

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



Eroze a protierozní opatření ve vybraném území

Bakalářská práce

Autor práce: Petr Janota

Vedoucí práce: Ing. Jaroslava Janků, CSc

2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Eroze a protierozní opatření ve vybraném území vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne :

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě poděkoval paní Ing. Jaroslavě Janků, CSc. za vedení a pomoc při psaní bakalářské práce. Také děkuji členům mé rodiny, kteří mi byli v tomto období neocenitelnou oporou.

Souhrn

Eroze je exogenní geomorfologický proces, který ovlivňuje utváření zemského povrchu už od vzniku pevné zemské kůry. Tato činnost, jež v přirozených podmínkách probíhala zvolna, z hlediska lidské generace nepozorovatelně, se v intenzivně využívané krajině výrazně zrychlila a přinesla řadu nepříznivých důsledků.

Cílem této práce bylo posoudit a vyhodnotit erozní ohroženost na vybraném pozemku a v případě zjištění nadlimitního erozního ohrožení navrhnout odpovídající protierozní opatření, která v lokalitě zvýšenou erozi eliminují.

Výsledky získané metodou RUSLE ukázaly více než třetinu vybraných profilů jako nadlimitně erozně ohrožené, tedy s nutností navrhnout vhodná protierozní opatření pro snížení erozního smyvu. Ze základních skupin protierozních opatření byla při návrzích upřednostněna opatření agrotechnická, protože jsou oproti technickým opatřením méně finančně i realizačně náročná a zároveň jsou dostačující pro vyřešení erozního ohrožení v zájmové lokalitě. Tytéž odtokové profily byly prověřeny metodou SMODERP, která určuje erozní ohroženost pro jednotlivou srážku a v případě erozního nebezpečí navrhuje rozdělení svahu po spádnicí na několik samostatných úseků. Při výpočtech bylo počítáno s 10-ti letou srážkou, pro kterou jsou obvykle navrhována ochranná opatření. Z výsledků vyplynulo, že žádný z hodnocených profilů není erozně ohrožen a je možné svahy ponechat v původní délce.

V návrzích protierozních opatření je nutné skloubit maximální efektivitu opatření s podmínkou nenáročnosti a minimálního omezení uživatele pozemků. Při jejich tvorbě je třeba vycházet uživateli vstříc, jelikož záleží jen na něm, zda navržená organizační a agrotechnická opatření realizuje či nikoli. Zásadním problémem těchto opatření je skutečnost, že jejich realizace není zaštitěna legislativně. Vycházím z předpokladu, že čím přijatelnější, tedy méně omezující a nenáročná budou navržená opatření, tím pravděpodobněji budou uskutečněna. Jedním z důvodů, proč jsou i jednoduchá protierozní opatření zaváděna do praxe pomalu a obtížně je i fakt, že v ČR na většině zemědělské půdy hospodaří subjekty, které nejsou jejími vlastníky. Tato skutečnost výraznou měrou přispívá k tomu, že půda je chápána jen jako výrobní prostředek, který musí přinášet pouze maximální zisk. Ke zlepšení tohoto stavu může přispět také zavedení a důsledná kontrola standardů GAEC.

Klíčová slova: eroze, protierozní opatření, RUSLE, SMODERP

Summary

Erosion is a geomorphological process affecting the formation of the Earth's surface since the creation of the Earth's solid crust. This activity, which took place under natural conditions slowly, in terms of human generations imperceptibly, in intensively cultivated landscape significantly accelerated and brought a number of adverse consequences.

The aim of this study was to assess and evaluate the vulnerability of erosion at the selected site and determine the excessive erosion hazard level and propose appropriate erosion control measures in the area to eliminate increased erosion. Results obtained using RUSLE showed 80% of assessed profiles as excess risk of erosion, thus the need to propose appropriate erosion control measures to reduce erosion washes. The same profiles were examined with the SMODERP runoff method that determines the individual erosive vulnerability to crash and if you design erosion hazard division of the slope fall line into several separate sections. The calculations were calculated with a 10-year deduction for which there are usually proposed protective measures. The simulation results showed that all profiles are rated erosion risk and it is also necessary to design erosion control measures.

Of the basic groups of erosion control measures have been prioritized in the design of agronomic measures because they are compared to those less technical and financial feasibility challenging and are sufficient to resolve the threat of erosion in the area of interest. The proposed erosion control measures must be measures to combine maximum efficiency with minimum condition and the ease of the user restriction of land. When their work is assumed by users to meet, since it depends on whether the proposed organizational and agronomic measures implemented or not. The fundamental problem with these measures is that their implementation is not backed by legislation. Proceed from the assumption that the more plausible, less restrictive and inexpensive measures are proposed, the more likely it will be implemented. One of the reasons why simple erosion control measures put into practice are slow and difficult is the fact that most agricultural land in the Czech Republic is managed by entities that are not its owners. This significantly contributes to the fact that the soil is viewed merely as a means of production, which must yield only the maximum profit. To improve this situation may also contribute to the implementation and monitoring consistent standards of GAEC.

Keywords: erosion, erosion control measures, RUSLE, SMODERP

OBSAH

1. Úvod.....	8
2. Cíl práce.....	8
3. Literární rešerše	9
3.1. Definice a rozdělení eroze.....	9
3.1.1. Definice eroze	9
3.1.2. Rozdělení eroze.....	10
3.1.2.1. Vodní eroze.....	10
3.1.2.2. Sněhová eroze	11
3.1.2.3. Ledovcová eroze	11
3.1.2.4. Větrná eroze	12
3.1.2.5. Zemní eroze	12
3.1.2.6. Antropogenní eroze.....	12
3.2. Faktory ovlivňující erozní procesy.....	13
3.2.1. Klimatický a hydrologický faktor.....	13
3.2.2. Morfologický faktor.....	13
3.2.3. Geologický a půdní faktor	14
3.2.4. Vegetační faktor.....	14
3.2.5. Hospodářsko-technický faktor	14
3.2.6. Sociálně ekonomický faktor	15
3.3. Možnosti protierozní ochrany	15
3.3.1. Protierozní opatření.....	15
3.3.1.1. Organizační opatření.....	16

3.3.1.2. Agrotechnická opatření.....	17
3.3.1.3. Technická opatření.....	18
4. Materiál a metody	20
4.1. Popis vybrané lokality.....	20
4.2. Metoda RUSLE.....	21
4.3. Metoda SMODERP.....	28
5. Výsledky	31
5.1. Vyhodnocení erozního ohrožení vybraného území.....	31
5.1.1. Výpočet erozního ohrožení podle rovnice RUSLE	32
5.1.2. Výpočet erozního ohrožení podle modelu SMODERP	38
5.2. Vyhodnocení výsledků a návrh protierozních opatření	43
5.2.1. Vyhodnocení výsledků	43
5.2.2. Návrh protierozních opatření	45
6. Diskuze	49
7. Závěr	51
8. Seznam použité literatury	52
9. Seznam použitých zkratek	54
10. Samostatné přílohy	55
Seznam příloh	58

1. Úvod

V současnosti je na celém světě každoročně vlivem různých forem degradace půdy nenávratně poškozeno nebo zcela zničeno obrovské množství úrodné půdy. Současně s poklesem světové výměry úrodné půdy klesá i schopnost zásobovat stále narůstající lidskou populaci základními potravinami. V této souvislosti nabývá stále více na významu potřeba důsledné ochrany zemědělské a lesní půdy. V České republice je v současné době ohroženo vodní erozí více než polovina výměry zemědělské půdy. Vedle přirozené eroze, kterou se formuje zemský povrch již od počátku svého vzniku, se stále více rozvíjí tzv. zrychlená eroze. Proces zrychlené eroze nastupuje tam, kde člověk necitlivými zásahy porušuje přirozený kryt půdy tvořený na většině území lesy. Odlesňování, nadlimitní pastva hospodářských zvířat a intenzivní zemědělská výroba jsou hlavními příčinami procesu zrychlené eroze. Tento, z hlediska udržení produkční schopnosti půdy, zásadní problém, lze s vynaložením různě vysokých nákladů eliminovat aplikací protierozních opatření. Tato opatření začínají nejméně nákladnými organizačními agrotechnickými zásahy a končí rozsáhlými a nákladnými protierozními stavbami. Abychom dokázali při vynaložení relativně nízkých nákladů dosáhnout co největšího protierozního efektu, je třeba jednoznačně stanovit míru ohrožení jednotlivých pozemků a důsledně dodržovat pro ně stanovená protierozní opatření.

2. Cíl práce

Cílem této práce je vysvětlit pojem eroze, co nejjednodušším způsobem stanovit míru erozního ohrožení u konkrétního pozemku a navrhnout účinná a nejméně nákladná protierozní opatření. Zároveň s tím porovnat výpočet erozního ohrožení pomocí rovnice RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) a pomocí počítačového simulačního modelu SMODERP (Simulační model odtoku a erozního procesu).

3. Literární řešerše

3.1. Definice a rozdělení eroze

3.1.1. Definice eroze

Slovo „eroze“ pochází pravděpodobně z latinského výrazu erodere, což znamená rozhlodávat. Velmi výstižně je tak jedním slovem popsána podstata tohoto exogenního geomorfologického procesu, který ovlivňuje utváření zemského povrchu už od vzniku pevné zemské kůry.

Eroze půdy je třífázový proces, probíhající prostřednictvím činnosti vody v kapalném nebo pevném skupenství nebo větru. První fází tohoto procesu je uvolňování částic z půdní hmoty, druhou fází je jejich transport výše uvedenými činiteli. Třetí fází je ukládání transportovaného materiálu, k němuž dochází v okamžiku, kdy transportní médium již nemá dostatek energie k dalšímu přesunu erodovaných částic půdy. Tato činnost, jež v přirozených podmínkách probíhala zvolna, z hlediska lidské generace nepozorovatelně, se v intenzivně využívané krajině výrazně zrychlila a přinesla pro společnost řadu nepříznivých důsledků. Eroze vede ke ztrátě nejúrodnější vrstvy půdy v relativně krátkém období, přičemž nahrazení vrstvy půdy o mocnosti pouhý 1 mm trvá stovky let. Pokud erozní procesy probíhají zvolna za rovnovážného stavu a ztráta půdních částic je doplňována tvorbou nových částic z půdního podkladu, jedná se o normální erozi. Pokud však dojde k porušení rovnovážného stavu a dojde ke ztrátě takového množství půdních částic, které již nemůže být nahrazeno půdotvorným procesem, jedná se o erozi zrychlenou. Při zrychlené erozi je porušena přírodní rovnováha a dochází k takovému smyvu půdních částic a živin, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem (Holý, 1994).

Vlivem dřívějších trendů v často násilné intenzifikaci zemědělské výroby bylo zorněno mnoho nevhodně položených pozemků. Podstatný úbytek luk a pastvin ve prospěch orné půdy, scelování pozemků do obrovských celků a v řadě zemědělských oblastí i stoprocentní zornění půdního fondu, je tak příčinou enormního nárůstu vodní i větrné eroze. V současné době je vodní erozí ohroženo více než 50 % orné půdy a téměř 10 % ploch erozí větrnou. To ve svém důsledku představuje podstatné snížení výnosů, významně pozměněný koloběh živin

v půdě, zásadní snížení obsahu organických látek, průnik cizorodých látek a výrazné ovlivnění kvality podzemních a povrchových vod. Problém eroze zemědělsky využívaných půd je problémem celosvětovým, který má za následek každoroční úbytek tisíců km² zemědělské půdy (Janeček a kol., 2002).

3.1.2. Rozdělení eroze

Holý (1978) třídí erozi podle erozního činitele na:

- **erozi vodní**
- **erozi sněhovou**
- **erozi ledovcovou**
- **erozi větrnou**
- **erozi zemní**
- **erozi antropogenní**

Uvedené druhy eroze se mohou vyskytovat jednotlivě nebo v kombinaci, což způsobuje různou intenzitu erozních procesů. V celosvětovém měřítku působí národnímu hospodářství největší škody vodní a větrná eroze; zvětšují se nepříznivé důsledky antropogenní eroze.

3.1.2.1. Vodní eroze

Vodní eroze je vyvolávána kinetickou energií dešťových kapek dopadajících na půdní povrch a mechanickou silou povrchově stékající vody. Povrchový odtok vzniká z přívalových nebo dlouhotrvajících srážek, ze sněhových vod při jarním tání a také koncentrací vody v přirozené i umělé hydrografické síti (Holý, 1978).

Vodní eroze má za následek odnos nejkvalitnější vrchní části půdního profilu, čímž se snižuje mocnost orníční vrstvy, obsah humusu, zhoršují se fyzikální a chemické vlastnosti půd a celková jejich úrodnost. Účinek vodní eroze spočívá v rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami a povrchovým odtokem a podle formy se dělí na erozi plošnou, rýhovou, výmolvou a proudovou (Janeček a kol., 2002).

