazení všech hodnot do tvaru rovnice $G_A = 10 \cdot (K' \cdot O' \cdot S' \cdot C' \cdot P' \cdot L')$ nesplnila kritéria $G_{\text{připustného}}$ ani jedna z odtokových drah.
G_B – vhodnější	Po dosazení všech hodnot do tvaru rovnice $G_B = 8,24 \cdot K' \cdot O' \cdot S' \cdot C' \cdot P' \cdot L'$ splnily kritérium $G_{\text{připustného}}$ čtyři odtokové dráhy.
G_C – částečně vhodná	Tato rovnice ve tvaru $G_C = 8,24 \cdot K' \cdot O' \cdot S' \cdot C' \cdot P' \cdot L' \cdot H'$ je vhodná v případě, kdy se za faktor hnojení H' aplikuje správné množství hnojení → při špatné aplikaci H' se výsledky $G_{\text{připustného}}$ zhorší jako v tomto případě, kdy kritérium pro $G_{\text{připustné}}$ splnila pouze jedna odtoková dráha.
G_D – nejvhodnější	Po dosazení všech hodnot do tvaru rovnice $G_D = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$ splnilo kritérium $G_{\text{připustného}}$ osm z deseti odtokových drah.

[Zdroj: vlastní]

Frevertova rovnice v našem případě označována jako rovnice G_A není vhodná, neboť bylo na základě výpočtů zjištěno, že po dosazení všech jednotlivých faktorů nesplnila ani jedna z deseti odtokových drah přípustný smyv půdy, který je u středně hlubokých (30-60cm) a hlubokých (nad 60cm) půd do $4,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Ve srovnání s Frevertovou rovnicí upravenou Zdražilem a označenou jako G_B , kde splňují dané podmínky přípustných ztrát čtyři odtokové dráhy, se jeví jako vhodnější.

Za nejlépe upravenou a velmi oblíbenou rovnici pro výpočet průměrného ročního odnosu zeminy, pak považujeme po dosazení všech jednotlivých faktorů rovnici Wischmeier – Smith z roku 1978 označovanou jako G_D , kde k podobným výsledkům dosáhl ve svém díle *Základy erodologie* Janeček a kol. (2008).

K posuzování vhodnosti zvolených modelů pro výpočet okamžitého odnosu zeminy se jako nejvhodnější jeví modely ANSWERS, AGNPS, SHE a SWRRB. Mezi další vhodné modely, které jsou ale velmi náročné na vstupní data patří CREAMS, EUROSEM, EROSION 2D/3D a WEPP. Modely SWAT a EPIC jsou určeny na velká povodí, a proto je zařazujeme do kategorie nevhodných.

6 Závěr

Vyhodnocení jednotlivých simulačních modelů odtoku, eroze a transportu látek není snadné, neboť každý posuzovaný model má své určité specifikace – odlišnou náročnost na objem vstupních dat, rozdílné velikosti povodí a podobně. Samotné modely procházejí neustálým vývojem a jejich využití a informační schopnosti ovlivňuje spojení s geografickými informačními systémy (GIS).

Při aplikaci každého modelu je třeba vzít na vědomost předpoklady a podmínky za kterých byl model odvozen a dodržovat je. A to zejména stejnorodost území, plošné a časové měřítko modelu. V protierozní ochraně je velice důležité neposuzovat pouze samotnou erozi ve vztahu k půdě, ale přihlížet i k dalším dopadům, ke kterým nás přivádí právě postupný vznik nových simulačních modelů erozních procesů.

Další vývoj simulačních modelů erozních a transportních procesů bude postupně přinášet jejich zdokonalování a možnosti širšího využití pro řešení problematiky využití a ochrany povodí. Je však důležité mít na paměti, že přímá aplikovatelnost modelů, které jsou odvozeny v zahraničí, může být bez jejich podrobného testování v našich poměrech problematická.

7 Seznam použité literatury

- 1) Agroprojekt Praha, *Protierozní ochrana zemědělských pozemků*, Typizační směrnice, 2, Praha, 1987, 128 - 129 str., Sg. B 31.338
- 2) AMORE, E. a kol., *Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins*, Journal of Hydrology, 293, 2004, 109-115 str.
- 3) BARBOLINI, M. a kol., *Laboratory study of erosion processes in snow avalanches*, Cold Regions Science and Technology, 2005, 1-10 str.
- 4) BENNET, H.H., *Soil conservation*, New York – London, 1939, ISBN není uvedeno
- 5) BISSONNAIS, Y.L. a kol., *Mapping erosion risk for cultivated soil in France*, Catena, 2002, 205-220 str.
- 6) CÁBLÍK, J., JŮVA, K., *Protierozní ochrana půdy*, SZN, Praha, 1963, 324 str.
- 7) DUMBROVSKÝ, M., MEZERA, J., STRÍTECKÝ, L., *Metodický návod pro vypracování návrhů pozemkových úprav*, Brno, Českomoravská komora pro pozemkové úpravy, 2004.
- 8) DUN, S. a kol., *Adapting the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model for forest applications*, Journal of Hydrology, 366, 2009, 45–55 str.
- 9) GALVÁN, L. a kol., *Rainfall estimation in SWAT: An alternative method to simulate orographic precipitation*, Journal of Hydrology, 509, 2014, 258–266 str.
- 10) HOLÝ, M., *Protierozní ochrana*, Nakladatelství technické literatury, Praha, 1978, 10-80. str., Sg. C 215.329

