

Mendelova univerzita v Brně
Agromická fakulta
Ústav aplikované a krajinné ekologie



**Stanovení ztráty půdy erozí s využitím modelů
erozních procesů**

Diplomová práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Jana Kozlovsky Dufková, Ph.D.

Vypracovala:
Bc. Marie Krčková

Brno 2016

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Stanovení ztráty půdy erozí s využitím modelů erozních procesů vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

dne.....

podpis studentky.....

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucí práce doc. Ing. Janě Kozlovsky Dufkové, Ph.D., za odborné vedení této diplomové práce, vstřícnost a za možnost konzultací. Za pomoc a rady při práci s modely pro výpočet eroze děkuji Ing. Janě Uhrové, Ph.D. Moje poděkování patří i pracovníkům ČÚZK a VÚMOP, v. v. i., za pomoc při výběru potřebných map. Za konzultace děkuji prof. Ing. Žaludovi, Ph.D., Ing. Ždímalovi, Ph.D., Ing. Mašíčkovi, Ph.D., a Ing. Petru Kavkovi, Ph.D. V neposlední řadě děkuji svým blízkým za podporu po celou dobu studia.

ABSTRAKT

Práce se zabývá problematikou moderních způsobů výpočtu erozního smyvu. Pro stanovení erozního smyvu byly použity tyto způsoby výpočtu: rovnice USLE, program ERCN, model SMODERP a použití USLE2D v prostředí GIS. Jednotlivé výsledky byly porovnány a byla posouzena jejich využitelnost. Použití jednotlivých metod ukázalo, že stanovení erozního smyvu pomocí ERCN má nejodlišnější výsledky a obsahuje starší doporučené hodnoty pro erozní faktory. Model SMODERP poskytuje jiný typ výstupních dat a není příliš rozšířena, přesto jsou výstupy simulace dobře využitelné zejména pro návrh opatření proti erozi. Metodou USLE2D byly získány výsledky téměř shodné s výsledky z výpočtu rovnice USLE. Na základě zjištěných údajů je možné říci, že metoda výpočtu USLE2D s využitím GIS má do budoucna potenciál nahradit metodu manuálního výpočtu USLE. Model SMODERP se ukázal jako vhodný pro navrhování technických protierozních opatření.

Klíčová slova: vodní eroze, modelování erozních procesů, USLE, SMODERP, USLE 2D, ERCN.

ABSTRACT

This thesis deals with the issue of modern methods of water erosion determination. These methods of measuring soil erosion processes have been used: USLE equation, ERCN program, SMODERP model and application of USLE2D in GIS. Individual results were compared and their applicability was evaluated. Use of individual methods demonstrated big difference between ERCN and USLE results. ERCN also contained outdated values of erosion factors. SMODERP model provides different type of output data and model is not very expanded but outputs of simulation can be used for designing erosion control measures. USLE2D results were almost the same as USLE equation results. This method has the potential to replace manual USLE calculation. SMODERP model has been shown as useful for design of technical erosion control measures.

Key words: water erosion, modelling of erosion processes, USLE, SMODERP, USLE2D, ERCN.

OBSAH

1	Úvod	8
2	Literární rešerše	9
2.1	Eroze	9
2.2	Rozdělení eroze	10
2.2.1	Dělení podle intenzity	10
2.2.2	Dělení podle erozních činitelů	10
2.2.3	Vodní eroze	11
2.2.4	Větrná eroze	12
2.2.5	Příčiny eroze obecně	12
2.3	Následky vodní eroze	13
2.4	Následky větrné eroze	14
2.5	Eroze v České republice	14
2.5.1	Eroze v Jihomoravském kraji	14
2.6	Modelování erozních procesů	15
2.6.1	Klasifikace modelů erozních procesů	15
2.6.2	Geografické informační systémy a eroze	17
2.6.3	Výběr vhodného modelu	18
2.7	Opatření proti vodní erozi	19
2.7.1	Organizační opatření	19
2.7.2	Agrotechnická opatření	20
2.7.3	Technická opatření	21
3	Cíl práce	23
4	Materiál a metody	24
4.1	Popis lokality	24
4.2	Stanovení eroze	26
4.2.1	Univerzální rovnice ztráty půdy	28
4.2.2	ERCN 2.0	37
4.2.3	SMODERP – Simulační Model Odtoku a Erozního Procesu	40
4.2.4	Výpočet erozního smyvu v programu ArcMap 10.3.1	49
4.2.5	USLE2D	49
4.2.6	Postup výpočtu	50
5	Výsledky a diskuze	56
5.1	Výpočet eroze pomocí rovnice USLE	56
5.1.1	Faktor R	56

5.1.2	Faktor K	56
5.1.3	Faktor LS	57
5.1.4	Faktor C	57
5.1.5	Faktor P	59
5.1.6	Stanovení průměrné dlouhodobé ztráty půdy G	59
5.2	Výpočet eroze metodou USLE s využitím geoinformačních technologií	59
5.3	Výpočet eroze pomocí programu SMODERP	60
5.3.1	Stanovení přípustné délky svahu	60
5.3.2	Výstupy programu SMODERP	60
5.4	Porovnání výsledků	63
5.4.1	Výsledky výpočtu USLE a modelů založených na rovnici USLE	63
5.4.2	Přípustná délka svahu podle USLE a modelu SMODERP.....	64
6	Závěr.....	66
7	Použité zdroje	67
7.1	Literatura	67
7.2	Internetové zdroje	72
8	Seznam tabulek a obrázků	74
8.1	Seznam tabulek.....	74
8.2	Seznam obrázků.....	74
9	Přílohy	76

1 ÚVOD

Eroze je přírodní proces, který je spojován jak s tvorbou půdy, tak i s její degradací. Degradace půdy je ovšem zaviněna tím, že je erozní proces urychlen lidskou činností. Eroze jako degradační proces byla zaznamenána již před tisíci lety a souvisí s počátky lidských zásahů do krajiny skrze zemědělství, pastvu a odlesňování.

Dopady eroze lze sledovat přímo na místě (půdním bloku) jako snížení kvality půdy a výnosů z půdy, tedy snížení úrodnosti apod. V širším okolí může eroze zavinět znečištění vody sedimenty a hnojivy nebo navýšit množství prachových částic v ovzduší. Problém zrychlené eroze je celosvětový. Pochopitelně tyto dopady negativně ovlivňují ekonomickou situaci zemědělských podniků a v širším pohledu i obyvatelstva jako celku.

Dnes již existuje řada možností, jak bojovat proti erozi půdy. Tato opatření mají za úkol pomoci zajistit udržitelnost zemědělství a stabilizovat stav přírodních zdrojů a kvalitu životního prostředí.

Pro vhodný návrh opatření se matematicky stanovuje odhad ztrát půdy erozí. Výpočty vycházejí ze stanovených faktorů, které hrají hlavní roli při vzniku a v průběhu erozního procesu. V minulosti vznikly rovnice, které umožnily stanovit dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy, a některé z nich se používají dodnes. V současnosti se stále posouvají hranice v oboru výpočetní techniky a také pro erozní procesy bylo vytvořeno mnoho simulačních modelů různé složitosti. Převážná část modelů je amerických, a proto je potřeba možnost jejich použití pro ČR vždy ověřit.

Využití techniky umožňuje stále zdokonalování simulací, a díky tomu se i my stále více přibližujeme k nalezení nejlepšího možného řešení vztahů mezi využitím území a jeho ochranou. Velice pozitivním krokem ze strany firem, které se zabývají vývojem platform pro geografické informační systémy, je snaha přiblížit tyto nástroje širšímu spektru uživatelů z řad nejen odborné veřejnosti. Je to jistě skvělá příležitost, díky níž je možné rozšiřovat znalosti a využívat výhod, které se tímto nabízejí.

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Eroze

„Eroze je věčný nepřítel půdy“ (Spirhanzl-Duriš, 1952).

Eroze půdy je definována jako vodní nebo větrné rozrušování půdy a její odnos na jiná místa, kde se ukládá. Je to přírodní proces, nejčastější následek odlesňování svahovitých ploch nebo pěstování zemědělských plodin, které půdu kryjí nedostatečně (Jakrlová, 1999).

Eroze byla původně pojmem lékařské vědy a teprve později se začal používat i mimo ni – poprvé v roce 1774 (Smrček, 2011).

Pojem eroze má svůj původ v latině a tento původní pojem zahrnoval pouze iniciální stadium toho, co se dnes považuje za erozní proces. V pojmu eroze je v současnosti obsažen celý proces, který je vyvolaný exogenními faktory na zemském povrchu a sestává z destrukce zemského (půdního) krytu působením kinetické energie vnějších faktorů (např. vody nebo větru), oddělení samostatných půdních částic a transport tohoto materiálu na jiné místo (obvykle na místo nižší polohy oproti poloze místa vzniku), kde je tento materiál, nebo alespoň jeho část, usazena (Dvořák a Novák, 1994).

Ačkoliv pojem eroze byl používán již v 19. století, pojem půdní eroze byl představen později, a to na počátku 20. století, a nebyl běžně využíván až do 30. let 20. století. Pojem byl stanoven a vymezen autory Benett, Fuller, Lowdermilk a Middleton v anglo-americké literatuře, autory Kozmenko, Pankov, Gussak, Sobolev a Zaslavskii v ruské literatuře, autory Kuron, Schultze, Glander a Flegel v německé literatuře a Baulig ve francouzské (Zachar, 1982).

Pojem půdní eroze obecně znamenal destrukci půdy působením vody a větru. Většina autorů se zabývala problémem, zda eroze půdy souvisí s činností člověka. Někteří za půdní erozi považovali pouze erozi způsobenou srážkami, zatímco ostatní do pojmu půdní eroze zahrnuli erozi způsobenou přírodními i lidskými faktory působícími společně (Zachar, 1982).

2.2 Rozdělení eroze

Eroze by neměla být vnímána pouze jako degradační proces, ale je potřeba si uvědomit, že je to také přírodní proces formující krajinu, ke kterému docházelo i v minulosti a díky kterému vzniká půda. Problém nastává ve chvíli, kdy je intenzita eroze zvýšená, a tak dochází k nerovnováze mezi odnosem půdy a tvorbou nové půdní vrstvy.