Plošná eroze je charakterizována plošným smyvem půdní hmoty. Jejím prvním stupněm je eroze selektivní, při které dochází k odnosu nejjemnějších půdních částic a na ně vázaných

látek. Dochází ke změně půdní textury a obsahu živin v půdě. Erodované půdy se stávají hrubozrnnější a mají výrazně snížený obsah živin, půdy obohacené smyvem jsou jemnozrnnější a bohaté na živiny. Selektivita eroze se projevuje nestejným vývojem a růstem, rozdílnou barvou a kvalitou vegetace. Na dlouhých svazích se povrchově odtékající voda koncentruje a na půdním povrchu vytváří hustou síť stružek (stružková eroze), která plynule přechází v erozi brázdovou. Výmlová eroze je následným vývojovým stupněm eroze brázdové. Vzniká další koncentrací stékající vody, která vytváří v půdním povrchu zářezy (výmoly). Takto vytvořené výmoly již není možné s ohledem na jejich rozměry sanovat orbou (jako u stružkové a brázdové eroze). Může však vznikat i samostatně, koncentrací povrchového odtoku.

Proudová eroze vzniká působením soustředěné vody na dno a svahy vodních toků, působením vlnobití na břehy nádrží, jezer, moří (Holý, 1978).

3.1.2.2. Sněhová eroze

Sněhová eroze vzniká pohybem sněhu ve formě lavin, jejichž erozní činnost probíhá při velkých tlacích a rychlostech sněhu. Často devastuje zasažený pás území. Sněhová eroze může být vyvolána i pomalým pohybem vrstvy sněhu po neumrzlém půdním povrchu při jarním tání. Projevuje se zejména v podhorských oblastech (Holý, 1978).

3.1.2.3. Ledovcová eroze

Ledovcovou erozi způsobují ledovce pohybující se působením tíže do údolí. Při pohybu vynakládá ledovec převážnou část energie na erodování skalního podloží, které jednak obrušuje a vyhlazuje, jednak rýhuje valouny zamrzými v ledu. Ledovec strhuje a unáší do nižších poloh velké množství horninových zvětralin, jež po uložení vytvářejí morény. V ČR (Česká republika) se v současné době nevyskytuje, o její existenci na našem území svědčí morénové sedimenty v Krkonoších (Holý, 1978).

3.1.2.4. Větrná eroze

Větrná eroze spočívá v rozrušování půdní hmoty kinetickou energií větru (abraze), v přemísťování uvolněných částic (deflace) a jejich ukládání při poklesu energie vzdušného proudu (akumulace). Větrná eroze není v celosvětovém měřítku tak vážným problémem jako eroze vodní, přesto se však vyskytují rozsáhlé oblasti, v nichž větrná eroze působí stejně velké nebo i větší škody (Holý, 1978).

Oproti vodní erozi není pro rozvoj větrné eroze rozhodující reliéf terénu a jeho sklon, může se rozvíjet ve všech terénních tvarech a sklonech, může probíhat na všech druzích půd od lehkých až po těžké. Vlhkost půdy je jedním ze základních parametrů ovlivňujících větrnou erozi. Vlhká půda je vlivem soudržnosti půdních částic proti větrné erozi odolnější. Větrnou erozí jsou v ČR nejvíce poškozovány nejkvalitnější půdy (spraše). Vítr odnáší nejmenší částice půdy, odkrývá kořínky mladých rostlin, poškozují je a zanáší příkopy a komunikace (Janeček a kol., 2002).

3.1.2.5. Zemní eroze

Jde o erozní činnost suťových proudů, jež jsou tvořeny suťovým materiálem (kusy skal, balvany, zbytky vegetace) prosyceným vodou. Při svém pohybu do údolí rozrušují suťové proudy půdu i její podklad a vytvářejí hluboké rýhy. Materiál suťových proudů ohrožuje údolní polohy, osady, komunikace, technické stavby atd. Známé jsou suťové proudy na Kavkaze a v Alpách (Holý, 1994).

3.1.2.6. Antropogenní eroze

Holý (1978) uvádí, že člověk má vliv na vznik a průběh erozních procesů svými zásahy do přírody; je výrazným činitelem při vzniku zrychlené eroze a na erozní procesy působí nepřímo i přímo. Nepřímý vliv se projevuje ničením přirozeného vegetačního krytu půdy a jeho nahrazením vegetací s nízkým ochranným účinkem, zhoršením fyzikálních, chemických i biologických vlastností půdy, soustředěním povrchového odtoku různými úpravami území, znečištěním půdy odpady atd., přímý vliv se projevuje zejména realizací technických staveb a urbanizací.

3.2. Faktory ovlivňující erozní procesy

Holý (1978) určuje několik nejvýznačnějších faktorů, které ovlivňují a vyvolávají vznik eroze:

- **klimatický a hydrologický**
- **morfologický**
- **geologický a půdní**
- **vegetační**
- **hospodářsko-technický**
- **sociálně ekonomický**

Uvedené faktory mají zásadní vliv jak na průběh přirozených erozních procesů, tak především na průběh a intenzitu procesu eroze zrychlené.

3.2.1. Klimatický a hydrologický faktor

Klimatické a hydrologické poměry jsou charakterizovány zeměpisnou polohou, nadmořskou výškou, teplotou ovzduší, srážkami, výparem, vlhkostí vzduchu, směrem a silou větrů a povrchovým odtokem. Pro účely protierozní ochrany je nutno vyšetřovat zejména výskyt, rozdělení a intenzitu srážek a utváření a průběh povrchového odtoku. Vznik a průběh erozních procesů je ve většině případů vyvolán přívalovými srážkami, které jsou charakterizovány vysokou intenzitou, krátkou dobou trvání a malou zasaženou plochou (Holý, 1978). Erozivita deště a její účinky se mezi klimatickými regiony liší. Stejně množství srážek má nápadně odlišné účinky na množství eroze v závislosti na intenzitě deště a půdních podmínkách (Blanco, Lal, 2008).

3.2.2. Morfologický faktor

Morfologie krajiny, tj. její tvar, horizontální a vertikální členění, sklonitost, délka svahů, členění porostů apod., zásadním způsobem ovlivňuje erozní ohroženost. Vodní eroze je podmíněna povrchovým odtokem vody po skloněném území. Stékající voda nabývá se zvětšováním sklonu a délky svahu – za předpokladu trvání deště – i většího destrukčního

účinku na půdní povrch. Z průběhu erozních procesů vyplývá, že vodní erozí jsou nejvíce postiženy oblasti s členitým reliéfem, který napomáhá soustředování povrchově stékající vody a rychlejšímu odtoku (Holý, 1978).

3.2.3. Geologický a půdní faktor

Působení geologických poměrů na vznik a průběh eroze se uplatňuje přímo, a to odolností obnaženého geologického podkladu vystaveného styku s tekoucí vodou a ovzduším, a nepřímo působením na povahu půdního substrátu, jehož vlastnosti jsou dány druhem geologického podkladu. Půdní poměry se projevují působením na velikost a časový průběh infiltrace srážkové vody do půdy a působením na odolnost půdy vůči destruktivnímu účinku dešťových kapek a povrchově stékající vody. Pro velikost a časový průběh infiltrace srážkové vody do půdy je rozhodující textura a struktura půdy, její vlhkost, vrstvení, obsah humusu a nasycenost sorpčního komplexu (Holý, 1978).

3.2.4. Vegetační faktor

Vegetační faktor udává vliv ochranného působení vegetace na průběh a intenzitu erozních procesů a projevuje se ochranou půdního povrchu před přímým dopadem dešťových kapek a před působením větru, podporou vsaku srážkové vody do půdy, zpomalením povrchového odtoku a zlepšením fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy. Významné je zpevnění půdy kořenovým systémem vegetace (Holý, 1978).

3.2.5. Hospodářsko-technický faktor

Hospodářsko-technické faktory ovlivňují především způsob užívání a obhospodařování půdy, volbu a polohové rozmístění kultur, jejich zařazení do vhodného osevního postupu a provedení různých technických zásahů. Každý zásah do přirozeného vegetačního krytu půdního povrchu je nutno posuzovat z hlediska možných důsledků, vyúsťujících obvykle v intenzivní erozní procesy (Holý, 1978).

3.2.6. Sociálně ekonomický faktor

Efektivní využívání přírodních zdrojů trvale udržitelným způsobem v sobě odráží stupeň rozvoje společnosti. Každá společnost, která chce v přírodě existovat a dále se rozvíjet, musí tak činit na základě znalostí přírodních zákonů a tyto zákony respektovat. Jinak je předem odsouzena k zániku (Holý, 1978).

3.3. Možnosti protierozní ochrany

Protierozní ochrana nabývá stále většího významu a mnozí vlastníci půdy si tento problém již začínají uvědomovat. Proto je potřeba dát vlastníkům půdy možnost posoudit míru erozního ohrožení a zároveň sám si navrhnout způsoby jak erozi co nejvíce snížit a vhodným způsobem jí předcházet. V systému LPIS (Land Parcel Identifikation System) je již uživatelům přístupná databáze erozního ohrožení, ale v praxi se často setkáváme s projevy eroze v daleko větším měřítku. Sanetrník (1991) uvádí, že v koncepci protierozní ochrany půdy je třeba vycházet ze systému hospodaření na půdě. Specifické způsoby hospodaření na erozí poškozených půdách by se měly stát samozřejmou a normální součástí hospodaření na půdě jako jeden ze základních způsobů racionálního využívání a ochrany přírodních zdrojů. Ochrana půdy před erozí představuje soubor vzájemně se doplňujících opatření, zabráňujících erozi půdy.

3.3.1. Protierozní opatření

Janeček a kol. (2002) rozděluje protierozní opatření takto:

- organizační opatření
- agrotechnická opatření
- technická opatření

Do organizačních opatření je zahrnuta delimitace kultur - ochranné zatravnění a zalesnění, protierozní oseední postupy, pásové střídání plodin a pozemkové úpravy. Do skupiny agrotechnických opatření náleží vrstevnicové obdělávání půdy a ochranné obdělávání půdy. Technickými opatření se rozumí terénní urovnávky, protierozní meze, terasování, protierozní příkopy, průlehy, zatravněné údolnice, polní cesty s protierozní funkcí, protierozní hrázky a ochranné nádrže.

3.3.1.1. Organizační opatření

Podle Janečka (2002) řadíme do organizačních opatření tyto postupy:

Delimitace kultury pozemku (ochranné zatravnění nebo zalesnění)

Orientačním kritériem pro delimitaci kultur z hlediska protierozní ochrany je sklonitost území. Svahy se sklonem nad 50% by měly být zalesněny, pozemky se svažností nad 25% a pozemky technologicky nevhodné k pěstování polních plodin by měly být zatravněny trvalými travními porosty.

Protierozní rozmíst'ování plodin

Vegetace působí na zvýšení vsaku, působí na strukturu půdy a vytváří vhodné mikroklima k udržení půdních agregátů. Podle půdoochranného účinku lze jednotlivé skupiny plodin seřadit takto:

1. Trvalé travní porosty
2. Dočasné travní porosty
3. Jeteloviny
4. Luskoviny
5. Obiloviny
6. Širokořádkové plodiny

Pásové hospodaření

Pásové hospodaření spočívá v obdělávání půdy ve směru vrstevnic v kombinaci se střídání stejně širokých pásů plodin nedostatečně chránících půdu s pásy plodin, které vykazují

dobrou půdoochrannou funkci. Šířka pásů plodin závisí na použitých mechanizačních prostředcích a na svažitosti terénu.

Pozemkové úpravy

Při navrhování nových pozemků je potřeba dodržovat jednu z nejdůležitějších zásad a to je navrhovat pracovní délky ve směru vrstevnic. Jejich šířka musí odpovídat tzv. přípustné šířce (tj. takové, na které nedochází k nepřijatelné erozi).

3.3.1.2. Agrotechnická opatření

Do agrotechnických opatření řadí Janeček a kol.(2002) tato:

Vrstevnicové obdělávání půdy

Obdělávání půdy ve směru vrstevnic popřípadě jen s minimálním odklonem přispívá k ochraně půdy před erozí. Odhady uvádí, že orbou otočným pluhem s ukládáním ornice proti svahu se zadrží až 10 t ornice na každém 1 ha.

Ochranné obdělávání půdy

Při ochranném obdělávání půdy je ponechána část rostlinných zbytků předchozích plodin na povrchu půdy. Tím je částečně zajištěna ochrana proti vodní i větrné erozi. Půda se při následném zpracování pouze nakypří.

Hrázkování

Při pěstování širokořádkových plodin se bezprostředně po zasetí vytvoří v speciálním strojem hrázky, které jsou schopny zabránit odtoku vody z pozemků do 8% sklonu.

Mulčování

Výsev je prováděn do strniště s ponechanými zbytky rostlin předplodiny nebo do přemrzlých meziplodin. Pro maximální efektivitu tohoto opatření je důležité, aby ponechané rostlinné zbytky byly po pozemku rozprostřeny rovnoměrně a v dostatečné vrstvě.

3.3.1.3. Technická opatření

Technickými opatřeními jsou podle Janečka a kol.(2002) tato opatření:

Terénní urovnávky

Navrhují se přesuny zeminy ke snížení příčné svažitosti terénu a tím omezení soustředění povrchového odtoku srážkové vody.

Protierozní meze

Meze se vytvářely v minulosti postupně orbou (přiorávkou a odoráním), případně snášením kamenů a ukládáním materiálů organického původu, čímž časem vznikl terénní stupeň. Tvorba meze včetně jejich ochranných funkcí trvá desítky let. Meze je možné používat a vnímat jako systémová opatření prováděná v rámci ochrany pozemků v povodí. Meze musí být vedeny ve směru vrstevnic nebo v mírném sklonu do 3 %.

Terasování

Ochranné opatření na velmi svažitých hlubokých půdách. Toto opatření je velmi náročné a používá se jako krajní řešení protierozní ochrany pro pěstování speciálních kultur (vinice, sady).