- 11) HOVORKA, V., a kol., *Projektová příprava protierozních opatření*, Výzkumný ústav pro zúrodnění zemědělských půd, Praha, 1990, 28 str., Sg. C 268.552
- 12) JANEČEK, M. a kol., *Základy erodologie*, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, 172 s., ISBN 987-802131842-7
- 13) JANEČEK, M., a kol., *Ochrana zemědělské půdy před erozí*, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i, 2007, 76 - 77 str., ISBN 987-80-254-0973-2
- 14) KNISEL, W. G.: *Creams (A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)*. US Dpt. Of Agriculture. Conservation Research Report, 1980.
- 15) KINNELL, P.I.A., *Slope length factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells*, Soil & Tillage Research 58, 2001, 10-19 str.
- 16) KOKOLIA, V., Kos, M., Raszka, P., *Protierozní osevní postupy*, Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha, 1989, 32 - 33str., Sg. C 265.250
- 17) LI, S., a kol., *Tillage and water erosion on different landscapes in the northern North American Great Plains evaluated using ¹³⁷Cs technique and soil erosion models*, Catena, 2007, 493-505 str.
- 18) MORGAN, R. P. C., QUINTON, J. N., RICKSON, J. R.: *EUROSEM – A User Guide*, Granfield University, Silsoe College, UK., 1993.
- 19) MUSGRAVE, G.W., *The Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion, A First Approximation*. J. of Soil and Conservation, 1947, 134-138 str., ISBN není uvedeno
- 20) NONDEDEU, F.I., Bédécarrats, A., *Influence of alpine plants growing on steep slopes on sediment trapping and transport by runoff*, Catena, 71, 2007, 329–339 str.

- 21) PASÁK, V., Šabata, M., Dýrová, E., Macoun, S., *Ochrana zemědělské půdy proti erozi*, Ústav vědeckotechnických informací, Brno, 1974, 40str., Sg. C 95.204
- 22) PODHRÁZSKÁ, J., Dufková, J., *Protierozní ochrana půdy*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 2005, 95 str., ISBN 80-7157-856-8, Sg. S 31.673
- 23) RACLOT, D., Albergel, J., *Runoff and water erosion modelling using WEPP on a Mediterranean cultivated catchment*, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2006, 1036–1047 str.
- 24) SMITH, D.D., *Interpretation of Soil Conservation Data for Field Use*, Agr. Eng., 1991, 420-425 str.
- 25) SCHMIDT, J., , Werner, M.v., Michael, A., *Application of the EROSION 3D model to the CATSOP watershed*, The Netherlands, Catena, 37, 1999, 448–456 str.
- 26) SKLENIČKA, P., *Základy krajinného plánování*, Praha, Naděžda Skleničková, 2003, 321 str., ISBN 80-903206-1-9, Sg. C 313.295
- 27) TISDALL, J.M.,a kol., *Stabilisation of soil against wind erosion by six saprotrophic fungi*, Soil Biology & Biochemistry, 50, 2012, 134-141 str.
- 28) TOMAN, F., *Pozemkové úpravy*, Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1995, 142 str., ISBN 80-7157-148-2, Sg. S 23.184
- 29) VRIELING, A., *Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review*, CATENA, 2006, 3-18 str.
- 30) WILLIAMS, J. R.: *Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models. Proc. Symposium on Erosion and Solid Matter Transport in Inland Water*. Int'l. Doc. Hydrological Sci. No. 122, 1977.

31) WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D.: *Predicting Rainfall Erosion Losses*, U.S. Dept. Of Agriculture, Washington DC, 1978.

32) ZDRAŽIL, K., *Ekonomické hodnocení protierozní ochrany*, ÚVTI MZLVH, Praha, 1965, ISBN není uvedeno

33) ZHANG, H. a kol., *Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor*, Computers & Geosciences, 52, 2013, 178–189 str.

34) ZINGG, A.W., *Degree and Length of Land Slope as it Affects Soil Loss in Runoff*, Agr., Eng., 1940, 58-64 str.