2.2.1 Dělení podle intenzity

I Benett (1939) rozlišuje erozi normální (geologickou) a erozi zrychlenou. Při normální erozi je vyrovnaný poměr mezi odnosem a tvorbou půdy (Janeček, 2008).

Pokud je rychlost odnosu povrchových vrstev půdy vyšší než rychlost přirozené tvorby půdy z půdotvorného substrátu, jedná se o zrychlenou erozi (Smrček, 2011).

Intenzita eroze je zpravidla určena podle ztráty povrchové vrstvy půdy (šířka této vrstvy) nebo podle odnosu z jednotky plochy za jednotku času. Množství odstraněného materiálu je vyjádřeno jako váha nebo objem (Dvořák a Novák, 1994).

Pro určení intenzity rýhové eroze se doporučuje při hodnocení vycházet z délky erozních rýh a zohlednit i rychlost růstu erozní rýhy.

2.2.2 Dělení podle erozních činitelů

Dalším způsobem, kterým je možné rozdělit erozi, je podle erozních činitelů. Rozlišujeme erozi vodní (akvatickou), větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální), sněhovou atd. (Janeček, 2002).

Erozní činitelé nemusejí být pouze přírodního charakteru. Jedněmi z činitelů jsou i orba a sklizeň. Průměrné roční hodnoty eroze orbou se blíží erozi vodní. Eroze sklizňová může způsobit ztrátu půdy srovnatelnou s intenzivní vodní erozí. Hlavními faktory jsou způsob sklizně, vlhkost půdy a půdní vlastnosti. Půdní částice jsou odstraněny při zpracování plodin, ale nejsou již vráceny zpět na místo. Těmto typům eroze není v současnosti věnována velké pozornost (Novotný a kol., 2014).

Voda a vítr jsou nejčastější a nejdůležitější činitelé, a tak jsou i vodní a větrná eroze označovány za 2 základní typy eroze (Dvořák a Novák, 1994). Proto i součástí literární

rešerše bude pouze stručný popis vodní a větrné eroze, ostatní formy v České republice nejsou tak časté a zásadní a nebudou zde dále rozváděny.

2.2.3 Vodní eroze

Vodní eroze je způsobena mechanickou silou povrchové vody. Jako první na půdní povrch dopadají dešťové kapky s určitou kinetickou energií a dochází k tzv. kapkové erozi. Ve chvíli, kdy půda nestačí vsáknout všechnu vodu, začíná dešťová voda stékat po povrchu a eroze se mění na plošnou (Šarapatka a kol., 2002). Při větším množství stékající vody začne být odtok soustředěný.

Výskyt erozního smyvu vodou je vázán na průměrné roční srážky. Ve velmi suchých oblastech, kde průměrné roční srážky nepřekročí hodnotu 250 mm, není erozní smyv tak častý. Při srážkách nad 380 mm brzdí erozi zhuštěná vegetace. Nejvyšší intenzity dosahuje eroze v oblastech, kde jsou průměrné roční srážky v rozmezí 250 až 380 mm. Oblasti aridní bývají častěji postiženy výmolnou erozí, protože srážky jsou krátké a intenzivní a umožňují odnos větších zrn. V humidnějších oblastech převládá plošný odnos jemných částic suspendovaných ve vodě (Janeček, 2008). Nejkritičtější částí roku je období červen až srpen, kdy se odehrává 80 % všech erozně nebezpečných dešťů (Vopravil a kol., 2013).

Zhruba 50 % výměry orné půdy v ČR je ohroženo vodní erozí (Novotný a kol., 2014). 40 % orných půd je postiženo aktuální vodní erozí. V některých případech lze zaznamenat posun o 1 stupeň hloubky půdy (z 60 cm na 30 cm i méně), a může dojít až ke změně půdního typu (Podhrázská a Karásek, 2014).

2.2.3.1 Formy vodní eroze

Srážky způsobují erozi nejen na povrchu půdy, ale i pod ním. Povrchová eroze se dále dělí podle typu odtoku vody na plošnou (plošný odtok) a výmolnou (soustředěný odtok), přičemž přechod mezi nimi je pozvolný.

Při plošné erozi dochází k rozrušení a smyvu rovnoměrně a je vyplavena především jemnozrnná frakce, která se usazuje pod svahem a některé lehčí částice jsou odnášeny až do vodoteče. Odnos jemnozrnné frakce se projeví změnou textury a obsahu živin, zhoršením fyzikálních a chemických vlastností půdy, a to vede v konečném důsledku

ke snížení odolnosti vůči vodní a větrné erozi. Ke zjištění plošné eroze lze využít letecké snímky, ze kterých je patrná změna barvy půdy. Během vegetačního období, kdy nelze změnu barvy sledovat, dokládá erozi nestejněměrný vývoj vegetace. Kromě těchto viditelných změn je také možné erozi zjistit pomocí kopané sondy, která odhalí změnu v kvalitě půdy a akumulaci jemných částic.

Pro výmolnou erozi je typický vznik zářezů v členitém terénu a na dlouhých svazích, které se postupně prohlubují. Podle intenzity se dělí na rýžkovou a brázdovou, rýhovou, výmolnou a stržovou (Novotný a kol., 2014).

Pod povrchem voda způsobuje tunelovou erozi, při které vymílá chodby nad nepropustným podložím. Konečným stadiem je otevřená erozní rýha (Janeček, 2008).

2.2.4 Větrná eroze

Větrná eroze je způsobena mechanickou činností větru, jenž narušuje půdní povrch (abraze) a unáší půdní částice uvolněné z půdních agregátů (deflace), které ukládá na jiných místech (akumulace) (Váška a kol., 2000).

Výskyt zrychlené větrné eroze je spojen s aridnějšími oblastmi, kde se nacházejí písčité až hlinité půdy. U nás mezi ohrožené lokality patří např. jižní Morava (Šarapatka, 2014). Na Moravě je eolizací půdy postihováno nebo je k ní náchylné 45 % výměry zemědělské půdy (Švehlík, 1996). Závislost na aridních oblastech činí větrnou erozi méně nebezpečnou než vodní (Dvořák a Novák, 1994). Nejškodlivější pro zemědělské plodiny je větrná eroze v období jara po suché zimě, kdy poškozují mladé rostliny (Vopravil a kol., 2013). Podle databáze LPIS bylo v roce 2012 větrnou erozí potenciálně ohroženo 25,7 % výměry orné půdy (geoportal.vumop.cz).

2.2.5 Příčiny eroze obecně

Ve střední Evropě jsou půdy nejvíce náchylné k vodní a větrné erozi během jarního období, kdy půdu nechrání vegetační pokryv a povrch půdy je narušený mrazem, kultivací, rychlým táním sněhu apod. Nicméně eroze se objevuje i v zimním období v důsledku výskytu holomrazů nebo v létě jako výsledek přívalových srážek (Dvořák a Novák, 1994).

Vznik a rozvoj eroze ovlivňují faktory, jejichž účinky se různě kombinují a ke kterým patří následující podmínky:

- klimatické a hydrologické,
- morfologické,
- geologické a půdní,
- vegetační,
- způsob využívání a obhospodařování půdy.

Tyto faktory jsou využívány při výpočtu ztráty půdy (Šarapatka, 2014).

Socio-ekonomické podmínky

Dvořák a Novák (1994) ve své knize uvádějí, že způsob využívání a ochrany půdy závisí na stupni rozvoje společnosti a jejích zásadách. Příznivé podmínky dovolují aplikovat optimální nakládání s půdním fondem, kdy je snaha zabránit poškození půdy nebo následky eroze alespoň minimalizovat. Také díky vhodným socio-ekonomickým podmínkám vzniká předpoklad praktického využití vědeckých poznatků k efektivní kontrole eroze.

2.3 Následky vodní eroze

Vodní eroze odnáší nejurodnější část – ornici, která někdy zcela chybí, a je tak nutné obhospodařovat méně úrodné spodní vrstvy půdy. Erozí dojde i ke zhoršení fyzikálních a chemických vlastností, sníží se obsah živin a humusu, mocnost půdní vrstvy se zmenší a zvýší se šterkovitost. Projevem eroze je i poškození plodin a kultury a dochází ke ztrátě osiva a sadby, přípravků na ochranu rostlin a hnojiv. Tvorba erozních rýh a vyšší šterkovitost znesnadňuje práci zemědělské techniky (geoportal.vumop.cz). Půdní částice ve formě sedimentů zanášejí vodní zdroje a nádrže, kde zaviní zhoršení životních podmínek pro vodní organismy, snižují průtočný profil a snižují rekreační hodnotu. Vytěžení sedimentů je nákladné, ovšem snížená kapacita vodních těles by mohla vyústit v častější povodňové situace a potom by vznikaly škody způsobené povodní na budovách, komunikacích, korytech, hrázích i lidských životech (Plaster, 2014).

2.4 Následky větrné eroze

Větrná eroze působí značné škody nejen na zemědělské půdě, např. odnos ornice, hnojiva a osiva, ničení plodin, zanášení vodních toků a komunikací i jiných objektů, znečištění ovzduší. V některých případech může dojít až ke vzniku tzv. prašné bouře, kdy jsou vzduchem přenášeny jemné částice, jež mohou způsobit zdravotní potíže i poškodit techniku apod. (Janeček, 2008).

2.5 Eroze v České republice

Jako hlavního viníka eroze na orné půdě lze označit zemědělskou velkovýrobu, která byla zaváděna v letech 1950–1990 a kvůli níž došlo k následujícím změnám:

- scelování pozemků a ustanovení velkých půdních bloků,
- zničení liniových prvků v krajině a přirozených bariér (např. polních cest), které bránily povrchovému odtoku,
- přeměna ploch s trvalými travními porosty ve svažitéch oblastech a v podhůří,
- využití těžké mechanizace, které vedlo k utužení, a tím i ke snížení retenční kapacity půdy,
- použití nevyhovujících metod, zejména výsadba širokořádkových plodin,
- nedostatek vhodných půdoochranných metod kultivace půdy (Dostál a kol. in Boardman a Poesen, 2006).