Protierozní příkopy

Používají se k doplnění existující hydrografické sítě a slouží k zachycování a odvádění povrchové vody i splavenin. Z funkčního hlediska je dělí na:

- a) záchytné, k ochraně pozemků před přítokem vnějších vod, zejména z lesů
- b) sběrné, pro zachycení vnitřních vod, zpravidla k omezení příliš velké délky povrchového odtoku po pozemku,
- c) svodné, pro zajištění neškodného odtoku do stávajících recipientů (potoky, rybníky apod.)

Protierozní průlehy

Navrhují se k zachycování, infiltraci a odvádění krátkodobého povrchového odtoku způsobeného přívalovými dešti nebo náhlým táním sněhu. Průlehy jsou mělké, vegetací zpevněné široké příkopy. Příčný profil průlehů se navrhuje se sklony nejvýše 1:5, aby byly průlehy přejezdné; podélný sklon je nulový, aby veškerá voda přitékající z území položeného výše vsákla v travním průlehu do půdy.

Zatravněné údolnice

Navrhují se k ochraně drah povrchového odtoku, který se soustřeďuje v přirozených úžlabinách a údolnicích. Údolnici je potřeba dobře odvodnit drenáží, aby nedocházelo k jejímu poškození při příčném přejíždění mechanizačních prostředků.

Polní cesty s protierozní funkcí

Jsou polní cesty s odvodňovacími příkopy zajišťující jak protierozní ochranu, tak přístup na pozemky.

Protierozní hrázky

Jsou nižší hrázky budované zpravidla na úpatí svahů, zpevněné vegetačním krytem. Většinou slouží k ochraně přilehlých komunikací před zaplavením a zanesením splaveninami.

Protierozní nádrže

Navrhují se k akumulaci, retenci, retardaci a infiltraci povrchového odtoku a k zachycování splavenin. Jsou zpravidla závěrečným prvkem systému protierozních opatření uplatněného v povodí za účelem ochrany vodních zdrojů, intravilánů a významných objektů.

Rozlišují se:

- a) pravé vodní nádrže s vymezeným sedimentačním, zásobním a retenčním prostorem,
- b) suché a polosuché retenční nádrže (tzv. poldry), které slouží především ke krátkodobému zachycení povrchového odtoku, bez zásobního prostoru.

Ochranné nádrže jsou velmi účinná, ale nákladná opatření, která regulují odtok vody, zachycují transportované splaveniny a odbourávají část živin, rozpuštěných ve vodě.

4. Materiál a metody

Problematice zjišťování rozsahu, mapování, výpočtů, simulace a následné eliminace vodní eroze je v současné době věnována stále větší pozornost, která jí ovšem právem náleží. Největší riziko představuje degradace půdy způsobená odnosem půdních částic a s ním spojené zanášení a eutrofizace přílehlých recipientů. Minimálně stejné riziko představují také tzv. bleskové záplavy. Při nich v důsledku nadměrného utužení půdy a využívání nešetrných technologií při pěstování kulturních polních plodin dochází při náhlých srážkových epizodách k nadlimitnímu odtoku spadlých srážek. Tyto srážky by však krajina při správném způsobu hospodaření byla schopna zadržet.

Základní metodou výpočtu erozní ohroženosti je rovnice USLE (Universal Soil Loss Equation) a z ní odvozená RUSLE. Z těchto rovnic vychází množství aplikací zabývajících se výpočty, případně simulací erozních procesů. USLE široce používána mimo USA, kde vznikla, protože poskytuje relativně jednoduchý způsob odhadu eroze a porovnání pravděpodobných přínosů různých půdoochranných postupů. Je ceněna jako jedna z nejvýznamnějších výzkumných prací pro ochranu půdy a vod v 20. století (Laflen, Moldenhauer, 2003).

Pro tuto práci byly vybrány k porovnání dvě metody a to RUSLE a SMODERP. Metoda RUSLE hodnotí erozní ohroženost pozemků z hlediska maximální přípustné ztráty půdy. Metoda SMODERP hodnotí srážko – odtokové vztahy a erozní procesy na svazích.

4.1. Popis vybrané lokality

Pozemek vybraný ke stanovení erozní ohroženosti a následnému navržení vhodných protierozních opatření se nachází v katastrálním území 625744 Deštná u Jindřichova Hradce. V katastru nemovitostí je evidován pod parcelním číslem 1396/1 v kultuře orná půda. V evidenci půdních bloků LPIS je pozemek evidován jako půdní blok číslo 710-1130 9901/1 s kulturou orná půda, o výměře 32,53 hektarů a konvenčním způsobem hospodaření. Na pozemku provozuje zemědělskou výrobu Agra Deštná a.s.. Z výřezu snímku státní mapy odvozené s vyznačenými liniemi BPEJ na obrázku číslo 2 je patrné, že se na pozemku nalézají sedm typů bonitovaných půdně ekologických jednotek. Jsou to: 72901, 72911, 72941, 74700, 74710, 75001, 75051.

Kódy BPEJ poskytují základní informace o klimatickém regionu (1.číslice kódu), hlavní půdní jednotce (2.a3.číslice kódu), sklonitosti a expozici ke světovým stranám (4.číslice kódu), hloubce půdního profilu a skeletovitosti (5.číslice kódu).

Řešený pozemek leží v klimatickém regionu 7 s touto základní charakteristikou:

region je mírně teplý, vlhký, s průměrnou roční teplotou 6-7°C a průměrným ročním úhrnem srážek 650-750 mm.

Na řešeném pozemku se vyskytují tyto HPJ (hlavní půdní jednotka):

HPJ 29 – kambizemě modální eubazické až mezobazické včetně slabě oglejených variet – velmi hluboké půdy středně těžké až lehčí, bez skeletu až středně skeletovité, s nižší vodopropustností

HPJ 47 – pseudogleje modální nebo luviské, kambizemě oglejené – polygenetické hlíny, středně těžké, bez skeletu až středně skeletovité, se sklonem k občasnému zamokření

HPJ 50 – kambizemě oglejené, pseudogleje modální – půdy na všech půdotvorných substrátech, lehčí i středně těžké až těžké, s příměsí skeletu až skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření. (Mašát a kol., 2002)

4.2. Metoda RUSLE

Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy

Rovnice USLE, kterou vytvořili W. H. Wischmeier a D. D. Smith v r. 1965, byla na základě zkušeností v 90. letech 20. století revidována a aktualizována a je nadále používána pod názvem RUSLE. Rovnice vychází z principu tzv. přípustné ztráty půdy na tzv. jednotkovém pozemku, jehož parametry jsou definovány a odvozeny z rozměrů standardních výzkumných odtokových ploch s délkou svahu 22 m a sklonem 9%, jejichž povrch je mechanicky kultivován ve směru sklonu svahu jako trvalý úhor. Na rozdíl od USLE vyžaduje RUSLE větší množství vstupních dat, což umožňuje přesnější popis zájmové lokality a zároveň poskytuje přesnější výsledky. Hodnota přípustné ztráty půdy slouží ke stanovení

erozní ohroženosti pozemku a je definována jako hraniční míra eroze půdy (Janeček a kol., 2007).

Ztráta půdy erozí se stanoví na základě rovnice RUSLE:

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

G ... ztráta půdy v t/ha za rok

R ... faktor erozní účinnosti deště

K ... faktor náchylnosti půdy k erozi

L ... faktor délky svahu

S ... faktor sklonu svahu

C ... faktor ochranného vlivu vegetace

P ... faktor účinnosti protierozních opatření (Janeček a kol., 2002).

Faktor R vyjadřuje účinek srážek na velikost ztráty půdy, je definovaný jako součin kinetické energie deště a jeho největší třicetiminutové intenzity:

$$R = E \cdot i_{30}$$

R ... faktor erozní účinnosti deště (MJ / ha·cm / h)

E ... celková kinetická energie deště (J/m²)

i₃₀... maximální třicetiminutová intenzita deště

Celková kinetická energie deště je:

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

kde: E_i je kinetická energie i-tého úseku deště (n- počet úseků deště):

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

kde: i_{si} je intenzita deště i-tého úseku

H_{si} úhrn deště v i-tém úseku

Faktor erozní účinnosti srážek R tedy závisí na četnosti výskytu srážek, jejich kinetické energii, intenzitě a úhrnu (Janeček a kol., 2007). Intenzita srážek na většině lokalit je tak variabilní, že skutečná erozivita v jednom roce je obvykle 2 až 5-krát větší nebo menší než

dlouhodobý průměr. Ve skutečnosti několik neobvykle intenzivních silných bouří často zodpovídá za většinu eroze, která nastane během typického desetiletí (Brady, Weil, 2002).

Tabulka č. 1: Rozdělení R faktoru v průběhu vegetačního období

Měsíc	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
%	0,5	10,0	23,0	32,0	27,0	7,0	0,5

Zdroj: Janeček a kol., 2007

Na území ČR se pro výpočty obvykle používá průměrná hodnota **20** (Janeček a kol.,2002).

Faktor K vyjadřuje vliv půdních vlastností na velikost ztráty půdy. Závisí na textuře, struktuře, propustnosti, obsahu organické hmoty. Je definován jako odnos půdy v tunách z 1 ha na jednotku dešťového faktoru R ze standardního pozemku (Janeček a kol.,2007).

Faktor erodovatelnosti půdy lze stanovit třemi postupy:

1) podle vztahu odvozeného pro faktor K

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

M= % prachu+jemného písku (0,002-0,1) * (100-%jílu)

a = organická hmota v %

b= třída struktury ornice

c = třída propustnosti půd. profilu

Hodnotu faktoru K je nutno převést na jednotky SI vynásobením součinitelem 1,23.

a- procentuální obsah humusu se určí vynásobením celkového oxidovatelného uhlíku (C_{ox}) hodnotou 1,724

b- třída struktury ornice: zrnitá 1
drobtovitá 2
hrudkovitá 3
deskovitá, slitá 4

c- třída propustnosti lze určit přibližně podle HPJ (hlavní půdní jednotka) (Janeček a kol., 2007).

Tabulka č. 2: Třída propustnosti půdního profilu podle HPJ

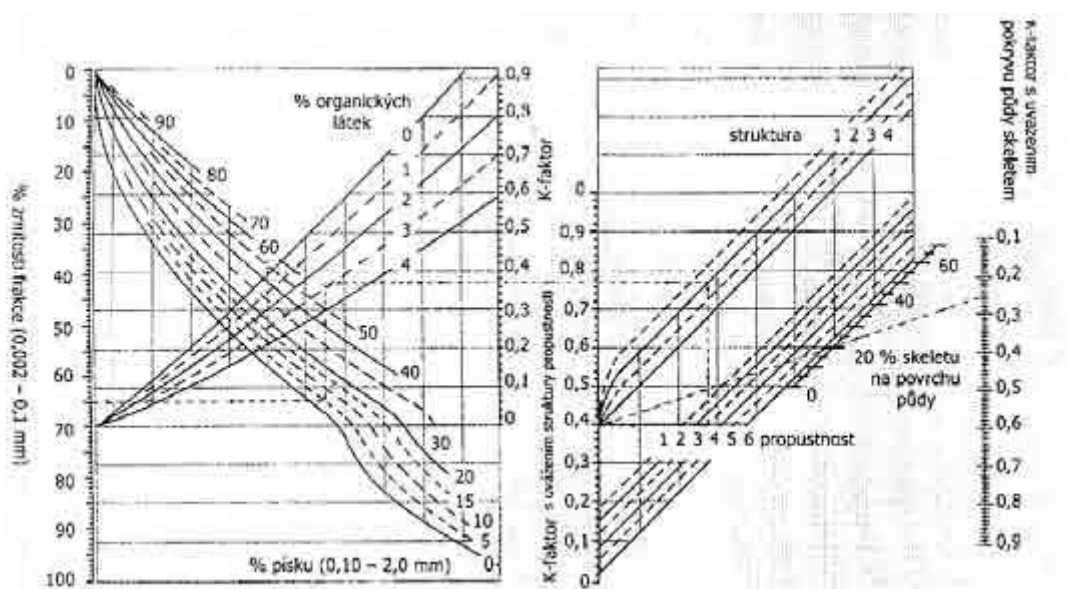
Třída propustnosti	HPJ podle BPEJ
1	04,05,17,21,31,32,37,40,55
2	13,16,18,22,27,30,34,38,41
3	01,02,08,09,10,12,14,15,23,26,28,29,35,36,51,56
4	03,06,11,19,24,25,3,42,43,44,45,46,48,50,52,58,60
5	07,20,39,47,49,57,59,62,64,65,66,75,77,78
6	53,54,61,63,67,68,69,70,71,72,73,74,76

Zdroj: Janeček a kol., 2007

2) podle nomogramu sestrojeného na základě uvedeného vztahu

- hodnoty faktoru K lze určit z nomogramu (obr. 1). Hodnota odečtená z nomogramu je již v SI (mezinárodní soustava jednotek) jednotkách (Janeček a kol., 2007).

Obrázek č. 1: Nomogram pro určení faktoru erodovatelnosti půdy K



Zdroj: Janeček a kol., 2007

- 3) k přibližnému určení faktoru K podle HPJ bonitační soustavy půd slouží hodnoty uvedené v tabulce číslo 3

Tabulka č. 3: Hodnoty faktoru K pro jednotlivé HPJ

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

Zdroj: Janeček a kol., 2007

Hodnoty uvedené v tabulce jsou již v jednotkách SI.