8 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Nomogram pro odvození K faktoru.....39

9 Seznam použitých zkratk

GIS - Geografický informační systém

N - Dusík

P - Fosfor

RUSLE - (Revised Universal Soil Loss Equation - Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy)

USLE - (Universal Soil Loss Equation – Univerzální rovnice ztráty půdy)

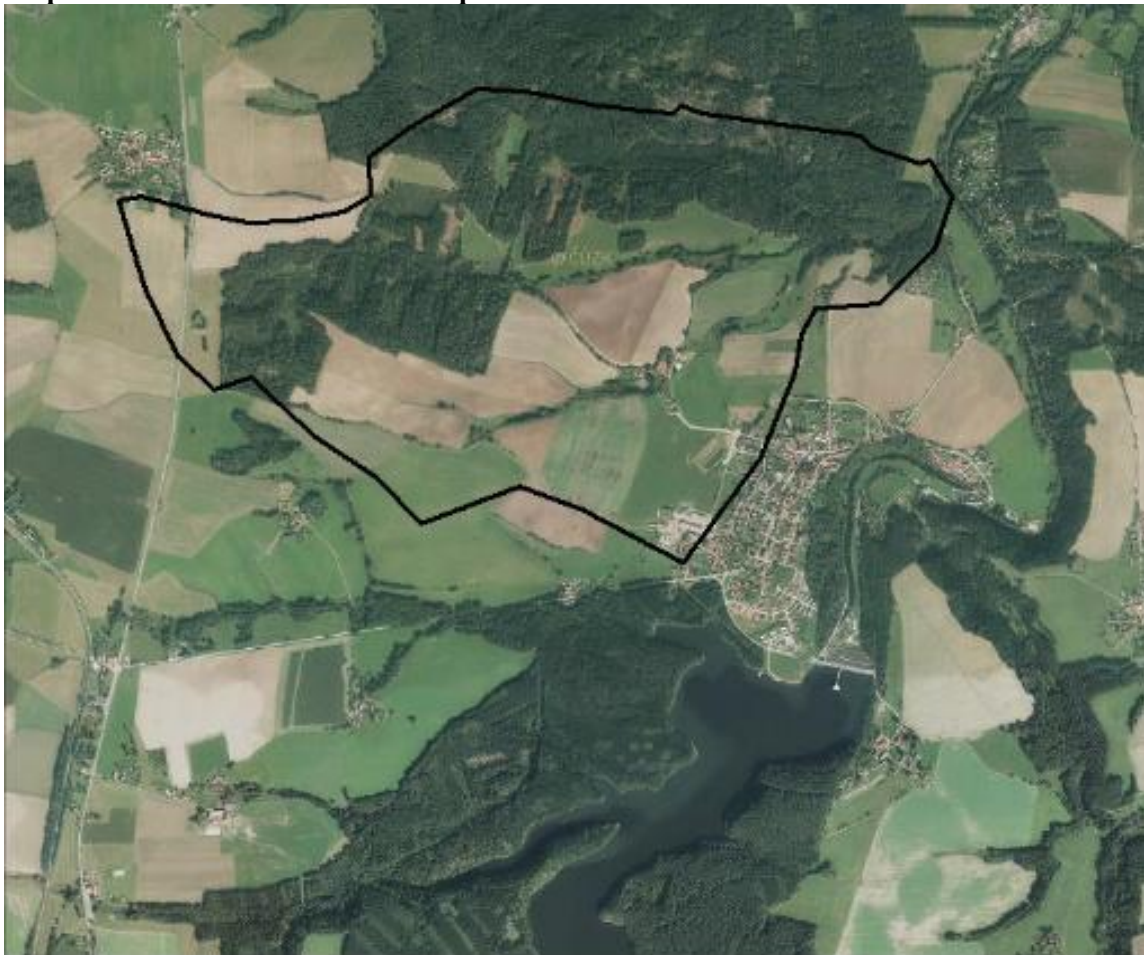
ZPF - Zemědělský půdní fond

10 Seznam tabulek


Tabulka 1: Přípustná ztráta půdy vodní erozí.....	41
Tabulka 2: Výpočet L', S' faktoru.....	50
Tabulka 3: Výpočet dle Frevertovy rovnice.....	50
Tabulka 4: Výpočet Frevertovy rovnice upravené dle Zdražila.....	51
Tabulka 5: Výpočet Frevertovy rovnice doplněné o faktor hnojení.....	51
Tabulka 6: K faktor.....	52
Tabulka 7: Výpočet L, S faktoru.....	53
Tabulka 8: Tab. č. 8: Výpočet dle Wischmeiera, Smithe.....	55
Tabulka 9: Posouzení vhodnosti/nevhodnosti.....	56
Tabulka 10: Výsledky.....	56

11 Přílohy

Mapa č. 1: Rozvodnice Římovského potoka



Legenda

 Rozvodnice

0 150 300 600 Meters




[Zdroj: Vlastní]