2.5.1 Eroze v Jihomoravském kraji

Nejvíce erozně ohroženým krajem v České republice je právě Jihomoravský kraj. Kategorie erozní ohroženosti uvádí Tab. 1. Důvodem jsou například vyskytující se půdní typy, klimatické podmínky apod. (Vopravil a kol., 2013). V analýze zpracované Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ), která měla za úkol vyhodnotit charakteristiku přívalových srážek ve vybraných lokalitách na jižní Moravě v letech 2003–2013, bylo zjištěno, že podíl přívalových srážek na celkovém srážkovém úhrnu dosahuje na jižní Moravě 25 % (Knozová, 2013). Typickým pro Jihomoravský kraj je výskyt černozemí na spraších, avšak spraš je na některých místech již smytá

a z prudkých svahů je odnášena do nížin, kde tvoří nižší uloženiny. Na těchto nově vzniklých vrstvách se vytvářejí půdy koluvizemního typu. Podle Podhrázké (in Rožnovský a kol., 2014) vedou tyto změny k potřebě aktualizovat kódy bonitovaných půdně ekologických jednotek (dále jen BPEJ) a velice častým jevem je pokles ceny půdy právě z důvodu degradace půdy erozí.

Tab. 1 Kategorie erozní ohroženosti pro Jihomoravský kraj (Vopravil a kol., 2013)

Dlouhodobý průměrný smyv půdy (G) [t/ha/rok]

Název územní jednotky	Kategorie erozní ohroženosti						celkem [ha]
	<1.0	1.1-2.0	2.0-4.0	4.1-8.0	8.1-10.0	>10.0	
Jihomoravský kraj	161316.84	71278.98	70598.57	59520.38	14806.11	49776.48	427297.36

Název územní jednotky	Kategorie erozní ohroženosti						celkem [%]
	<1.0	1.1-2.0	2.0-4.0	4.1-8.0	8.1-10.0	>10.0	
Jihomoravský kraj	37.753	16.681	16.522	13.929	3.465	11.649	100

2.6 Modelování erozních procesů

Eroze byla poprvé matematicky vyjádřena ve 40. let 20. století. V roce 1978 publikoval Wischmeier a Smith univerzální rovnici pro stanovení dlouhodobé ztráty půdy, ze které vycházejí současné výpočty. V 70. letech minulého století se začaly rozvíjet metody matematických, simulačních modelů eroze a transportu látek. Koncepce je založena na definici eroze jako procesu uvolnění půdních částic, jejich transportu a usazení za působení erozních činitelů a vychází z fyzikálního popisu jednotlivých procesů (Janeček, 1999).

2.6.1 Klasifikace modelů erozních procesů

Obecně lze modely rozdělit na stochastické (pravděpodobnostní modely a modely generování časových řad) a deterministické (modely založené na fyzikálních zákonech, koncepční modely a black-box modely). Modely se různí v popisu zahrnutých veličin (Becker a Serban, 1990).

Hlavní dělení modelů spočívá v rozlišení modelů empirických a modelů fyzikálně založených. Modely empirické jsou odvozeny na základě statistického vyhodnocení dat získaných dlouhodobým pozorováním. Tyto modely jsou jednoduše použitelné, avšak

jejich aplikace je omezena kvůli zjednodušení vstupních údajů. Mezi empirické modely se řadí metoda USLE a všechny modely, které jsou z ní odvozené (RUSLE, WATEM/SEDEM, USPED, RUSLE 2 aj.).

Na rozdíl od modelů empirických popisují modely fyzikálně založené skutečnou fyzikální podstatu procesu. Nevýhodou jsou podstatně vyšší nároky na vstupní data, výpočetní techniku i kvalifikaci uživatele. Výstupy lze však využívat na podstatně vyšší úrovni. Příkladem těchto modelů jsou EROSION 3D, SMODERP, NEPP aj. (Krása, 2004).

Dále lze modely dělit podle časového hlediska na modely epizodní a kontinuální. Epizodní model pracuje s jednou srážkovou epizodou. Umožňuje řešit konkrétní stav pozemku a průběh srážky, ale výsledky nejsou vhodné pro dlouhodobější bilanci. Řadí se sem jmenované fyzikálně založené modely. Empirické modely bývají kontinuální, obvykle používají hodnoty ročních srážek a výsledkem jsou hodnoty smyvu za celé období.

Rozdělení z prostorového hlediska závisí na podrobnosti popisu území. Distribuované modely využívají síť pravidelných elementů k pokrytí území, a tím získají podrobnější popis. Tento přístup by měl být použit u modelů empirických, avšak většina používaných jednodušších modelů aplikuje celistvý přístup. Tento přístup používá pro území (obvykle povodí) průměrné hodnoty (Krása, 2010).

V současnosti existuje velká řada modelů, jejichž fungování je provázáno s využitím GIS platformy. Tyto modely lze dělit podle Janečka (2012) na:

- modely vyčíslející jen mezirýhovou erozi – např. původní model RUSLE 1 nebo model RUSLE jako součást GIS IDRISI verze 1.5 a vyšší (př. USLE 2D),
- modely vyčíslející mezirýhovou i rýhovou erozi,
- modely vyčíslející mezirýhovou i rýhovou erozi, a navíc i depozici (tzv. bilanční modely) – např. RUSLE 2, USPED, WATEM/SEDEM.

Dalším možným rozdělením je dělení modelů erozních procesů podle prostorového měřítka, které je znázorněno v Tab. 2.

Tab. 2 Modelování erozních procesů podle prostorového měřítka (Kliment a Langhammer, 2005)

prostorová úroveň	velikost hodnoceného území	zájmové území	časové měřítko hodnocení	metody hodnocení	oblast využití	nároky na objem vstupních dat	charakter modelu
makro-úroveň	stovky až tisíce km ²	velká uzavřená povodí regionálního významu	delší ucelená období	zjednodušené metody odhadu rizika eroze látkového odnosu a výpočtu bilančních hodnot	vymezení oblastí erozního rizika, bilanční hodnoty látkového odnosu	nízké až střední	regresní modely bilanční modely
mezo-úroveň	desítky až stovky km ²	povodí menší a střední velikosti	delší období sezóna	empirické vyjádření procesů USLE a její modifikace (AGNPS)	výpočet střednědobého odnosu látek z dílčích povodí a zemědělské půdy	střední až vysoké	empirické modely
mikro-úroveň	nejvýše jednotky až desítky km ²	malá povodí jejich dílčí části jednotlivé svahy	kontinuální simulace jednotlivých událostí	fyzikálně založené hodnocení, dynamická kontinuální simulace EROSION 3D, SMODERP	výpočet srážko-odtokového procesu, přesného množství erodovaných a transportovaných látek v jednotlivých fázích procesu	vysoké	fyzikálně založené modely

Podle využití modelu lze rozlišit skupinu výzkumných a aplikačních modelů. Jiný pohled na rozdělení podle prostorového hlediska nabízí dělení na modely jednorozměrné, dvojrozměrné nebo trojrozměrné (www.cmkpu.cz).

2.6.2 Geografické informační systémy a eroze

V dnešní době díky možnostem výpočetní techniky dochází ke změnám při řešení eroze povodí. Upouští se od manuálního výpočtu a realizují se výpočty s podporou geografických informačních systémů. Celé oblasti práce s geografickými informačními systémy (GIS) se věnuje vědní disciplína – geoinformatika.

Software má dvě základní části, bez kterých se neobejde žádný GIS. Jde o databázovou část, která obsahuje všechny informace o objektech a prvcích na mapě a umožňuje jejich ukládání, zálohování, organizaci atd. Část vykreslovací převádí informaci do mapy podle pokynů uživatele a výsledků databázové části. Ve vykreslovací části lze mapy editovat.

Pro potřeby erozních výpočtů vznikla řada erozních modelů, které jsou součástí GIS komerčního i nekomerčního charakteru. Je však důležité uvědomit si, že používaná data mají stanovenou přesnost a vypovídací schopnost, kterým potom odpovídají výstupy.

Při řešení konkrétních případů eroze a transportu sedimentu na území České republiky se problematika soustředí na dvě úrovně podrobnosti. Cílem je definovat riziková území a řešit jejich konkrétní problémy (tzn. navrhnout protierozní opatření). V rámci regionální úrovně dochází k vyhledávání problémových povodí, svahů a pozemků. Následně dochází k projektování protierozních opatření na nižší (lokální) úrovni. Nadregionální úroveň v této problematice řešená zpravidla není (Krása, 2011).

2.6.2.1 Hlavní poskytovatelé GIS

ESRI (Environmental System Research Institute) – společnost založena v roce 1969, od roku 1981 uvedla na trh několik verzí ArcGIS (www.old.arcdata.cz). V současnosti je na trhu nejnovější verze 10.4 (www.arcdata.cz). Software patří k poměrně drahým a profesionálním. V České republice i v Evropě je jeho používání rozšířené (např. úřady a státní správa). Rozšířené je poskytování dat ve formátu SHAPEFILE (Krása, 2010).

Intergraph – založena v roce 1969, spolupracovala např. s NASA. Společnost zastává přední pozici na trhu. Hlavním GIS produktem firmy je řada GeoMedia (www.intergraph.com).

Bentley – založena v roce 1984 (www.bentley.com). Hlavním produktem je platforma Microstation. Jednou z výhod je možnost přímo pracovat s výkresy z AutoCAD (www.gissoft.cz).

K dispozici je řada dalších software, např. Atlas DMT, TopoL apod., které jsou vhodné pro specifické účely (Krása, 2010).

2.6.3 Výběr vhodného modelu

Při výběru vhodného modelu je potřeba si ujasnit účel, pro který bude model použit (tzn. stanovit základní problematiku). Dále je potřebné zhodnotit prostorové a časové hledisko a velikost povodí (Singh a Prasad in Singh, 1982). V neposlední řadě ovlivňuje výběr požadavek na přesnost modelu, potřebné hardwarové vybavení, dostupnost modelu a požadavky na zkušenosti uživatele (Singh, 1995).