Faktor L vyjadřuje intenzitu eroze v závislosti na nepřerušené délce svahu.

$$L = (l/22,13)^m$$

L ... faktor délky svahu

l ... horizontální projekce délky svahu (není vzdálenost rovnoběžná s povrchem půdy)

m ... exponent délky svahu vyjadřující náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze

Tabulka č. 4: Hodnoty exponentu délky svahu v závislosti na sklonu svahu a poměru rýžkové a plošné eroze

Sklon svahu (%)	Poměr mezi rýžkovou a plošnou erozí			Sklon svahu (%)	Poměr mezi rýžkovou a plošnou erozí		
	Nízký	Střední	Vysoký		Nízký	Střední	Vysoký
0,2	0,02	0,04	0,07	12,0	0,37	0,55	0,71
0,5	0,04	0,08	0,16	14,0	0,40	0,57	0,72
1,0	0,08	0,15	0,26	16,0	0,41	0,59	0,74
2,0	0,14	0,24	0,39	20,0	0,44	0,61	0,76
3,0	0,18	0,31	0,47	25,0	0,47	0,64	0,78
4,0	0,22	0,36	0,53	30,0	0,49	0,66	0,79
5,0	0,25	0,40	0,57	40,0	0,52	0,68	0,81
6,0	0,28	0,43	0,60	50,0	0,54	0,70	0,82
8,0	0,32	0,48	0,65	60,0	0,55	0,71	0,83
10,0	0,35	0,52	0,68				

Zdroj: Janeček a kol., 2007

Faktor S vyjadřuje intenzitu eroze v závislosti na sklonu svahu.

$$S = 10,8 * \sin s + 0,03 \quad \text{pro } s \text{ větší než } 9\%$$

$$S = 16,8 * \sin s - 0,50 \quad \text{pro } s \text{ menší nebo rovno } 9\%$$

kde s je sklon svahu (rad)

Pro vyjádření proměnného sklonu svahu nebo změny půdních vlastností lze rozdělit svah na deset stejně dlouhých úseků a faktor sklonu S stanovit jako vážený průměr faktoru S dílčích úseků.

$$S = 0,03 * S_1 + 0,06 * S_2 + 0,07 * S_3 + 0,09 * S_4 + 0,1 * S_5 + 0,11 * S_6 + 0,12 * S_7 + 0,13 * S_8 + 0,14 * S_9 + 0,15 * S_{10}$$

S_i ... hodnota faktoru S pro i-tý úsek svahu.

Faktor C představuje poměr smyvu na pozemku s pěstovanými plodinami ke ztrátě půdy na kypřeném úhoru. Při řešení protierozní ochrany se faktor C stanoví pro každou plodinu v rámci osevního postupu zvlášť podle následujících období agrotechnických prací:

- 1) období podmítky a hrubé brázdy
- 2) období od přípravy k setí do prvního měsíce po zasetí
- 3) období druhého měsíce po setí, u ozimů do 30.4.
- 4) období od konce třetího období do sklizně
- 5) období strniště

Z hodnot pro jednotlivé plodiny se vypočte průměrná hodnota faktoru C pro daný osevní postup (Janeček a kol., 2007).

Faktor P vyjadřuje účinnost protierozních opatření, jde o poměr odnosu ze skutečného pozemku s aplikací určitého protierozního opatření oproti pozemku udržovanému běžnou agrotechnikou bez využití ochranných opatření (Janeček a kol., 2007).

P nabývá hodnot od 0 do 1, kdy nejvyšší hodnoty odpovídají holé půdě bez ochrany. Zachování živého i neživého vegetačního krytu a provádění ochranného obdělávání půdy významně snižuje erozi půdy (Blanco, Lal, 2008).

Pro dosažení do rovnice se nejčastěji používá hodnota 1, protože v našem zemědělství většinou žádná opatření nejsou.

Vypočtené G by nemělo překročit tzv. G přípustné.

G přípustné je dáno pro:

- půdy mělké do 30cm - 1 t/ha za rok
- půdy středně hluboké do 60cm - 4t/ha za rok
- půdy hluboké nad 60cm - 10 t/ha za rok

Při překročení limitní hodnoty je nutné navrhnout protierozní opatření (Vopravil a kol., 2010)

4.3. Metoda SMODERP

SIMULAČNÍ MODEL POVRCHOVÉHO ODTOKU A EROZNÍCH PROCESŮ

Model SMODERP byl sestaven na katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT (České vysoké učení technické) Praha. Model řeší srážko-odtokové vztahy a erozní procesy na svahu a jeho výstupy lze využít pro návrh prvků protierozní ochrany. Taktéž simuluje plošný povrchový odtok a erozní procesy ze srážky proměnné intenzity v území o velikosti do 1,0 km². Morfologické, půdní a vegetační poměry území mohou být proměnné. Model SMODERP lze použít pro stanovení charakteristik plošného povrchového odtoku nebo pro stanovení přípustné délky nepřerušného svahu nebo pro stanovení ztráty půdy vlivem erozního smyvu. Vyšetřovaný pozemek je charakterizován jedním nebo více podélnými profily (tj. dráhy povrchového odtoku). Pozemek může být rozdělen do max. 10-ti úseků, každý úsek musí být přímý z hlediska sklonu a homogenní z hlediska půdy a vegetace. Předpokládá se, že celý pozemek je zasažen stejnou srážkou proměnné intenzity, jejíž periodicitu, intenzitu, dobu trvání a časový průběh volí uživatel podle požadované míry ochrany řešené plochy (Vrána a kol., 2011).

Vstupy:

Vstupní data lze rozdělit do 4 základních skupin:

- údaje morfologické;
- údaje pedologické;
- údaje o vegetačním krytu pozemku a používané agrotechnice;
- údaje srážkové.

Morfologické údaje:

Základní popis geometrie svahu, tj. sklon a délka odtokového profilu. Pro určení průměrného sklonu svahu, resp. jednotlivých homogenních úseků, se používají vodorovné vzdálenosti mezi vrstevnicemi při jejich známé výškové odlehlosti.

Pedologické údaje:

Půdní druh - pro stanovení lze využít mapy KPP (Komplexního průzkumu půd) 1 : 10 000 nebo mapy BPEJ (Bonitovaných půdně ekologických jednotek) 1 : 5 000, spolu se základním terénním šetřením.

Zadává se číslo = kód půdního druhu :

1. písčité půdy
2. hlinitopísčité půdy
3. hlinité půdy
4. jílovitohlinité půdy
5. jílovité půdy.

Součinitel hydraulické nasycené vodivosti - K (cm.min-1) - Aktuální hodnota nasycené hydraulické vodivosti je proměnná v čase a prostoru a je svázána s variabilitou půdních podmínek, vegetačním obdobím, vývojovým stadiem plodiny, způsobem agrotechniky. Pro přesný výpočet je nutno vstupní data stanovit na základě terénního průzkumu, doplněného odběrem vzorků pro laboratorní stanovení hodnoty K, nebo polním infiltračním pokusem.

Sorptivita - S (cm.min-0,5) – Nejsou-li k dispozici hodnoty zjištěné vyhodnocením terénního měření, většinou stačí využít průměrné tabulkové hodnoty.

Manningův součinitel drsnosti pro povrchový odtok - N (bezrozměrné číslo) - Hodnoty N závisí především na vegetačním krytu a momentálním stavu povrchu půdy. Doporučené průměrné hodnoty pro základní typy vegetačního krytu jsou tabelovány.

Povrchová retence – R (mm) - Hodnota retence půdního povrchu je závislá na typu a vývojovém stadiu vegetace, na půdním druhu a zejména na momentálním stavu povrchu půdy. V praxi se osvědčilo použití střední hodnoty $R = 3$ mm, která odpovídá urovnanému povrchu půdy.

Údaje o vegetačním krytu pozemku a používané agrotechnice:

Typ vegetačního pokryvu - zadává se typ plodiny, která je nebo se předpokládá její pěstování na vyšetřovaném pozemku v době výskytu návrhové srážky,

Typy vegetace:

1. povrch bez vegetace (= úhor)
2. širokořádkové plodiny (brambory, kukuřice, apod.)
3. úzkořádkové plodiny (obiloviny, řepka, apod.)
4. travní porost.

Potenciální intercepce - PI (mm) - obecně je PI závislá na druhu pěstované plodiny a na stupni jejího vývoje. Doporučené střední hodnoty PI pro několik základních skupin plodin jsou tabelovány.

Poměrná listová plocha - PLP (bezrozměrné číslo) - udává poměr celkové plochy listů vegetace na jednotkovou plochu půdy. Doporučené střední hodnoty PPL pro několik základních skupin plodin jsou tabelovány.

Faktor ochranného účinku vegetace - C (bezrozměrné číslo) - hodnota tohoto faktoru je závislá na typu pěstované plodiny, její vývojové fázi a používané agrotechnice. Jedná se o hodnotu faktoru C převzatou z Univerzální rovnice ztráty půdy.

Srážkové údaje:

Časový průběh úhrnu srážky – H (mm) – kumulativní srážkový úhrn v různých časech trvání deště. Zadávat lze buď návrhové deště se zvolenou periodicitou pro vyšetřovanou oblast (hodnoty návrhových dešťů jsou tabelovány) v případě, že cílem řešení je návrh opatření, nebo průběh skutečně měřené srážky, jde-li o posouzení reálné události. (Vrána a kol., 2011)

Způsob výpočtu:

Model SMODERP zahrnuje tři nezávislé části. Uživatel si dle potřeby zvolí výpočet

- a) přípustné délky svahu
- b) charakteristiky povrchového odtoku
- c) intenzity eroze.

Stanovení přípustné délky svahu:

Přípustnou délku svahu ve směru odtoku vody určuje simulační model porovnáním vypočtené rychlosti povrchového odtoku s tabelovanými limitními hodnotami. Nutnost přerušení povrchového odtoku nastává v místě, kde dojde k překročení limitních hodnot.

Stanovení povrchového odtoku:

Model povrchového odtoku je odvozen z rovnice kontinuity a rovnice pohybové na základě kinematického principu s využitím experimentálních měření na sklopném hydraulickém žlabu v laboratoři a na terénním výzkumném objektu.

Model povrchového odtoku zahrnuje procesy intercepce, retence půdního povrchu a infiltrace vody do půdy.

Stanovení erozního ohrožení:

Míru ohrožení pozemku vodní erozí řeší model pomocí Univerzální rovnice ztráty půdy podle Wischmeiera a Smitha. V případě, že vypočtená ztráta půdy přesahuje limitní hodnotu je třeba na pozemku aplikovat protierozní opatření (Vrána a kol., 2011).

Výstupy:

1. Přípustná délka svahů

- graficky je znázorněn profil svahu s vyznačením délek, sklonů a popisem vegetace jednotlivých úseků svahu. Graficky i číselně je vyznačena poloha bodů, ve kterých byla překročena přípustná délka svahu a kde je třeba přerušit povrchový odtok. Přípustné délky jednotlivých úseků svahu jsou rovněž uloženy do tabulky.

2. Povrchový odtok

- tabulka konečných výsledků simulace povrchového odtoku uvádí celkový objem odtoku ze srážky (na zvolenou šířku svahu) (m³), dobu dosažení kulminace od začátku srážky (min), maximální průtok (l/s), maximální rychlost povrchového odtoku (m/s) a maximální výšku povrchového odtoku (mm) pro každý řešený profil

3. Eroze

- výstupem simulačního výpočtu je tabulka zobrazující hodnotu eroze G (t/ha/rok) a dále pomocné hodnoty výpočtu eroze, tj. průměrný sklon svahu s (%), hodnotu s faktoru, hodnotu exponentu p, hodnotu L faktoru a celkovou délku svahu L (m) (Vrána a kol., 2011).