Pro účely této práce byly zvoleny programy ERCN, SMODERP a ATLAS DMT s využitím rozšíření programu – ATLAS EROZE. Program SMODERP autorka zvolila

z toho důvodu, že je volně dostupný, byl vyvinut a přizpůsoben prostředí ČR a nemá velké požadavky na hardware. Byla brána v úvahu i negativa jako nemožnost přímého výpočtu eroze, vyšší náročnost na vstupní data a menší množství publikací pojednávajících o tomto modelu. Jako omezení je potřeba zmínit i omezenou plochu, pro kterou byl tento model navržen – lze jej použít pouze pro území o velikosti do 100 ha. Tento požadavek byl určující při volbě řešeného území. Model ATLAS EROZE byl zvolen kvůli možnosti využití podkladů GIS, možnosti používat tento model v počítačových učebnách univerzity (což vyřešilo problém dostupnosti a hardwarových požadavků, částečně i nároků na zkušenost uživatele). Bohužel se nezdařilo vytvoření DMT. Po neúspěšném pátrání po příčině problému přikročila autorka k jinému způsobu výpočtu eroze. Jako náhradní řešení byla zvolena metoda výpočtu eroze s využitím geoinformačních technologií a programu LS converter 1.0, pomocí modelu USLE 2D. Tato možnost byla vyhovující ve všech směrech: USLE 2D i LS converter 1.0 jsou volně dostupné a byly k dispozici na univerzitním počítači, oba programy jsou uživateli srozumitelné a nároky na vstupní data jsou nízké. Výhodou je i větší rozšířenost použití této metody.

2.7 Opatření proti vodní erozi

Přestože není hlavním cílem práce navrhnout protierozní opatření, byla kapitola zahrnuta do této části z důvodu potřeby prezentovat alespoň základní přehled možných řešení problému s vodní erozí. Současně byly ke stručnému výčtu opatření přiřazeny i názory na jejich využitelnost v praxi a poznatky k této problematice od jiných autorů.

2.7.1 Organizační opatření

(Podhrázská a Dufková, 2005)

- optimalizace velikosti a tvaru pozemku
- delimitace kultur (ochranné zatravnění a zalesnění)
- protierozní rozmísťování plodin (protierozní osevní postupy, pásové střídání plodin)
- protierozní směr výsadby ve speciálních kulturách

Novotný a kol. (2014) do této skupiny opatření řadí i zasakovací pásy, osetí souvratí a přerušovací pásy.

Podle Krásky a kol. (2013) jsou změny tvaru a velikosti pozemku v praxi realizovatelné pouze v procesu pozemkových úprav a je potřeba vytvořit nepropustné hranice pro povrchový odtok mezi jednotlivými bloky. Stejně tak delimitace kultur je považována za efektivní při předpokladu důsledného zatravnění. U pásového pěstování plodin je problematická vhodná volba pásů plodin, které na sebe budou navazovat. Z tohoto důvodu je opatření označeno za méně spolehlivé a nepříliš efektivní.

Podhrázká a Karásek (2014) sestavili seznam BPEJ, které jsou vhodné k zatravnění, zalesnění nebo k výstavbě rybníku. BPEJ vybrané k zatravnění a zalesnění byly dále rozděleny do dvou skupin – na BPEJ, kde je toto opatření nutné, až nezbytné, a na BPEJ, kde je toto opatření vhodné. Podle této tabulky by část pozemku s kódem BPEJ 3.41.67 měla být zatravněna, důvodem je svažitosť nad 12°.

2.7.2 Agrotechnická opatření

(Podhrázká a Dufková, 2005)

- protierozní agrotechnologie na orné půdě (výsev do ochranné plodiny, strniště, mulče nebo posklizňových zbytků, hrázkování a důlkování, protierozní orba)
- protierozní agrotechnologie ve speciálních kulturách (zatravnění meziřadí, krátkodobé porosty v meziřadí, mulčování, hrázkování a důlkování v meziřadí)

Kvítek a Tippl (2013) řadí do agrotechnických opatření také setí do hrubé brázdy. Podle Tippla a kol. (2009) přispívá významně ke snížení ztrát půdy erozí také obohacení půdy organickou hmotou (např. zelené hnojení, hnojení chlévským hnojem apod.). Novotný a kol. (2014) uvádí v seznamu agrotechnických opatření také plečkování, dlátování, podrývání, setí kukuřice do úzkých řádků a pásové zpracování půdy.

Z uvedených agrotechnických opatření Krása a kol. (2013) doporučují jako podmíněně efektivní způsob setí a sázení po vrstevnici, a především půdoochranné obdělávání ve všech formách. Ochranné obdělávání obnáší vyloučení orby, ponechání

posklizňových zbytků na pozemku, využívání sledu plodin – hlavní plodina je vždy seta do porostu předchozí plodiny (ať již živé, či mrtvé).

Hrázkování a důlkování patří mezi specifické typy opatření, která jsou praktikována spíše výjimečně.

2.7.3 Technická opatření

Technická opatření patří mezi opatření investičního charakteru a řada z nich podléhá standardnímu stavebnímu řízení včetně kolaudace. Často se navrhuje jako ochrana před vedlejšími efekty povrchového odtoku a eroze (Krása a kol., 2013)

Dělení technických opatření podle Podhrázké a Dufkové (2005):

- systém protierozních mezí,
- zasakovací pásy,
- protierozní průlehy,
- asanace drah soustředěného povrchového odtoku,
- protierozní manipulační pásy,
- protierozní příkopy,
- asanace strží,
- protierozní nádrže,
- protierozní cesty.

Kvítek a Tippl (2013) zahrnují mezi technická opatření i terénní urovnávky a terasování.

Janáček (2012) do technických opatření navíc zahrnuje protierozní hrázky.

Podle normy ČSN 75 4500 – Protierozní ochrana zemědělské půdy lze pro návrh technických protierozních opatření využít i model SMODERP 10.01, pokud jsou doplněny dimenzační hodnoty (odváděcí prvky, zasakovací prvky, prvky měnicí

podélný sklon, dráhy soustředěného odtoku a ochranné nádrže). Vzniká však riziko velkého zkreslení při nevhodné volbě charakteristických profilů průtoků (Kavka, 2012).

Kovář a kol. (2011) ve své studii upozorňují na protierozní funkci historických krajinných prvků, které bohužel z dnešní krajiny poměrně rychle mizejí.

3 CÍL PRÁCE

Cílem práce je stanovení ztráty půdy erozí s využitím modelů erozních procesů.

Cíle diplomové práce:

- stručné objasnění problematiky eroze půdy,
- získání podkladů o řešeném území pro výpočty a jejich ověření terénní pochůzkou,
- výpočet univerzální rovnice ztráty půdy,
- výběr vhodných modelů pro výpočet ztráty půdy erozí,
- výpočet ztráty půdy pomocí zvolených modelů,
- porovnání metod,
- vytvoření mapových podkladů v programu ArcMap.

4 MATERIÁL A METODY

4.1 Popis lokality

Zvolená lokalita se nachází v katastrálním území městské části Brno-Líšeň, u hranice s katastrálním územím obce Podolí. Líšeň leží východně od středu města Brna. Lokalita je zpřístupněna ze tří stran polními cestami. Cesta v horní části svahu je doplněna křovinným pásem a také se zde nachází významný krajinný prvek Čtvrťky. V sousedství se nachází historická osada Kandie, která vznikla kolem zájezdního hostince u císařské cesty (www.vlisni.cz). V pravé části je hranice zkoumaného území vedena příkopem.

Území spadá podle Quittovy klasifikace do oblasti teplé T2, která se vyznačuje charakteristikami uvedenými v Tab. 3.

Tab. 3 Charakteristika teplé oblasti T2 (Tolasz a kol., 2007)

charakteristika	údaj
počet letních dnů	50–60
počet dnů s teplotou 10°C a vyšší	160–170
počet mrazových dnů	100–110
počet ledových dnů	30–40
průměrná teplota v červenci	18–19°C
průměrná teplota v lednu	-2 až -3°C
průměrná roční teplota	8,7°C
průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	90–100
srážkový úhrn za vegetační období	350–400 mm
srážkový úhrn za zimní období	200–300 mm
roční úhrn srážek	490–500 mm
počet jasných dnů	40–50
průměrná roční oblačnost v desetinách pokrytí oblohy	6–6,5

Reliéf zájmového území je zvlněný, nejbližším vrcholem je kopec Čtvrť o výšce 331 m n. m. (mapy.cz).

Geologický podklad je na vybrané lokalitě značně diferenciováný – vyskytují se zde jíly, sedimenty a spraše (mapy.geology.cz).

Půdní typ, který se vyskytuje na převážné části půdního bloku, je černozem modální a na menší části pozemku hnědozem pelická (geoportal.gov.cz).

Sledované území spadá do povodí Moravy a dílčího povodí Svratka (voda.gov.cz). Pozemek se nachází v dílčím povodí útvarů povrchových vod Říčky a celá oblast je klasifikována jako citlivá a zranitelná oblast z hlediska citlivosti na živiny. Kvalitativní stav podzemních vod je hodnocen jako dobrý, ale chemický stav dobrého stavu nedosahuje a je zde registrován významný trvale rostoucí trend znečištění (heis.vuv.cz). Vybraná lokalita z geomorfologického hlediska náleží do soustavy Vněkarpatské sníženiny, podsoustavy Západní Vněkarpatské sníženiny, celku Dyjsko-svratecký úval, podcelku Pracká pahorkatina a okrsku Šlapanická pahorkatina.

Z hlediska biogeografického členění podle Culka (2005) spadá území do severopanonské podprovincie a v jejím rámci pak lokalitu řadíme do Lechovického bioregionu (mapy.nature.cz).