5. Výsledky

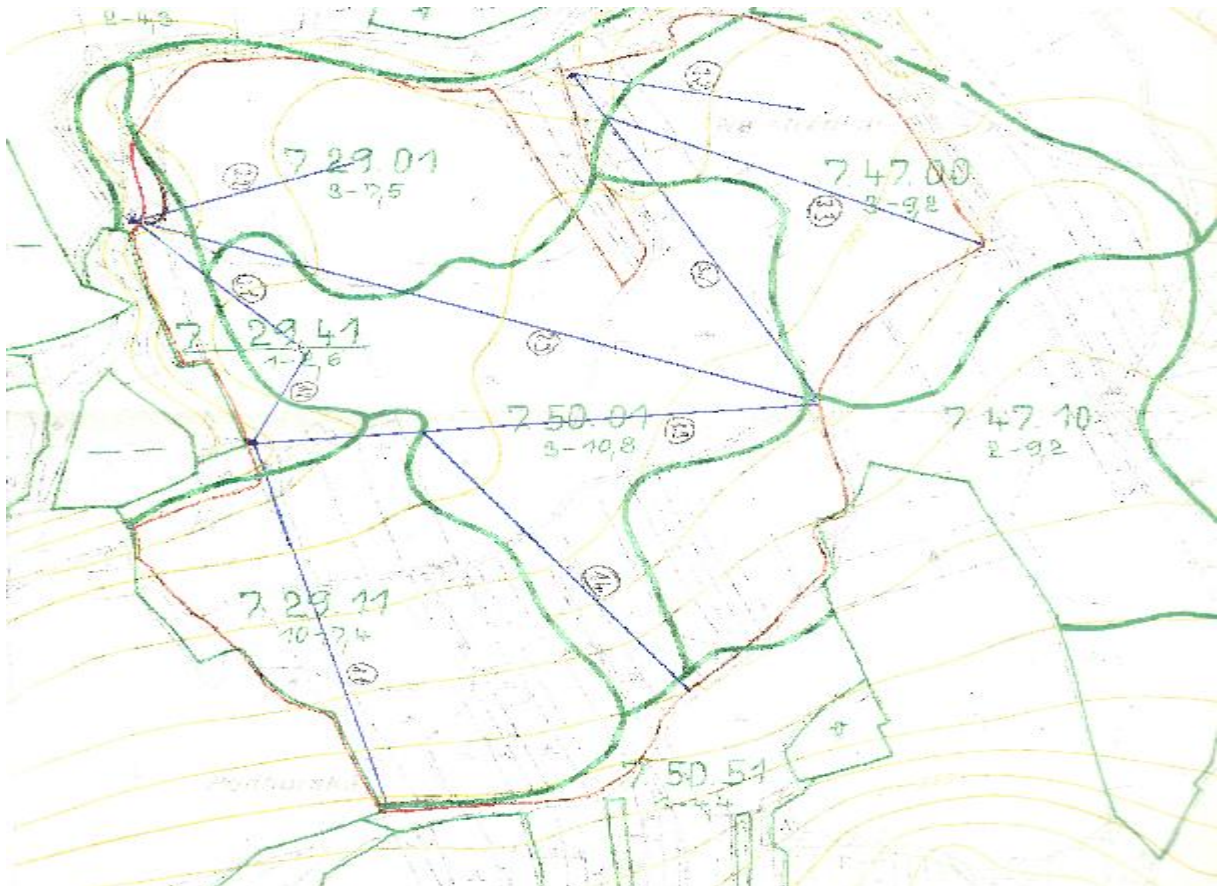
5.1. Vyhodnocení erozního ohrožení vybraného území

Pro vyhodnocení ohrožení řešeného pozemku vodní erozí bylo použito stanovení roční ztráty půdy způsobené vodní erozí výpočty s použitím revidované rovnice ztráty půdy a

zároveň počítačový program simulačního modelu povrchového odtoku a erozních procesů. Získané výstupy byly využity pro návrh protierozních opatření.

Na základě terénního průzkumu byl řešený pozemek rozdělen podle členitosti do tří hlavních drah soustředěného odtoku s navazujícími bočními drahami (viz obr.2). Takto bylo získáno celkem 10 profilů pravděpodobného výskytu vodní eroze.

Obrázek č.2: Znázornění drah soustředěného odtoku



Zdroj: mapa BPEJ 1:5000

5.1.1. Výpočet erozního ohrožení podle rovnice RUSLE

Rozdělením pozemku do drah soustředěného odtoku vznikly profily označené 1.1. až 3.3., jejichž hodnoty byly použity pro výpočty erozního ohrožení.

Vstupní data:

- **faktor R** – při výpočtech byla použita průměrná hodnota pro ČR, což je $R=20$
- pro výpočet korekce C faktoru byly použity údaje pro rozložení R faktoru v průběhu roku, platné pro Jihočeský kraj (viz tab.č.5)

Tabulka č. 5: Rozložení průměrné hodnoty R-faktoru v průběhu roku

Měsíc	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
koeficient	0,005	0,1	0,23	0,32	0,27	0,07	0,005

Zdroj: Janeček a kol., 2007

- **faktor K** – pro stanovení faktoru K byly použity přibližné hodnoty podle HPJ soustavy BPEJ

Tabulka č. 6: Hodnoty K-faktoru a kódy HPJ

Profil číslo	HPJ	K faktor
1.1.	29	0,32
1.2.	29	0,32
	50	0,33
1.3.	29	0,32
	47	0,43
	50	0,33
1.4.	50	0,33
2.1.	29	0,32
	50	0,33
2.2.	29	0,32
2.3.	29	0,32
	47	0,43
	50	0,33
3.1.	29	0,32
	47	0,43
	50	0,33
3.2.	29	0,32
	47	0,43
3.3.	47	0,43

Zdroj:vlastní srovnání, 2012

- **faktor L** – pro výpočet L faktoru byla délka profilů odečtena z mapy BPEJ a rozdělena dle BPEJ

Tabulka č. 7: Výpočet L-faktoru

Profil číslo	Délka	Konstanta	Podíl	Exponent	L faktor
1.1.	325	22,13	14,68595	0,33	2,427044
	55	22,13	2,485314	0,6	1,726747
1.2.	50	22,13	2,259376	0,33	1,308628
	50	22,13	2,259376	0,6	1,630772
1.3.	285	22,13	12,87845	0,33	2,324101
	65	22,13	2,937189	0,5	1,713823
	75	22,13	3,389065	0,6	2,079926
1.4.	310	22,13	14,00813	0,33	2,389492
	20	22,13	0,903751	0,6	0,941086
2.1.	100	22,13	4,518753	0,33	1,644963
	75	22,13	3,389065	0,6	2,079926
2.2.	135	22,13	6,100316	0,33	1,816211
	40	22,13	1,807501	0,6	1,426419
2.3.	485	22,13	21,91595	0,33	2,769816
	10	22,13	0,451875	0,5	0,672217
	50	22,13	2,259376	0,6	1,630772
3.1.	375	22,13	16,94532	0,33	2,544406
3.2.	170	22,13	7,68188	0,33	1,959766
3.3.	370	22,13	16,71939	0,33	2,53316

Zdroj:vlastní srovnání, 2012

- **faktor S** – pro stanovení faktoru S byly použity hodnoty sklonu pozemku naměřené v terénu přepočtené pomocí tabulek

Tabulka č. 8: Stanovení S-faktoru

1.1.	délka	0-20	20-35	35-85
	sklon %	10	14,5	7,5
	koeficient	1,172	1,911	0,838
1.2.	délka	0-40	40-70	70-100
	sklon %	19	13	12
	koeficient	2,636	1,666	1,502
1.3.	délka	0-20	20-100	
	sklon %	11,5	6	
	koeficient	1,255	0,677	
1.4.	délka	celý		
	sklon %	9,5		
	koeficient	1,42		
2.1.	délka	0-90	90-140	
	sklon %	15,5	12	
	koeficient	2,073	1,502	
2.2.	délka	0-50	50-konec	
	sklon %	8	6,5	

	koeficient	0,891	0,731	
2.3.	délka	0-50	50-100	
	sklon %	7,5	4	
	koeficient	0,838	0,462	
3.1.	délka	0-30	30-80	80-190
	sklon %	2	10	3
	koeficient	0,246	1,172	0,354
3.2.	délka	0-30	30-80	
	sklon %	2	15	
	koeficient	0,246	1,992	
3.3.	délka	celý		
	sklon %	8,5		
	koeficient	0,949		

Zdroj:vlastní srovnání, 2012

- **faktor C** – faktor ochranné funkce vegetačního krytu byl vypočítán pro posouzení dlouhodobé erozní ohroženosti pro konkrétní osevni postup. Vzhledem k výrobnímu zaměření hospodařícího subjektu je uplatňován následující upravený osevni postup:

1. jařina

2. ozim

3. kukuřice

Sláma předplodiny je vždy sklizena, pozemek je orán, hnojen digestátem z bioplynové stanice a minerálními hnojivy.

Tabulka č. 9: Výpočet C-faktoru pro jednotlivé plodiny osevního postupu

Jařina

Období polních prací a vývoje rostlin	Kalendářní období	C	R	CxR
1.podmítka a hrubá brázda	1.11.-20.3.	0,7	0	0
2.příprava k setí až 1 měsíc po zasetí	21.3.-20.4.	0,75	0,003	0,00225
3.od konce 2.období do konce 3.období	21.4.-20.5.	0,5	0,0604	0,0302
4.od konce 3.období do sklizně	21.5.-20.7.	0,08	0,5663	0,045304
5.strniště	21.7.-31.8.	0,25	0,3683	0,092075
				0,169829

Ozim

Období polních prací a vývoje rostlin	Kalendářní období	C	R	CxR
1.podmítka a hrubá brázda	1.9.-20.9.	0,65	0,031	0,02015
2.příprava k setí až 1 měsíc po zasetí	21.9.-20.10.	0,7	0	0
3.od konce 2.období do konce 3.období	21.10.-30.4.	0,45	0,005	0,00225
4.od konce 3.období do sklizně	1.5.-20.8.	0,08	0,874	0,06992
5.strniště	21.8.-20.3.	0,25	0,1208	0,0302
				0,12252

Kukuřice po obilnině

Období polních prací a vývoje rostlin	Kalendářní období	C	R	CxR
1.podmítka a hrubá brázda		0,7	0	0
2.příprava k setí až 1 měsíc po zasetí	21.4.-20.5.	0,9	0,061	0,0549
3.od konce 2.období do konce 3.období	21.5.-20.6.	0,7	0,2261	0,15827
4.od konce 3.období do sklizně	21.6.-20.9.	0,35	0,697	0,24395
5.strniště	21.9.-31.10.	0,7	0,0103	0,00721
				0,46433

Zdroj: vlastní srovnání, 2012

Průměr C faktoru pro výše uvedený osevní postup je **0,25223**.

- **faktor P** – vzhledem k tomu, že na šetřeném pozemku nebyla aplikována žádná protierozní opatření, byla dosazena hodnota faktoru 1,0

Po dosazení všech vstupní dat pro jednotlivé profily byla pro výše uvedený osevní postup vypočítána průměrná roční ztráta půdy. V níže uvedené tabulce jsou červeně zvýrazněny hodnoty překračující přípustnou hodnotu. Pro dosažení co nejpřesnějších výsledků byly jednotlivé profily rozděleny na úseky podle BPEJ. Délka jednotlivých úseků byla převzata z mapy BPEJ.

Tabulka č. 10: Výpočet průměrné roční ztráty půdy

Profil číslo	BPEJ	R	K	L	S	C	P	G
1.1.	72911	20	0,32	3,832	0,838	0,25223	1	5,183776
	72941	20	0,32	1,727	1,911	0,25223	1	5,327577
1.2.	75001	20	0,33	1,309	1,584	0,25223	1	3,45172
	72941	20	0,32	1,631	2,636	0,25223	1	6,940265
1.3.	75001	20	0,33	2,324	0,677	0,25223	1	2,619181
	72941	20	0,32	2,08	1,255	0,25223	1	4,213896
	74710	20	0,43	0,823	0,891	0,25223	1	1,590643
	72911	20	0,32	1,503	0,891	0,25223	1	2,161789
1.4.	75001	20	0,33	2,389	1,42	0,25223	1	5,647356
	75051	20	0,33	0,941	2,396	0,25223	1	3,753333
2.1.	75001	20	0,33	1,645	1,502	0,25223	1	4,113169
	72941	20	0,32	2,08	2,073	0,25223	1	6,960483
2.2.	72901	20	0,33	1,816	0,731	0,25223	1	2,209906
	72941	20	0,32	1,426	0,891	0,25223	1	2,051039
2.3.	75001	20	0,33	2,544	0,462	0,25223	1	1,95659
	72941	20	0,32	1,631	0,838	0,25223	1	2,206351
	74710	20	0,43	0,672	0,9	0,25223	1	1,311919
	72901	20	0,32	1,698	0,462	0,25223	1	1,266358
3.1.	74700	20	0,43	1,672	1,172	0,25223	1	4,250687
	72901	20	0,32	1,35	0,246	0,25223	1	0,5361
	75001	20	0,33	2,118	0,354	0,25223	1	1,248159
3.2.	74700	20	0,43	1,794	1,992	0,25223	1	7,751879
	72901	20	0,32	1,216	0,246	0,25223	1	0,482887
3.3.	74700	20	0,43	2,533	0,949	0,25223	1	5,214307

Zdroj:vlastní srovnání, 2012

5.1.2. Výpočet erozního ohrožení podle modelu SMODERP

K simulaci erozních procesů pomocí modelu SMODERP byla použita identická vstupní data jako u předchozích výpočtů.

Vstupní data:

- 1) **morfologické údaje** – délky a průměrný sklon svahů byly odečteny z mapy BPEJ a následně ověřeny terénním měřením z důvodu získání co nejpřesnějších vstupních údajů.

2) **pedologické údaje** – ke stanovení půdního druhu podle metodiky byly použity mapy BPEJ a zjištěné údaje byly porovnány s odebranými vzorky. Vzorky půdy byly odebrány metodou půdních vpichů pomocí tzv. sondýrky.