Lechovický bioregion se vyznačuje výrazně teplým a suchým podnebím, významné jsou západní a jihovýchodní větry. Celý bioregion leží v černozemní oblasti – převažují černozemě na spraších. Kontinuální osídlení od neolitu má za následek souvislé odlesnění, které se zachovalo. Charakteristická jsou rozsáhlá pole, sady a místy i vinice. Chráněných území je vyhlášeno relativně málo (Culek, 2005).

Z mapové vrstvy CORINE Land Cover byly získány informace o krajinném pokryvu – pozemek byl využíván jako orná půda od roku 1970 a pravděpodobně i před tímto rokem, který byl však poslední dohledatelný ve jmenovaném mapovém podkladu.

Stupeň sklonitosti pozemku je 5–15° a spadá mezi silně ukloněné svahy. Ve spodní části se sklon zmírňuje na rozmezí 2–5° a patří do skupiny mírně ukloněných svahů. Expozice je napůl jihovýchodní a jihozápadní – pozemek má tvar písmene V (mapy.nature.cz).

Zemědělskou půdu ve vybrané lokalitě i jejím širším okolí obhospodařuje zemědělská společnost Agropod, a. s. (www.roketnice.cz).

Pozemková držba je značně rozdrobená, charakteristické jsou protáhlé pozemky s několika vlastníky. V katastrálním území bylo schváleno provedení pozemkových úprav, které by tento stav měly zlepšit (nahliznidokn.cuzk.cz).

Významný krajinný prvek (VKP) Čtvrtky má rozlohu 0,35 ha a leží v nadmořské výšce 300 m n. m. Na podkladě kulmských slepenců se rozšířila teplomilná rostlinná společenstva. Orientace stráně je směrem na jih, ve spodní části udržována jako bezlesá a v horní části je porost tvořen jasanem ztepilým, trnovníkem akátem, lípou srdčitou a keřovým patrem. Nejvýznamnějšími druhy na této lokalitě jsou kostřava žlábkatá, vousatka prstnatá, čilimník řezenský, radyk prutnatý, mochna jarní, ožanka kalamandra a třešeň křovitá. VKP funguje i jako útočiště obratlovců. Jako úkryt slouží toto místo pro zajíce polního, bažanta polního, srnce obecného a ježka východního. Z ohrožených druhů se v lokalitě vyskytuje ještěrka obecná a ťuhýk obecný (gis.brno.cz). V rámci pozemkových úprav byl tento VKP zahrnut do místního systému ekologické stability jako součást lokálního biokoridoru (www.brno-lisen.cz).

4.2 Stanovení eroze

Eroze byla stanovena pro půdní blok, jehož hranice byly vymezeny na základě přirozených hranic v terénu a hranic půdních bloků (Obr. 1). Tyto hranice také odpovídají prvkům přerušujícím povrchový odtok. V určeném území byly zakresleny odtokové linie. Takto připravený zákres v pracovní verzi mapy byl poté ověřen pochůzkou v terénu. Po provedení těchto přípravných prací bylo přikročeno k samotnému stanovení eroze.

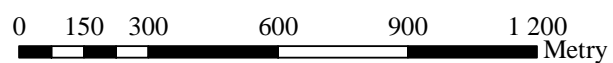
ORTOFOTOMAPA S LOKALIZACÍ ÚZEMÍ A BLÍZKÝCH OBCÍ

1:12 500



Legenda:

 hranice



Obr. 1 Poloha zvoleného území vzhledem k okolním obcím

4.2.1 Univerzální rovnice ztráty půdy

Univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí (USLE) byla jednou z nejpoužívanějších metod pro určení erozního smyvu. Za vytvořením USLE stála tehdejší Soil Conservation Service ve Spojených státech amerických (www.ars.usda.gov). Vznik a využívání této metody v USA znamenalo, že metoda byla přizpůsobena tamním geografickým podmínkám, a musela být proto upravena pro české podmínky. Nejvíce se přizpůsobení USLE pro podmínky ČR zabývali Zdražil (1965), Holý (1978, 1994), Pasák a Velebil (1984), Toman (2000) a Janeček a kol. (1992, 2005, 2007, 2012).

4.2.1.1 Určení erozní ohroženosti půdy vodní erozí

V současnosti stále platí za nejdokonalejší vyjádření kvantitativního účinku hlavních faktorů ovlivňujících erozi zapříčiněnou přívalovými srážkami tzv. univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí z pozemků dle Wischmeiera a Smithe (1978) (1.0):

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1.0)$$

G – průměrná dlouhodobá ztráta půdy [$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]

R – faktor erozní účinnosti dešťů; závisí na četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$]

K – faktor erodovatelnosti půdy; závisí na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a zrnitosti [$\text{t} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$]

L – faktor délky svahu; vyjadřuje vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí [-]

S – faktor sklonu svahu; vyjadřuje vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí [-].

C – faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu; závisí na vývoji vegetace a použité agrotechnice [-]

P – faktor účinnosti protierozních opatření [-]

4.2.1.2 Faktor erozní účinnosti deště – R

Erozní účinnost deště se nejvíce projevuje ve fázi, kdy kapky dopadají na půdní povrch, a ještě nedochází k povrchovému odtoku. Destrukční proces je způsoben kinetickou energií deště, kterou není snadné stanovit kvůli značně proměnlivým charakteristikám (Janeček, 2002).

Nejnovější platná metodika doporučuje zvolit jako průměrnou hodnotu faktoru erozní účinnosti deště $40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ (Janeček a kol., 2012).

Hodnota R faktoru $20 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, která byla doporučována v minulosti, prošla srovnáním s hodnotami faktoru R v sousedních státech a zjistilo se, že je oproti nim několikanásobně nižší (Janeček a kol., 2006).

Pro výpočet faktoru erozní účinnosti deště lze použít vzorce Wischmeiera a Smithe (1.1), (1.2):

$$R = (E/100) \cdot i_{30} \quad (1.1)$$

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. 30minutová intenzita deště [$\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$].

$$E = (206 + 87 \log i) \cdot H_s \quad (1.2)$$

E – celková kinetická energie deště [$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$].

i – intenzita deště [$\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$].

H_s – úhrn deště [cm].

Pro území České republiky není prozatím účelná regionalizace faktoru R, především kvůli výskytu problémů metodického a podkladového charakteru. Při výpočtu USLE v této práci byla proto použita průměrná hodnota R faktoru = $40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, která platí pro naprosto převažující plochu zemědělské půdy v České republice (Janeček a kol., 2012).

Do budoucna je možné, že hodnota R faktoru může být navýšena. Dokládá to Tab. 4, která znázorňuje výsledky výpočtu faktoru R pro Českou republiku. Výsledky autorů nejsou ve shodě a objevují se zde i hodnoty vyšší než $40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$.

Tab. 4 Přehled výsledků stanovení faktoru R na území České republiky (Krása J. a kol. in Rožnovský a Litschmann, 2014)

Publication	Data period	The number of stations *	min/max R in the map **	average R-factor of the Czech Republic ***
Holý et al. 1975	1965-1974	8	30/100	Not specified
Janeček et al. 1992	different lengths	3/102	5/34	20
Krása, 2004	1949-1990	4	34/56	Not specified
Dostál et al. 2006	1962-2001	4/87 month sums	35/80	57
Dostál et al. 2006	2000-2005	37	44/85	69
Janeček et al. 2012	(1961) 1971-2000	31/257 daily sums	25/75	48
Hanel, 2013	1989-2003	96	35/150	64
Rožnovský et al. 2013	2003-2012	106/245	37/110	69
<p><i>Grey lines indicate solutions where regionalization did not proceed according to Wischmeier's methodology and was not based on continuous data.</i></p> <p><i>* Number of stations listed after the slash indicates the stations used only for regionalization. To calculate the R-factor stations listed before the slash were used.</i></p> <p><i>** Maximum values in the created maps are always arbitrary. Actual long-term maximum R-factors for some stations in the mountain regions always exceeded these maxima listed in maps (up to several times).</i></p> <p><i>*** Except Janeček et al. (1992, 2012) it is an average derived from raster maps, indeed relate to the whole territory of the Czech Republic, not the simple arithmetic average of the values at stations.</i></p>				

4.2.1.3 Faktor erodovatelnosti půdy – K

Faktor K definuje náchylnost půdy k destrukci vodní erozí. Kromě zrnitosti se zohledňuje i obsah humusu, kvalita půdní struktury a propustnost (Šarapatka a kol, 2002). Hodnoty erodovatelnosti půdy lze získat z kódu BPEJ (2. a 3. číslo) nebo podle půdního druhu – je možné určit jen interval faktoru K (Dufková a Podhrázká, 2005). Lze jej také stanovit z nomogramu dle Wischmeiera, Johnsona a Crosse (1971). Pro potřeby této práce byly hodnoty odvozeny podle kódu BPEJ. Tabulku s hodnotami faktoru K pro jednotlivé hlavní půdní jednotku uvádí Příloha 1. Podle hodnoty K faktoru lze určit náchylnost půdy k erozi (Tab. 5).