– k určení součinitele hydraulické nasycené vodivosti K, sorptivity S, Manningova součinitele drsnosti N a povrchové retence R byly použity tabulky, které publikuje Vrána a kol.(2011) v manuálu SMODERP

3) **údaje o vegetačním krytu a použité agrotechnice** – typy vegetace byly zadávány podle výše zmíněného uplatňovaného osevního postupu

– údaje potenciální intercepce PI a poměrné listové plochy PLP byly použity z manuálu SMODERP

– faktor ochranného účinku vegetace byl použit z předchozího výpočtu rovnice RUSLE

4) **srážkové údaje** – pro výpočet byly zadávány údaje návrhových dešťů s periodicitou 10 let

Tabulka č. 11: Sumy a periodicity srážek návrhových dešťů

Suma srážek stanice Kamenice nad Lipou

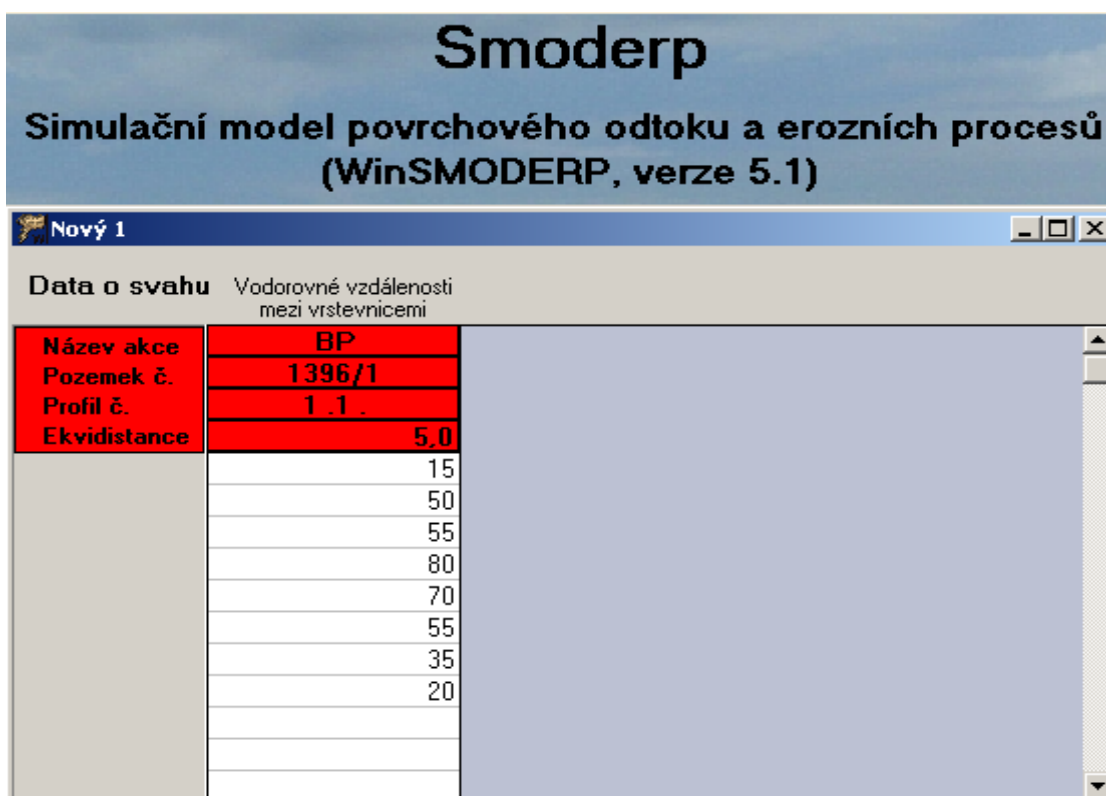
Čas (min)	Úhrn srážek				Periodicita	
	0,5	0,2	0,1	0,05		
5	8,00	10,00	11,60	13,20	0,5	2 roky
10	11,00	14,00	16,40	18,90	0,20	5 let
15	12,90	16,50	19,40	22,50	0,10	10 let
20	14,00	18,20	21,60	25,00	0,05	20 let
30	15,80	20,50	24,50	28,40		
40	17,00	22,30	26,40	31,00		
60	18,70	24,40	29,30	34,50		
90	20,50	26,90	32,20	37,70		
120	21,70	28,50	34,30	40,20		

Zdroj: Vrána a kol, 2011

Výpočet:

Hodnoty délky a průměrného sklonu jednotlivých svahů byly získány zadáním vodorovných vzdáleností a výškovou odlehlostí vrstevnic odečtených z mapy BPEJ v metrech.

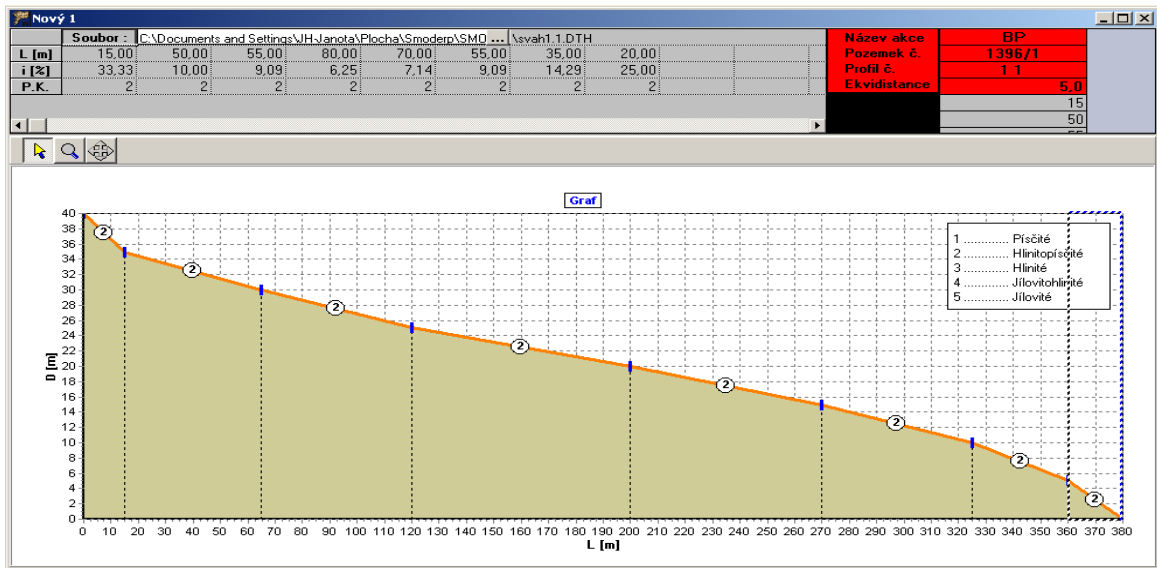
Obrázek č. 3: Zadání vrstevnic



Zdroj: SMODERP, 2011

Zadaný podélný profil byl rozdělen na úseky s konstantním sklonem a homogenními půdními podmínkami.

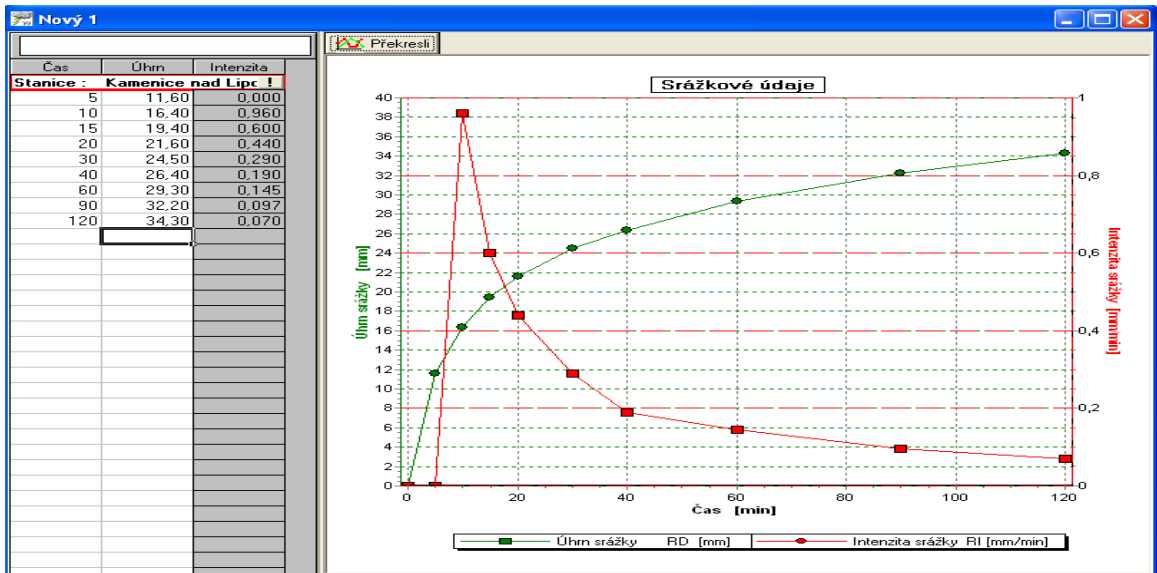
Obrázek č. 4: Tvorba návrhového svahu



Zdroj: SMODERP, 2011

K zadání časového průběhu návrhové srážky byly použity údaje z dlouhodobého měření srážek nejbližší meteorologické stanice (stanice Kamenice nad Lipou), které jsou tabelovány.

Obrázek č. 5: Graf návrhové srážky



Zdroj: SMODERP, 2011

Data charakteristik vegetačního krytu a povrchu půdy byla čerpána z tabulek uvedených v manuálu SMODERP.

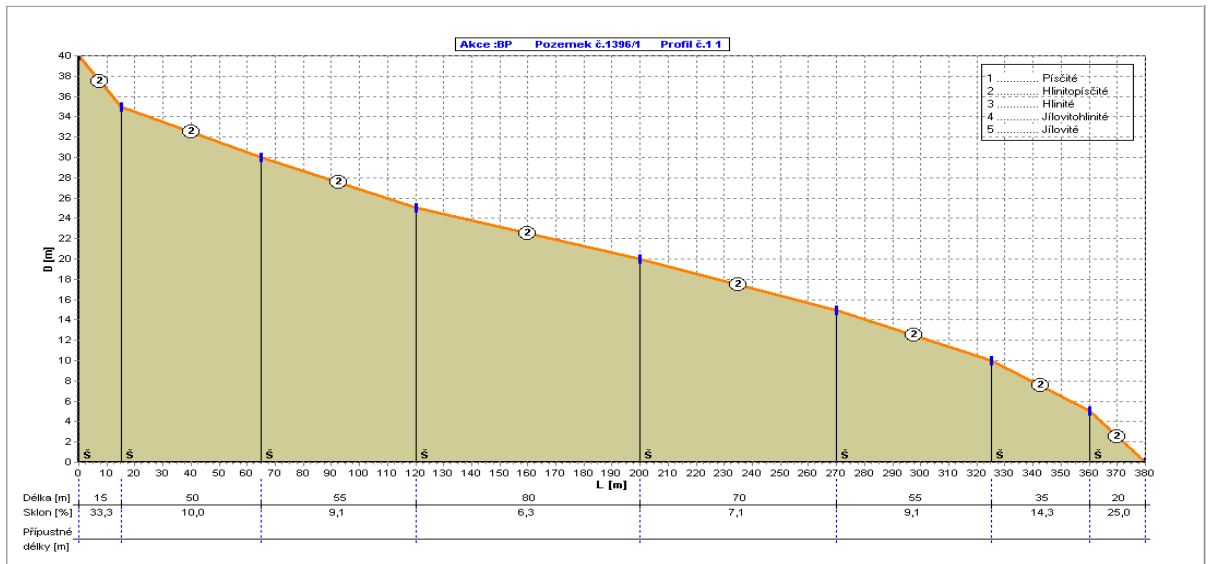
Obrázek č. 6: Vegetace a povrch půdy

Vegetace		Hydr. vodivost [cm/min]	Sorptivita [cm/min/1/2]	Manningův souč. drsnosti	Poměr. plocha listová	Potenciální intercepce [mm]	Ochr. faktor vegetace
Písčité	Úhor	0,1	0,15	0,03	0	0	1
	Okop	0,118	0,178	0,035	0,16	0,13	0,72
	Obilí	0,126	0,189	0,04	0,3	0,2	0,15
	Tráva	0,14	0,21	0,1	1	0,4	0,005
Hlinito písčité	Úhor	0,022	0,06	0,03	0	0	1
	Okop	0,025	0,065	0,035	0,16	0,13	0,72
	Obilí	0,029	0,066	0,04	0,3	0,2	0,15
	Tráva	0,03	0,067	0,1	1	0,4	0,005
Hlinité	Úhor	0,01	0,1	0,03	0	0	1
	Okop	0,014	0,115	0,035	0,16	0,13	0,72
	Obilí	0,015	0,125	0,04	0,3	0,2	0,15
	Tráva	0,016	0,13	0,1	1	0,4	0,005
Jílovito hlinité	Úhor						
	Okop						
	Obilí						
	Tráva						
Jílovité	Úhor						
	Okop						
	Obilí						
	Tráva						

Zdroj: SMODERP, 2011

Po vložení výše uvedených vstupních dat spustíme simulační výpočet. Jako základní je při výpočtu aplikován povrch půdy bez vegetace. V případě zjištění potřeby přerušení svahu jsou dále aplikovány další typy vegetačního krytu až do stavu, kdy není potřeba svah přerušovat, případně kdy je nutné přerušení svahu i při použití trvalého travního porostu.

Obrázek č. 7: Okno projektu



Zdroj: SMODERP, 2011

Simulace eroze

Po zadání vypočtených profilů svahů je možné upravit hodnoty R faktoru, P faktoru a C faktoru, které jsou v programu nastaveny jako doporučené. Následně je nutné doplnit hodnoty K faktoru pro jednotlivé svahy. V provedeném výpočtu byly použity stejné hodnoty faktoru C a faktoru K jako ve výpočtu pomocí rovnice RUSLE. Výsledkem simulačního výpočtu je tabulka zobrazující hodnotu eroze G (t/ha/rok), průměrný sklon svahu s (%), hodnotu s faktoru, hodnotu exponentu p, hodnotu L faktoru a celkovou délku svahu L (m) (Vrána a kol., 2011).