Pokud obsah částic o velikosti 0,002-0,1 mm nepřekročí 70 %, lze faktor K určit z rovnice (1.3) (Janeček, 2002):

$$100K = 2,1M^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot (12 - a) + 3,25 \cdot (b - 2) + 2,5 \cdot (c - 3) \quad (1.3)$$

M – % prachu a práškového písku (částice 0,002-0,1mm) násobené 100 % jílu (částice pod 0,002 mm).

a – obsah organické hmoty [%]

b – třída struktury ornice

c – třída propustnosti půdního profilu

Tab. 5 Kategorie náchylnosti k vodní erozi podle K faktoru (geoportal.vumop.cz)

kategorie náchylnosti k vodní erozi	hodnoty K faktoru	popis půd
půdy nenáchylné	do 0,20	půdy zrnitostně značně lehké, vodopropustné a výsušné, půdotvorným substrátem jsou převážně písky, struktura je spíše špatně vyvinutá, převažuje zrnitá, obsah humusu je nízký, z hlediska nejnižších hodnot K faktoru se zde přímo projevil pozitivní vliv zrnitostního složení ornice, a tím i infiltrace vody do půdy a propustnosti půdního profilu
půdy slabě náchylné	0,20-0,30	převažují rozmanité půdy, vytvořené z různých substrátů a o různých charakteristikách, mají vysoký obsah humusu a dobrý strukturní stav, či se jedná o propustné a zrnitostně lehké půdy
půdy středně náchylné	0,30-0,40	dvě uskupení půd - v první z nich se jedná o půdy, kde převažuje dobrý vláhvový režim a dobrá strukturnost ornice, substrátově je skupina pestrá, od spraše přes flyš až po různé horniny; v druhém uskupení se jedná o půdy převážně zamokřené, kde je vysoký obsah humusu
půdy silně náchylné	0,40-0,50	jsou to zejména černoze na spraši s vysokým obsahem humusu, dobré strukturnosti a propustnosti půdního profilu, dále půdy, kde působí proces illimerizace a některé hydromorfnní půdy
půdy nejnáchylnější	nad 0,50	jsou zde zařazeny převážně z hlediska úrodnosti velmi kvalitní půdy (černoze luvická, hnědozem, apod.), hlavním důvodem náchylnosti k vodní erozi je zrnitostní složení ornice a snižující se obsah humusu; nepříznivě se zde projevuje proces illimerizace, kdy dochází k posunu jílu (eluviální horizont) dolů profilem (iluviální horizont), ochuzený (eluviální) horizont je pak ve většině případů přiorán a promíchán s ornici, a tím je následně díky nepříznivé zrnitosti (velký obsah prachovitých částic), nižšímu obsahu humusu a horší struktuře snadno erodován

4.2.1.4 Faktor sklonu a délky svahu (topografický faktor) – L a S

Pro dané území se určují odtokové linie, vedené od rozvodnice k údolnici, kolmo na vrstevnice v místě největšího sklonu a délky svahu (Obr. 2). Pokud je území většího rozsahu, rozdělí se na erozně uzavřené celky, uvnitř kterých se zakreslí odtokové linie.

Pro přímé svahy lze hodnotu topografického faktoru vypočítat jako (1.4):

$$LS = l_d^{0,5} \cdot (0,0138 + 0,0097s + 0,00138s^2) \quad (1.4)$$

l_d – nepřerušovaná délka svahu [m].

s – sklon svahu [%].

Další možností je získat topografický faktor z nomogramu.

Pokud chceme vypočítat faktory samostatně, použijeme následující vzorce (1.5), (1.6) nebo (1.7):

$$L = \left(\frac{l}{22,13} \right)^m \quad (1.5)$$

l_d – nepřerušovaná délka svahu [m].

m – exponent zahrnující vliv sklonu svahu; vyjadřuje náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze (Příloha 2).

Tento vzorec (1.5) byl použit pro stanovení faktoru L pro účely autorčiny práce.

Faktor L lze určit i za pomoci tabulky, kde je faktor L přiřazen k hodnotám nepřerušované délky svahu. V případě hodnot, které nejsou v tabulce obsaženy, je potřeba získat faktor L interpolací.

Pro výpočet faktoru S se používají vzorce (1.6) a (1.7) podle sklonu svahu.

Pro svah se sklonem menším než 9 %:

$$S = 10,8 \cdot \sin s + 0,03 \quad (1.6)$$

Pro svah se sklonem větším než 9 %:

$$S = 16,8 \sin s - 0,05 \quad (1.7)$$

s – sklon svahu [$m \cdot m^{-1}$].

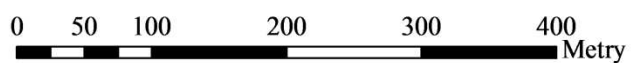
U nepravidelných svahů je možné svah rozdělit na deset stejných úseků. Tyto úseky mají stanovené koeficienty. Svah je rozčleněn na části, které mají přibližně stejný sklon. Sklon těchto částí je vynásoben součtem koeficientů úseků, do kterých zasahuje (Pohrázská a Dufková, 2005). Tato metoda je použita a znázorněna v Příloze 3.

MAPA S VYZNAČENÍM ODTOKOVÝCH LINIÍ
1:4 000



Legenda

-  odtokové linie
-  vrstevnice hlavní
-  hranice



Obr. 2 Odtokové linie na půdním bloku

4.2.1.5 Faktor ochranného vlivu vegetace – C

Vegetační pokryv má na smyv půdy dvojitý vliv: chrání povrch před rozrušením dopadajícími kapkami a zároveň snižuje rychlost povrchového odtoku. Kromě toho i zlepšuje půdní vlastnosti, a tím zvyšuje odolnost půdy vůči erozním vlivům. Čím vyšší hustota porostu a jeho pokryvnost v době srážky, tím vyšší je ochranný účinek vegetace. Nejdokonaleji půdní povrch chrání travní porost a jeteloviny, naopak širokořádkové plodiny poskytují velice nízkou ochranu (Toman, 1996).

Wischmeier a Smith (1978) definovali 5 období, pro která se stanoví stupeň ochrany:

1. období podmínky a hrubé brázdy,
2. období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení,
3. období po dobu druhého měsíce od jarního nebo letního setí či sázení, u ozimů do 30. 4.,
4. období od konce 3. období do sklizně,
5. období strniště.

Hodnota faktoru C se zjišťuje pro celý osevní postup, včetně období bez porostu a střídání plodin (Příloha 5). V případech, kdy není možné sestavit osevní postup, je možné použít orientační hodnoty ročních C faktorů pro jednotlivé plodiny nebo hodnoty z map izolinií pro vybrané plodiny (Podhrázská a Dufková, 2005).

4.2.1.6 Faktor účinnosti protierozních opatření – P

V případě, že se v zájmovém území nevyskytují žádná funkční protierozní opatření, je hodnota faktoru P rovna 1. Při aplikaci protierozních opatření na pozemku se hodnota faktoru P násobí koeficientem, který je pro dané opatření stanoven Wischmeierem a Smithem (Janeček, 2002).

4.2.1.7 Hodnota průměrné dlouhodobé ztráty půdy – G_p a stanovení erozní ohroženosti

Výpočtem rovnice se získá hodnota ztráty půdy (hodnota potencionálního smyvu), která představuje dlouhodobou průměrnou roční hodnotu. Tzv. přípustná ztráta půdy G_p se využívá k posouzení míry erozní ohroženosti. Vyjadřuje maximální hodnotu eroze půdy, která umožňuje udržet ekonomicky dostupnou a odpovídající úroveň úrodnosti v nejbližší době. Hodnota G_p závisí na hloubce půdy (Váška a kol., 2000). Pro půdu mělkou se doporučuje převedení do kategorie trvalých travních porostů nebo jejich zalesnění a neměly by být již pro pěstování plodin využívány. Pokud je půda středně hluboká (30–60 cm), tak hodnota G_p bude $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Namísto původně doporučovaných $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ pro půdy hluboké také platí hodnota $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, protože jde o nejúrodnější půdy a je třeba jejich ochranu před erozí zvýšit (Janeček a kol., 2012).

Dalším ukazatelem erozní ohroženosti je index erozní ohroženosti půdy, který je vyjádřen poměrem potencionálního a přípustného smyvu. Pokud je hodnota indexu menší než 1, jde o neohroženou půdu. Hodnota v rozmezí 1 a 2 značí mírně ohroženou půdu. Překročí-li hodnotu indexu 2, jedná se o silně, velmi silně či katastrofálně ohroženou půdu (Šarapatka a kol., 2002).

Odlisný přístup ke stanovení erozně ohrožených pozemků využívá např. fyzikálně založený model SMODERP. Ten porovnává vypočtenou rychlost povrchového odtoku a tangenciálního napětí s krajní nevymílací rychlostí – respektive s tangenciálním napětím (Dýrová, 1984).

4.2.1.8 Hodnota přípustné délky svahu - L_p

Hodnota přípustné délky svahu dává informaci o tom, ve které vzdálenosti by měl být svah přerušen použitím některého protierozního opatření, aby povrchový odtok nepřešel v rýhovou erozi (eroze.sweb.cz).

Vypočítá se z upraveného vzorce pro výpočet faktoru L podle Wischmeiera a Smithe (1978) (1.8):

$$l_p = 22,13 \cdot L_p \quad (1.8)$$

Hodnotu L_p získáme z rovnice (1.9) (Janeček, 2008):

$$L_p = \frac{G_p}{R.K.S.C.P} \quad (1.9)$$

L_p – faktor délky svahu pro přípustnou délku svahu

l_p – přípustná délka svahu

4.2.1.9 Hlavní způsoby využití USLE

USLE je využívána pro následující účely (Váška a kol., 2000):

- stanovení hodnoty přípustné ztráty půdy, které slouží k posouzení erozní ohroženosti pozemku,
- získané hodnoty jsou podkladem při návrhu a zhodnocení účinnosti protierozních opatření,
- při správném stanovení faktorů ji lze použít i pro odhad průměrné ztráty půdy v povodí, lesních ploch, nevyužívaných zemědělských pozemků, stavenišť atd., přičemž přesnost odhadu je ovlivněna přesností vstupních údajů.

USLE není vhodné používat hlavně v těchto případech (Váška a kol., 2000):

- přímý odhad množství splavenin v povodí,
- pro stanovení velikosti ztráty půdy v průběhu jednotlivých srážkových epizod,
- pro návrh protierozních prvků technického charakteru.

4.2.2 ERCN 2.0

Program ERCN byl vytvořen Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy (VÚMOP). Tento program slouží pro výpočet erozního smyvu pomocí rovnice USLE a pro výpočet CN-křivek. Uživatelsky jednoduchý program má popsáný postup v manuálu a při jeho použití nenastávají potíže s nedostatečně vysvětlenými pojmy nebo jednotlivými kroky.

Po spuštění programu v záložce Výpočet uživatel zvolí buď výpočet erozního smyvu, nebo CN-křivek. V tomto případě byl program použit pro výpočet erozního smyvu a po výběru této možnosti se otevře okno, do kterého se postupně zadávají všechny faktory rovnice USLE.

Prvním krokem je zadání odtokových linií. Ty autorka práce zakreslila podle vlastního úsudku ručně do mapy, která sloužila pro výpočet USLE bez pomoci programu ERCN. Výhodou je zde možnost rozdělit linii na více úseků. Úseky autorka volila shodně s rozdělením odtokové linie pro potřeby výpočtu faktoru S. V tabulce, která se otevře po kliknutí na volbu Zadání linie, se postupně vypisují parametry jednotlivých úseků – délka linie l v metrech, převýšení h v metrech a hodnota faktoru K . Faktor K je možné vypočítat – je potřeba znát podíl organické hmoty, podíl prachu a práškového písku, podíl jílu v procentickém vyjádření, vybrat třídu struktury ornice a třídu propustnosti. Pro výpočet v této práci byl faktor K určen podle BPEJ. Po zadání těchto hodnot program dokáže dopočítat sklon a je možné úsek uložit tlačítkem Sepsat. Po kliknutí na tlačítko Další lze zadat druhý úsek. Tímto způsobem se postupně zadají všechny úseky odtokové linie.

V dalším kroku program přes tlačítko Výpočet linie doplní do rovnice USLE faktory L , S a K a dopočítá celkovou délku (li), celkové převýšení (hi) a celkový sklon odtokové linie (s). Výhodou je možnost uložení jednotlivých odtokových linií, což umožňuje jejich opětovné využití bez nutnosti opakovaného zadávání do tabulky. Nyní následuje volba R -faktoru. Program obsahuje tabulku zpracovanou Českým hydrometeorologickým ústavem, která obsahuje údaje o hodnotách faktoru R pro vybrané stanice pozorované dlouhodobě. Tyto hodnoty se však liší od doporučené průměrné hodnoty $R = 40$ pro Českou republiku podle Janečka (2012), která byla autorkou použita. Bylo by vhodné program aktualizovat, aby hodnoty faktoru R vycházely z aktuálních kritérií pro výběr erozně nebezpečných srážek. Pro hodnotu C -faktoru je zde opět možnost zadat přímo hodnotu získanou z předchozího výpočtu rovnice USLE nebo zvolit Výpočet C -faktoru a v nově otevřeném okně postupně zadávat osevňovací postup. Po vyplnění hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace je na řadě výběr faktoru P . V této práci nebylo cílem navrhnout protierozní opatření, a proto byla rovnice USLE počítána pouze ve variantě bez opatření proti erozi a hodnota faktoru P byla 1. V opačném případě je zde opět možnost vybrat z tabulky zpracované Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy použité opatření a program sám doplní hodnotu faktoru P .

Posledním krokem je volba hloubky půdy, od které se odvíjí přípustný smyv půdy. Zde se opět ukazuje potřeba aktualizovat program podle současně platné metodiky (Janeček a kol., 2012), která doporučuje pro hluboké půdy snížení přípustného smyvu

z 10 na 4 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Autorka proto zvolila hloubku půdy 30–60 cm, což odpovídá středně hluboké půdě, přestože v lokalitě se vyskytují půdy hluboké. Tím bylo dosaženo snížení hodnoty na aktuálně používanou. Nyní jsou známy všechny parametry potřebné pro výpočet průměrného ročního smyvu půdy (Obr. 3). V případě, že je výsledek vyšší, než je přípustná ztráta půdy erozí, program tuto informaci zobrazí.

Výpočet průměrného ročního smyvu půdy [t/ha.rok] podle Wischmeier-Smitha

G = 37.53 [t/ha.rok]

Zadání:

R = 40 [MJ/cm. ha/h] Volba R-faktoru

K = 0.44 [-]

L = 4.61 [-]

S = 1.12 [-]

C = 0.413 [-] Výpočet C-faktoru

P = 1 [-] Volba P-faktoru

li = 470 [m]

hi = 44.2 [m]

s = 9.40 [%]

Číslo odtokové linie : 1

Přípustná ztráta půdy vodní erozí:

Půdy : středně hluboké (30 - 60 cm)

Přípustný smyv 4 [t/ha.rok]

byl překročen !

Úseky			
Délka l [m]	Výška h [m]	Faktor K [-]	Sklon s [%]
60	3	0,44	5,00
118	15	0,44	12,71
103	15	0,44	14,56
189	11,2	0,44	5,93

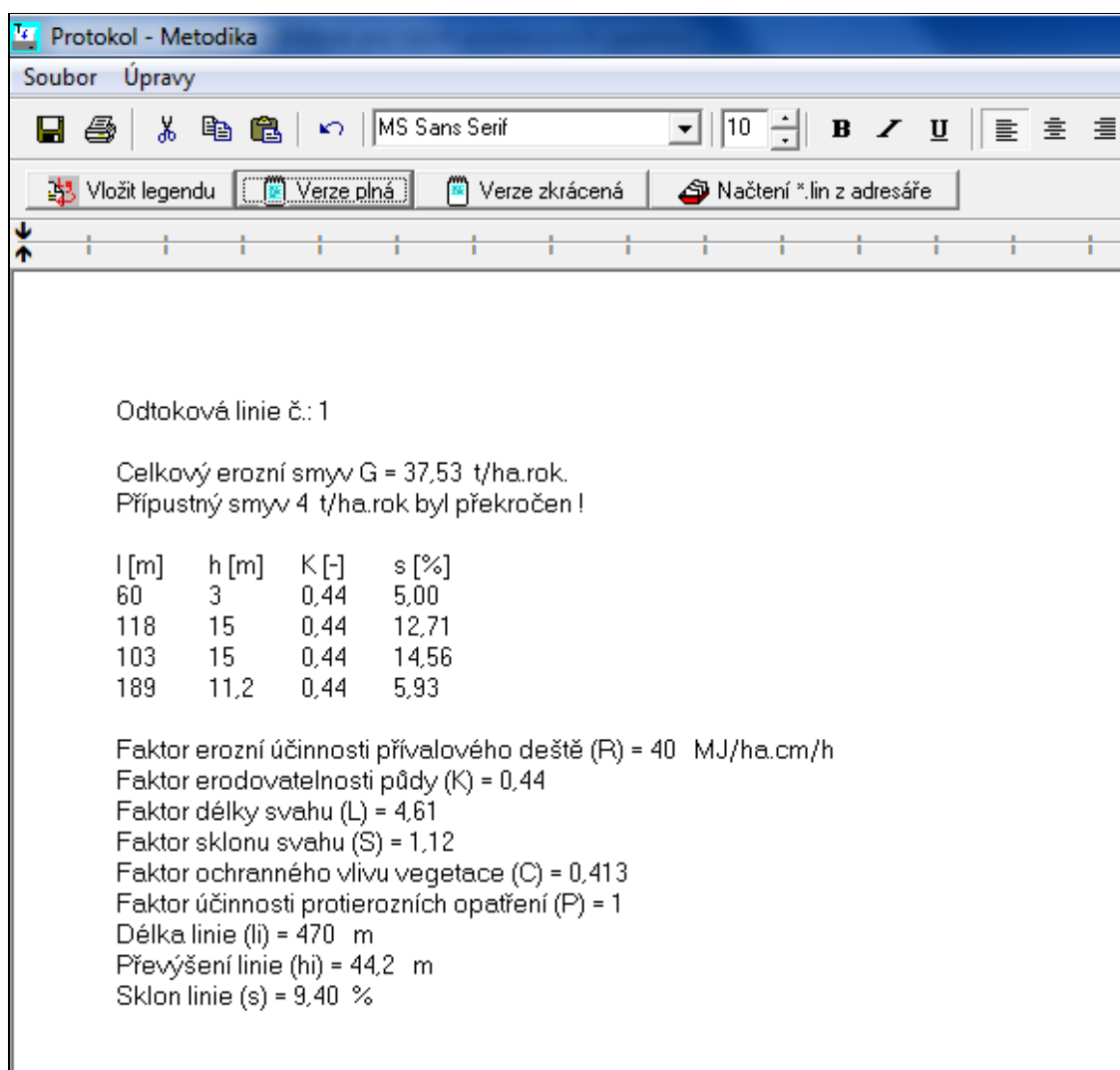
Výpočet erozního smyvu Vynulovat formulář Zadání linie Výpočet linie Uložit

Kontrola zadání Editovat linii Načtení linie Konec

Obr. 3 Prostředí programu ERCN

Po provedení výpočtu je zde možnost uložit linii, která může díky tomu být dále využívána, výsledná hodnota erozního smyvu pro tuto odtokovou linii může být vytisknuta v protokolu.

Pro tisk protokolu slouží záložka Soubor, která se nachází hned na úvodní obrazovce. Po otevření protokolu se nabízí možnost vložení plné, nebo zkrácené verze. Rozdíl mezi plnou verzí (Obr. 4) a zkrácenou verzí protokolu spočívá ve slovním popisu jednotlivých faktorů a veličin z výpočtu. Pokud tedy uživatel zvolí zkrácenou verzi protokolu, doporučila by autorka přiložit do protokolu legendu, která popis faktorů obsahuje. V protokolu lze upravit styl písma, velikost písma, zarovnání textu, vybrat úpravy jako kurzíva, tučný text a podtržení. Celý protokol je možné tisknout nebo ukládat. Pro každou odtokovou linii se tvoří protokol zvlášť.



Obr. 4 Výstup z programu ERCN

4.2.3 SMODERP – Simulační Model Odtoku a Erozního Procesu

„Simulační Model Povrchového Odtoku a Erozního Procesu řeší srážkoodtokové vztahy a erozní procesy na svahu a jeho výstupy lze využít pro návrh prvků protierozní ochrany. Model simuluje plošný povrchový odtok a erozní procesy ze srážky proměnné intenzity v území o velikosti přibližně do 1,0 km². Morfologické, půdní a vegetační poměry území mohou být proměnné“ (storm.fsv.cvut.cz/smoderp/). Výpočet je založen na stanovení základní bilanční rovnice na základě řešení kinematické vlny (Kavka, 2011).

Vstupní data zahrnují informace o navrhovaném dešti, geometrii, půdě, vyšetřovaném svahu a vegetačním pokryvu (Janeček, 2002).