Tabulka č. 12: Výsledky výpočtu erozní ohroženosti

Svah	Eroze [t/ha*r]	G	S(%)	Sf	p	Lf	L(m)
svah1.1.DTS	7,54		14,274	1,945	0,6	5,507	380
svah1.2.DTS	5,51		19,206	3,168	0,6	2,472	100
svah1.3.DTS	14,37		22,351	4,101	0,6	4,976	321
svah1.4.DTS	4,58		8,189	0,842	0,5	3,862	330
svah2.1.DTS	5,37		15,43	2,205	0,6	3,458	175
svah2.2.DTS	4,82		8,625	0,906	0,5	2,812	175
svah2.3.DTS	5,01		5,817	0,534	0,5	4,963	545
svah3.1.DTS	6,28		12,774	1,631	0,6	5,463	375
svah3.2.DTS	13,51		26,095	5,368	0,6	3,575	185
svah3.3.DTS	7,93		14,881	2,08	0,6	5,419	370

Zdroj: SMODERP, 2011

5.2. Vyhodnocení výsledků a návrh protierozních opatření

5.2.1. Vyhodnocení výsledků

První fází přípravných prací byl výběr lokality, byly uvažovány hlavně podmínky dostatečné svazitosti a členitosti zemědělských pozemků, tedy pravděpodobnost zvýšeného erozního ohrožení. Pro snadnou dostupnost a splnění podmínek svazitosti a členitosti byl

vybrán konkrétní pozemek, jehož odtokové dráhy ústí jednak do rybníka a jednak do vodního toku. Následně byl ve vybrané lokalitě proveden terénní průzkum, byla vytipována místa s předpokládaným výskytem zvýšené eroze, v těchto místech byly podle morfologie terénu upřesněny dráhy soustředěného odtoku, ty byly následně zakresleny do mapy v měřítku 1: 5 000. Celkem bylo takto určeno 10 odtokových profilů, se kterými bylo dále počítáno při určování erozní ohroženosti lokality. Při výpočtech byl uvažován upravený osevní postup, který je v současnosti na pozemku uplatňován. Současný stav i případný návrh protierozních opatření se posuzuje na základě výpočtu průměrné ztráty půdy a jeho porovnání s přípustnou hodnotou ztráty půdy stanovenou podle hloubky půdního profilu (Vyhláška č.545 ze dne 12. prosince 2002 o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav).

Míra ohroženosti vodní erozí podle univerzální rovnice ztráty půdy je dána dlouhodobou průměrnou ztrátou půdy v tunách za rok. Z hlediska úrodnosti byla dlouhodobá průměrná ztráta půdy stanovena podle hloubky půdy:

- u mělkých půd do 30cm na **1 t /ha/rok**
- u středně hlubokých půd s hloubkou od 30 do 60 cm na **4 t /ha/rok**
- u hlubokých půd s hloubkou přes 60 cm na **10 t /ha/rok**

Při překročení přípustné ztráty půdy je nutné navrhnout takové protierozní opatření, aby byla ztráta půdy snížena pod přípustnou mez.

V řešené lokalitě převažují středně hluboké půdy, roční ztráta půdy tedy nesmí překročit hodnotu **4 t /ha/rok** (Vopravil a kol., 2010).

Metoda RUSLE:

Výsledky získané metodou RUSLE ukázaly, že při uplatnění výše uvedeného osevního postupu jsou mezní hodnoty přípustné ztráty půdy na osmi profilech překročeny, tyto profily jsou nadlimitně erozně ohrožené, a je tedy nutné navrhnout vhodná protierozní opatření pro snížení erozního smyvu.

Metoda SMODERP:

Tytéž odtokové profily byly prověřeny metodou SMODERP, která určuje erozní ohroženost pro jednotlivou srážku a v případě erozního nebezpečí navrhuje rozdělení svahu po spádnici na několik samostatných úseků. Při výpočtech bylo počítáno s 10-ti letou srážkou, pro kterou jsou obvykle navrhována ochranná opatření.

Z výsledků výpočtů vyplynulo, že na všech deseti hodnocených profilech byly překročeny limitní hodnoty přípustné ztráty půdy. Víceméně se tedy potvrdily výsledky získané metodou výpočtu pomocí rovnice RUSLE.

5.2.2. Návrh protierozních opatření

O použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje zejména jejich účinnost, požadované snížení smyvu půdy, snížení maximálních průtoků a nezbytná ochrana vodních zdrojů, koryt vodních toků, vodních nádrží a zastavěných částí obce. Zájmy ochrany půdy, vody a krajiny mají přednost před jinými požadavky na pozemky. V návrhu protierozních opatření mají přednost opatření agrotechnická a organizační před technickými. (Vyhláška č.545 ze dne 12. prosince 2002 o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav.)

Toto upřednostnění agrotechnických a organizačních opatření je dáno především nižšími finančními i realizačními nároky těchto opatření oproti technickým opatřením. U pozemků s vysokým erozním ohrožením se doporučuje trvalé zatravnění.

Možnost trvalého zatravnění neuvažují, protože erozní ohroženost lokality není výrazně vysoká. Také z tohoto důvodu bude výchozím předpokladem snížení erozní ohroženosti s možností zachování intenzivního hospodaření na pozemcích.

Na řešeném pozemku by z agrotechnických a organizačních opatření bylo možno aplikovat následující opatření:

- **úprava osevního postupu**
- **setí kukuřice s ochrannou plodinou**
- **zařazení meziplodiny**

- **mulčování**

Úprava osevního postupu

Nahrazením kukuřice v osevním postupu pícninami by byla zajištěna dostatečná protierozní ochrana půdy, avšak z hlediska hospodářického subjektu je toto opatření velmi nevýhodné. Vzhledem k tomu, že zemědělský podnik hospodářící na zkoumaném pozemku je zaměřen kromě pěstování obilí také na chov skotu a provozování bioplynové stanice, je pro něj prioritou pěstování kukuřice na maximální výměře. Z těchto důvodů nelze aplikovat opatření související s vyloučením pěstování širokořádkových plodin.

Setí kukuřice s ochrannou plodinou

Na mírně erozně ohrožených pozemcích jsou bezprostředně po zasetí kukuřice zasety rovnoběžně s vrstevnicemi 1-2 metry široké pásy ozimého ječmene ve vzdálenosti 20-40 metrů od sebe. Na pozemcích středně nebo vysoce erozně ohrožených není toto PEO dostatečně účinné.

Zařazení meziplodiny

Obecně platí, že půdy by měla být po většinu roku chráněna rostlinným pokryvem. Meziplodina, zařazená po ozimé obilnině, chrání půdu po sklizni v letním období, kdy je největší výskyt přívalových srážek a půda bez vegetačního krytu je erozně nejohroženější. Díky využití meziplodiny se doba bez vegetačního krytu výrazně se zkrátí. Zařazení meziplodiny do osevního postupu tak, aby byla půda chráněna vegetačním krytem po co největší část roku je sice z hlediska hospodaření vhodné, ale podle výše uvedených výpočtů nedostatečné opatření, protože ve čtyřech odtokových drahách je ještě překročen limit pro přípustnou ztrátu půdy.

Tabulka č. 13: Výpočet průměrné roční ztráty půdy po zařazení meziplodiny

Profil číslo	BPEJ	R	K	L	S	C	P	G
1.1.	72911	20	0,32	3,832	0,838	0,18186	1	3,737547
	72941	20	0,32	1,727	1,911	0,18186	1	3,841229
1.2.	75001	20	0,33	1,309	1,584	0,18186	1	2,488719
	72941	20	0,32	1,631	2,636	0,18186	1	5,003991
1.3.	75001	20	0,33	2,324	0,677	0,18186	1	1,888452
	72941	20	0,32	2,08	1,255	0,18186	1	3,038255
	74710	20	0,43	0,823	0,891	0,18186	1	1,146867
	72911	20	0,32	1,503	0,891	0,18186	1	1,558669
1.4.	75001	20	0,33	2,389	1,42	0,18186	1	4,071792
	75051	20	0,33	0,941	2,396	0,18186	1	2,706185
2.1.	75001	20	0,33	1,645	1,502	0,18186	1	2,96563
	72941	20	0,32	2,08	2,073	0,18186	1	5,018568
2.2.	72901	20	0,33	1,816	0,731	0,18186	1	1,593362
	72941	20	0,32	1,426	0,891	0,18186	1	1,478817
2.3.	75001	20	0,33	2,544	0,462	0,18186	1	1,410718
	72941	20	0,32	1,631	0,838	0,18186	1	1,590798
	74710	20	0,43	0,672	0,9	0,18186	1	0,945905
	72901	20	0,32	1,698	0,462	0,18186	1	0,913055

3.1.	74700	20	0,43	1,672	1,172	0,18186	1	3,064782
	72901	20	0,32	1,35	0,246	0,18186	1	0,386533
	75001	20	0,33	2,118	0,354	0,18186	1	0,899933
3.2.	74700	20	0,43	1,794	1,992	0,18186	1	5,589171
	72901	20	0,32	1,216	0,246	0,18186	1	0,348166
3.3.	74700	20	0,43	2,533	0,949	0,18186	1	3,75956

Zdroj:vlastní srovnání, 2012

Mulčování

Setí do mulče se jeví jako nejjednodušší a zároveň dostatečně účinné opatření, které minimálně ovlivní výrobní postupy na řešeném pozemku. Při hnojení pouze digestátem a minerálními hnojivy je tak zároveň zajištěno dodání organické hmoty do půdy. Pro zvýšení účinnosti tohoto opatření je vhodné jej kombinovat se setím po vrstevnici. Při posouzení všech aspektů řešené problematiky vychází z navrhovaných opatření s nelepšími výsledky technologie setí kukuřice do strniště s ponechanou rovnoměrně rozprostřenou slámou. Při použití této technologie nebude ani při stávajícím minimalizovaném osevním postupu v žádném profilu překročen limit pro přípustnou ztrátu půdy.

Tabulka č. 14: Výpočet průměrné roční ztráty půdy po zařazení PEO mulčování

Profil číslo	BPEJ	R	K	L	S	C	P	G
1.1.	72911	20	0,32	3,832	0,838	0,11341	1	2,330778
	72941	20	0,32	1,727	1,911	0,11341	1	2,395435
1.2.	75001	20	0,33	1,309	1,584	0,11341	1	1,551994
	72941	20	0,32	1,631	2,636	0,11341	1	3,120547
1.3.	75001	20	0,33	2,324	0,677	0,11341	1	1,17766
	72941	20	0,32	2,08	1,255	0,11341	1	1,894691
	74710	20	0,43	0,823	0,891	0,11341	1	0,7152
	72911	20	0,32	1,503	0,891	0,11341	1	0,972004
1.4.	75001	20	0,33	2,389	1,42	0,11341	1	2,539217
	75051	20	0,33	0,941	2,396	0,11341	1	1,687609
2.1.	75001	20	0,33	1,645	1,502	0,11341	1	1,849401
	72941	20	0,32	2,08	2,073	0,11341	1	3,129637
2.2.	72901	20	0,33	1,816	0,731	0,11341	1	0,993639
	72941	20	0,32	1,426	0,891	0,11341	1	0,922207
2.3.	75001	20	0,33	2,544	0,462	0,11341	1	0,87974
	72941	20	0,32	1,631	0,838	0,11341	1	0,99204
	74710	20	0,43	0,672	0,9	0,11341	1	0,589877
	72901	20	0,32	1,698	0,462	0,11341	1	0,569392
3.1.	74700	20	0,43	1,672	1,172	0,11341	1	1,911233

	72901	20	0,32	1,35	0,246	0,11341	1	0,241046
	75001	20	0,33	2,118	0,354	0,11341	1	0,561209
3.2.	74700	20	0,43	1,794	1,992	0,11341	1	3,485472
	72901	20	0,32	1,216	0,246	0,11341	1	0,21712
3.3.	74700	20	0,43	2,533	0,949	0,11341	1	2,344505

Zdroj:vlastní srovnání, 2012

Tabulka č. 15: Výpočet G po zařazení PEO mulčování

Svah	Eroze [t/ha*r]	G	S(%)	Sf	p	Lf	L(m)
svah1.1.DTS	2,06		14,274	1,945	0,6	5,507	380
svah1.2.DTS	1,5		19,206	3,168	0,6	2,472	100
svah1.3.DTS	3,92		22,351	4,101	0,6	4,976	321
svah1.4.DTS	0,62		8,189	0,842	0,5	3,862	330
svah2.1.DTS	1,46		15,43	2,205	0,6	3,458	175
svah2.2.DTS	0,49		8,625	0,906	0,5	2,812	175
svah2.3.DTS	0,51		5,817	0,534	0,5	4,963	545
svah3.1.DTS	1,71		12,774	1,631	0,6	5,463	375
svah3.2.DTS	3,69		26,095	5,368	0,6	3,575	185
svah3.3.DTS	2,16		14,881	2,08	0,6	5,419	370

Zdroj: SMODERP, 2011

Byly navrženy 4 možnosti řešení, první varianta, tedy úprava osevního postupu nahrazením kukuřice úzkořádkovou plodinou, nebyla s ohledem na specializaci uživatele pozemku realizovatelná. Proto další návrhy byly soustředěny na snahu minimálně omezit a nejlépe, ponechat původní plodiny v osevním postupu.

Výsledným, dostatečně účinným návrhem bylo mulčování.

Kontrolním výpočtem bylo ověřeno, že při realizaci tohoto postupu klesnou u všech 10 profilů hodnoty erozního smyvu pod hranici 4t/ha/rok .

6. Diskuze

Z výsledků výpočtů erozního ohrožení zkoumaného pozemku vyplynula jednoznačně potřeba aplikace PEO. Ze tří základních skupin protierozních opatření byla při návrzích upřednostněna opatření organizační a agrotechnická, protože jsou doporučována vyhláškou č.545/2002 Sb. o postupu při provádění pozemkových úprav. Také jsou oproti technickým opatřením finančně i realizačně méně náročná a zároveň jsou dostačující pro vyřešení erozního ohrožení v zájmové lokalitě. V návrzích protierozních opatření je potřeba skloubit maximální efektivitu opatření s podmínkou nenáročnosti a minimálního omezení uživatele pozemků. Už při tvorbě návrhů je třeba vycházet uživateli vstříc, jelikož záleží jen na něm, zda navržená organizační a agrotechnická opatření realizuje či nikoli. Je nutné zajistit nejen návrh protierozní ochrany, ale i jeho uskutečnění, protože teprve potom bude zabezpečena ochrana půdy proti nadměrné erozi.

Jako základní organizační opatření uvádí Holý (1978) úpravu osevních postupů. Při správném použití jsou osevní postupy významným prostředkem k ochraně půdy před erozí. Skladbu osevních postupů je nutno volit tak, aby se v rotaci plodin vyskytovalo co nejvíce plodin s ochranným účinkem.

Vzhledem k tomu, že zemědělský podnik hospodařící na zkoumaném pozemku je zaměřen kromě pěstování obilí také na chov skotu a provozování bioplynové stanice, je pro něj prioritou pěstování kukuřice na maximální výměře.

Při pěstování kukuřice s pásovým výsevem ochranné plodiny uvádí Janeček a kol.(2002) ztrátu asi 5% plochy při šířce pásu 1m a odstupu pásů 20 m.

Ani tato relativně malá ztráta by však nemusela být uživatelem pozemku akceptována.

Pokud nejsou organizační opatření dostatečná, následuje použití agrotechnických opatření. Do této skupiny opatření je řazena technologie zpracování půdy. Surmač (1976), uvádí, že podzimní hluboká orba výrazně zlepšuje infiltrační schopnost půdy. Tím dochází k výraznému omezení povrchového odtoku vody z tajícího sněhu na jaře. Povrchový odtok je možné ještě více snížit vyoráním vrstevnicové brázdy. Tuto skutečnost potvrzuje Janeček a

kol.(2002) s tím, že místo jarní orby je vhodné ke zpracování půdy využít některou z minimalizačních technologií. Z výše uvedených výsledků vyplývá, že k vyřešení protierozní ochrany zkoumaného pozemku jsou při pěstování kukuřice dostatečně účinná agrotechnická opatření, konkrétně setí do mulče. Zvýšení účinnosti organizačních a agrotechnických PEO lze dosáhnout jejich vhodnou kombinací.

Jak uvádí Dumbrovský (2000), nejsou ale při řešení PEO ve většině případů samostatně použitá organizační a agrotechnická opatření schopna významně omezit povrchový odtok. Proto je nezbytné rozdělit svažitě a plošně značně rozsáhlé pozemky s neúměrnou délkou svahu technickými protierozními opatřeními. Důležité je pro efektivní protierozní ochranu je třeba nalézt vhodnou kombinaci takových opatření v krajině, která zvyšují přirozenou akumulaci a retenci vody (Dumbrovský, 2005). To potvrzuje Vašků (2005) tím, že péče o půdu a krajinu zahrnující hlavně posilování jejich retenčních, akumulačních, infiltračních, drenážních a protierozních funkcí je nejúčinnějším nástrojem jak zmírnit popřípadě zcela eliminovat následky náhlých přívalových srážek. Vždyť jen 100 cm mocná povrchová vrstva modálních půd je schopna zadržet na ploše 1 km² až 300 tisíc m³ vody. Půda tak patří k nejvýznamnějším vodohospodářským zařízením.

Porovnáním výsledků výpočtu erozního ohrožení pomocí rovnice RUSLE a simulačního počítačového modelu SMODERP bylo dosaženo významné shody. Lze konstatovat, že vlastníci půdy, kteří mají zájem svou půdu chránit, mohou jednoduchým způsobem zjistit míru erozního ohrožení. Z metodik pro návrhy PEO pak aplikovatelná opatření stanoví. Jak uvádí Janeček a kol. (2002), obecně lze výstupní informace ze simulačních modelů použít jako podklady pro rozhodovací činnost z hlediska využití území, podklady pro návrh systému protierozní ochrany a pro řízení provozu zemědělského subjektu.

Jedním z důvodů, proč se jednoduchá protierozní opatření zavádí do praxe pomalu o obtížně je i fakt, že v ČR na většině zemědělské půdy hospodaří subjekty, které nejsou jejími vlastníky. Tato skutečnost výraznou měrou přispívá k tomu, že půda je chápána jen jako výrobní prostředek, který musí přinášet pouze maximální zisk. Ke zlepšení tohoto stavu může přispět také zavedení a důsledná kontrola standardů GAEC. Standardy GAEC 1 a GAEC 2 týkající se eroze půdy jsou závazné pro všechny uživatele půdy, kteří jsou registrováni v LPIS.

7. Závěr

Cílem této práce bylo posoudit a vyhodnotit míru erozního ohrožení vybraného pozemku a v případě zjištění nadlimitního ohrožení navrhnout nejjednodušší a nejméně nákladná, ale dostatečně účinná PEO. V přípravné fázi práce byl vybrán v lokalitě průměrně členitý a svažité pozemek. Na základě terénního průzkumu bylo určeno 10 odtokových profilů, které vyúsťují do přílehlých recipientů povrchových vod. Při výpočtech míry erozního ohrožení byl zohledněn uplatňovaný osevní postup. Získaná vstupní data byla dosazena jednak do rovnice RUSLE a jednak do počítačového simulačního programu SMODERP. V obou případech bylo indikováno nadlimitní erozní ohrožení. V souladu s cílem práce byla hodnocena organizační nebo agrotechnická PEO. Jako dostatečně účinné opatření bylo vyhodnoceno setí do mulče. Kontrolním výpočtem bylo ověřeno, že při realizaci tohoto opatření klesnou hodnoty erozního smyvu pod 4 t/ha/rok , což je dostačující. Pro zvýšení protierozní ochrany byla doporučena vhodná kombinace protierozních opatření.

Z hlediska praktického využití poskytuje rovnice RUSLE a i program SMODERP při relativně snadné dostupnosti vstupních dat dostatečný uživatelský komfort a dobré výsledky.

Je nutností zajistit vlastníkům i uživatelům půdy nejen dostupné návrhy protierozní ochrany, ale i pomoc při jejich realizaci, protože teprve potom bude zabezpečena ochrana půdy proti nadměrné erozi.

8. Seznam použité literatury

Blanco H., Lal R. 2008. Principles of Soil Conservation And Management. Springer Science+Business Media B.V.. Ohio. 617 p.

Holý, M. 1978. Protierozní ochrana. Státní Nakladatelství technické literatury, ALFA. Praha, Bratislava. 288 s.

Holý, M. 1994. Eroze a životní prostředí. Vydavatelství ČVUT. Praha. 383 s. ISBN: 80-01-01078-3.

Janeček, M., Bohuslávek, J., Dumbrovský, M., Gergel, J., Hrádek, F., Kovář, P., Kubátová, E., Pasák, V., Pivcová, J., Tippl, M., Toman, F., Tomanová, O., Váška, J. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství. Praha. ISBN: 85866-85-8

Janeček, M., Bečvář, M., Bohuslávek, J., Dufková, J., Dumbrovský, M., Dostál, T., Hůla, J., Jakubíková, A., Kadlec, V., Krása, J., Kubátová, E., Novotný, I., Podhrázská, J., Tippl, M., Toman, F., Vopravil, J., Vrána, K. 2007. Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.. Praha. 76 s. ISBN: 978-80-254-0973-2

Mašát, K., Němeček, J., Tomiška, Z. 2002. Metodika vymezení a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.. Praha. 3. vydání. 113 s. ISBN: 80-238-9095-6

Sanetrník, J., Filip, J. 1991. Meliorace. Vysoká škola zemědělská. Brno. 177 s

Surmač, G.P. 1976. Vodnaja erozija i borba s něj. Gidrometeoizdat. Leningrad. 253 s.

Vopravil, J., Banýrová, J., Čermák, P., Fučík, P., Hladík, J., Jacko, K., Janeček, M., Janků, J., Khel, T., Kvítek, T., Novák, P., Novák, P., Novotný, I., Papaj, V., Pírková, I., Pivcová, J., Rožnovský, J., Vácha, R., Vašků, Z., Vrabcová, T. 2010. Půda a její hodnocení v ČR, 1. díl. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v.v.i.. Praha. 2. vydání. ISBN: 978-80-87361-05-4

Vrána, K., Dostál, T., Vejvalková, M., 2011, Uživatelský manuál programu SMODERP, FSV CVUT Praha, [citováno dne 2012-03-26]. Dostupné z http://storm.fsv.cvut.cz/smoderp/wp-content/uploads/2011/12/manual_5_011.pdf

FSV ČVUT Praha. SMODERP - Simulační model povrchového odtoku a erozních procesů [Program]. Verze Win 5.1. Praha. 2011. Dostupné z http://storm.fsv.cvut.cz/smoderp/wp-content/uploads/2011/11/SMODERP5_01_install.zip

Česko. Vyhláška č. 545 ze dne 12. prosince 2002 o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav. In: Sbírka zákonů České republiky. 2002. částka

190. s. 11450-11454. Dostupné také z <http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/2002/sb190-02.pdf>

Dumbrovský, M., 2000, Doporučený postup řešení protierozní ochrany půdy s využitím výpočetní techniky. Pozemkové úpravy. 2000 (34). s. 10-12

Dumbrovský, M., 2005, Integrované hodnocení faktorů ovlivňujících erozní a odtokové poměry v povodí. Pozemkové úpravy. 2005 (54). s. 12-15

Vašků, Z., 2005, Půda je naším největším bohatstvím. Pozemkové úpravy. 2005 (54). s. 16-17

Laflen, J.M., Moldenhauer, W.C.2003. Pioneering Soil Erosion Prediction - The USLE Story, World Association of Soil & Water Conservation – WASWC, Thailand , 54 p.

Brady, N.C., Weil, R.R.2002. The nature and properties of soils. Prentice Hall, New Jersey . 960 p.

9. Seznam použitých zkratk

ČR	Česká republika
ČVUT	České vysoké učení technické
USLE	Universal Soil Loss Equation
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
SMODERP	Simulační model odtoku a erozního procesu
KPP	Komplexní průzkum půd
BPEJ	Bonitované půdně ekologické jednotky
PI	Potenciální intercese
PLP	Poměrná listová plocha
LPIS	Land Parcel Identifikation System
HPJ	Hlavní půdní jednotka
JČK	Jihočeský kraj
PEO	Protierozní opatření
GAEC	Good Agricultural and Environmental Conditions
SI	Mezinárodní soustava jednotek

10. Samostatné přílohy

Obrázek č.9: Závěrový profil č.3 po přívalové srážce



Obrázek č.10: Závěrový profil č.3 po odtoku vody



Obrázek č.11: Profil č.1



Obrázek č.12: Půdní sonda



Obrázek č.13: Závěrový profil č.2 po odtoku vody



Obrázek č.14: Potok pod zkoumaným pozemkem po přívalové srážce



Zdroj: vlastní foto, 2011

Seznam příloh

Tabulka č.1: Rozdělení R faktoru v průběhu vegetačního období

Tabulka č.2: Třída propustnosti půdního profilu podle HPJ

Tabulka č.3: Hodnoty faktoru K pro jednotlivé HPJ

Tabulka č.4: Hodnoty exponentu délky svahu v závislosti na sklonu svahu a poměru rýžkové a plošné eroze

Tabulka č.5: Rozložení průměrné hodnoty R-faktoru v průběhu roku

Tabulka č.6: Hodnoty K-faktoru a kódy HPJ

Tabulka č.7: Výpočet L-faktoru

Tabulka č.8: Stanovení S-faktoru

Tabulka č.9: Výpočet C-faktoru pro jednotlivé plodiny osevního postupu

Tabulka č.10: Výpočet průměrné roční ztráty půdy

Tabulka č.11: Sumy a periodicity srážek návrhových dešťů

Tabulka č.12: Výsledky výpočtu erozní ohroženosti

Tabulka č.13: Výpočet průměrné roční ztráty půdy po zařazení mezplodiny

Tabulka č.14: Výpočet průměrné roční ztráty půdy po zařazení PEO mulčování

Tabulka č.15: Výpočet G po zařazení PEO mulčování

Obrázek č.1: Nomogram pro určení faktoru erodovatelnosti půdy K

Obrázek č.2: Znárodnění drah soustředěného odtoku

Obrázek č.3: Zadání vrstevnic

Obrázek č.4: Tvorba návrhového svahu

Obrázek č.5: Graf návrhové srážky

Obrázek č.6: Vegetace a povrch půdy

Obrázek č.7: Okno projektu