Výstupní data tvoří charakteristiky povrchového odtoku, přípustná délka svahu a ztráta půdy (Janeček, 1999).

SMODERP byl vyvinut pro podmínky ČR na katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství FSV ČVUT v Praze. V roce 1989 byla představena první verze modelu vytvořená pod vedením M. Holého. Program SMODERP lze v současnosti získat ve dvou verzích – starší verzi SMODERP 5.01 z roku 2010 a nejnovější verzi 10.01 (storm.fsv.cvut.cz).

Aktuální verze program SMODERP využívá profilový přístup (1D). Tento přístup je problémový z hlediska charakteristických profilů. Volba těchto profilů je problematická v tom, že nemusí dostatečně odpovídat situaci v území. Proto se v současnosti pracuje na vývoji 2D verze, která bude vhodná především pro morfologicky komplexnější území. Nyní je tato varianta v testovacím režimu (Krása, 2011).

Model SMODERP je průběžně aktualizován na novější verze a s tím souvisejí i některé změny. Verze 10.01 oproti předchozím neumožňuje výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy, došlo v ní k novému určení odtokových parametrů pro kategorie půdních druhů podle Nováka, je možné zadávat různě dlouhé části svahu nezávisle na vrstevnicích a stanovení přerušení svahu se určuje po elementech o velikosti dané charakterem profilu.

Model je odvozen z pohybové rovnice a rovnice kontinuity. Experimentální měření z laboratoře jsou následně testována v terénu a poté dochází k jejich porovnání s výsledky získanými z měření na jiných objektech, popřípadě publikovanými v ČR i zahraničí.

Princip simulace spočívá v definování svahu uživatelem. Uživatel svah rozdělí na homogenní úseky a ty jsou programem rozděleny na stejně dlouhé elementy. Délka elementu závisí na charakteru svahu, který určí uživatel (jednoduchý terén, složitý terén, extrémní svah). Jako další je třeba určit srážku, pro kterou budou stanoveny charakteristiky povrchového odtoku. Lze využít hodnot skutečné srážky nebo návrhové srážky. Použití návrhové srážky se doporučuje pro návrh protierozních opatření nebo prognózy (storm.fsv.cvut.cz/smoderp/).

Pro seznámení s programem je dostupný manuál, kde jsou postupně vysvětleny jednotlivé kroky. I přes tuto pomoc se při používání objevují obtížnější pasáže, které nejsou dostatečně objasněny. Velkou výhodou byly uvedené doporučené hodnoty vstupních údajů, protože ne všechny údaje byly snadno získatelné nebo byly zpoplatněny.

Prvním nedostatkem je hned vstupní obrazovka. Uživatel bez manuálu nemá možnost intuitivně pochopit, kde začít a jaká je posloupnost kroků. Program se dělí na 3 části, které se objevují právě na vstupní ploše: zadávání a úprava vlastností půd a vegetace, vkládání a úprava uživatelské srážky a vlastní výpočet.

4.2.3.1 Úprava vlastností půd a vegetace

Jako první byla v návodu popsána část Úprava vlastností půdy a vegetace. Již zde se vyskytuje první překážka – v záložce Půda program vyžaduje zadání půdního druhu podle Nováka namísto častěji používaného půdního typu. Klasifikace podle Nováka rozlišuje půdní druhy na základě obsahu jednotlivých zrnitostních kategorií (Tab. 5).

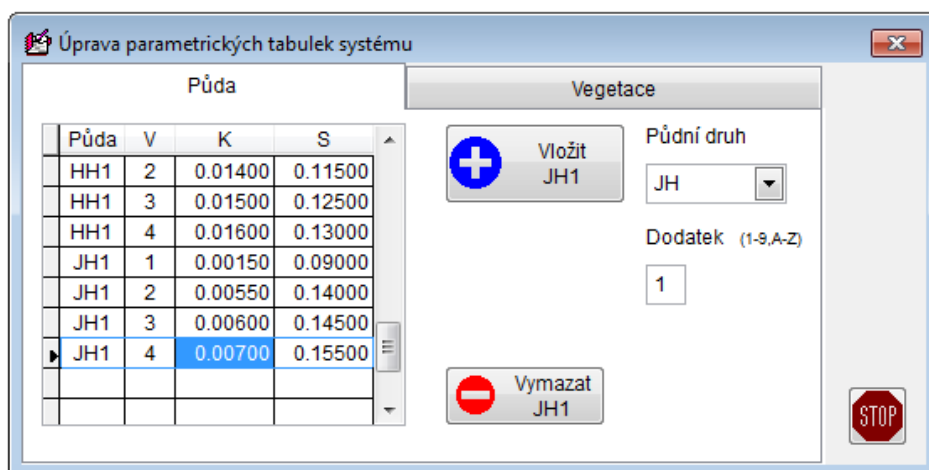
Tab. 6 Zrnitostní klasifikace podle Nováka (Jandák a kol., 2003)

Obsah částic pod 0,01 mm [%]	Označení půdního druhu	Základní půdní druhy
0	písek	lehká půda
0–10	písčítá	
10–20	hlinitopísčítá	
2–030	písčitohlinitá	střední půda
3–045	hlinitá	
4–560	jílovitohlinitá	těžká půda
60–75	jílovitá	
nad 75	jíl	

Mapy, ze kterých lze informaci o půdních druzích získat, poskytuje VÚMOP, v. v. i., v Brně. Jedná se o mapy Skupiny zrnitosti a Generalizované kartogramy zrnitosti, skeletovitosti a zamokření (KZSZ) v měřítku 1:50 000. Obě tyto mapy jsou zpoplatněny. Pracovníkem Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy byla pro stanovení půdního druhu doporučena mapa kartogramu zrnitosti, šterkovitosti a zamokření získanou z KPZP ve formátu shapefile (Příloha 6).

Návod obsahuje informaci o tom, že pro získání orientační hodnoty a plošného rozložení půd je možné využít mapy BPEJ – tato informace je chybná, protože mapy BPEJ umožňují určení půdního typu, a nikoliv půdního druhu.

Po výběru půdního druhu lze zadat identifikátory pomocí Dodatku. Program nabízí zadání číselných hodnot 1 až 9 nebo písmen A až Z (Obr. 5). Dodatek má pomoci rozlišit a specifikovat jednotlivé půdy. Toto rozlišení může sloužit například pro zadání infiltrační vlastnosti. Dodatek není nutné vyplňovat, nemá žádný vliv na výpočet.



Obr. 5 Vlastnosti půd

Fyzikální vlastnosti půdy patří mezi obtížně stanovitelné vstupní podklady a zároveň tyto vlastnosti ve velké míře ovlivní výsledky. Model SMODERP pracuje s Philipovou rovnicí infiltrace, pro kterou jsou základními parametry hodnota nasycené hydraulické vodivosti K [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$] a sorptivita půdy S [$\text{cm}\cdot\text{min}^{0.5}$]. Tyto hodnoty jsou stanoveny pro 4 druhy vegetace (úhor, širokořádkové, úzkořádkové a trávu) a byly uvedeny v návodu programu. Návrhové hodnoty byly aplikovány ve výpočtu, což je vhodné v případě, že přesnější hodnoty nejsou k dispozici nebo by jejich získání bylo příliš náročné (Dostál, 2014). Tím byl dokončen poslední krok v záložce Půda. Následovala záložka Vegetace, kde bylo možné upravit hodnoty listové plochy, intercepce a Manningova součinitele drsnosti (Obr. 6). Program opět obsahoval návrhové hodnoty, které byly ve výpočtu ponechány. Tímto byla vyplněna část Úprava vlastností půd a vegetace, po které následovala část Přidání uživatelské srážky. K ukončení okna slouží ikona STOP.

Kod vegetace	Název	Plocha listová	Intercepce	Manning
1	úhor	0.0000	0.0000	0.0300
2	širokořádková	0.1600	0.1300	0.0350
3	úzkorořádková	0.3000	0.2000	0.0400
4	tráva	1.0000	0.4000	0.1000

Obr. 6 Vlastnosti vegetace

4.2.3.2 Přidání uživatelské srážky

SMODERP patří mezi modely epizodní. Je možné pracovat se srážkami historickými, reálnými (naměřenými srážkoměrem) apod., které mohou být s konstantní nebo časově proměnnou intenzitou. Volba doby opakování vychází ze stupně ochrany území. Pro posouzení erozní ohroženosti se doporučuje volit dobu opakování 2 roky, v případě významných území 5 let. Pro návrh technických prvků protierozní ochrany je doporučená doba opakování 5 let, výjimečně i 10 let. Dobu opakování 10 let je přípustné použít pro lokality, které spadají do pásma hygienické ochrany vodních zdrojů, nebo lokality významné z hlediska ochrany přírody. Vyšší doba opakování není při ochraně půdy v extravilánu ekonomicky zdůvodnitelná. V případě ochrany intravilánu, kdy se jedná o ochranu majetku a osob, je zvolená doba opakování 10 nebo 20 let. V některých případech (např. u významných objektů) je možné použít dobu opakování 50 let (Dostál, 2014).

Jako Oblast srážek je myšleno větší území – např. území státu. Pro zadání konkrétního místa slouží kolonka Stanice. Pro konkrétní stanici lze zadávat srážky s různou dobou opakování. Doba opakování se vepíše do okna N-letost. V programu jsou obsaženy návrhové přívalové srážky s dobou opakování 2, 5, 10 a 20 let. Výběr srážky podle J. Trupla (1958) je v databázi modelu možný pro povodí Labe, Odry a Moravy pro 98 srážkoměrných stanic. Brno spadá do povodí Moravy, a i když je

tabulka vytvořená pro českou část povodí, lze ji použít i pro moravskou část povodí.

Vložení uživatelské srážky

Použít oblast srážky
 Přidat pouze N-letost
 Zcela nová data

Oblast srážky
Česká republika

Stanice
Brno

N-Letost
5

Návrh srážky Kontrola/Oprava Definitivně vložit

STOP

Obr. 7 Zadání uživatelské srážky

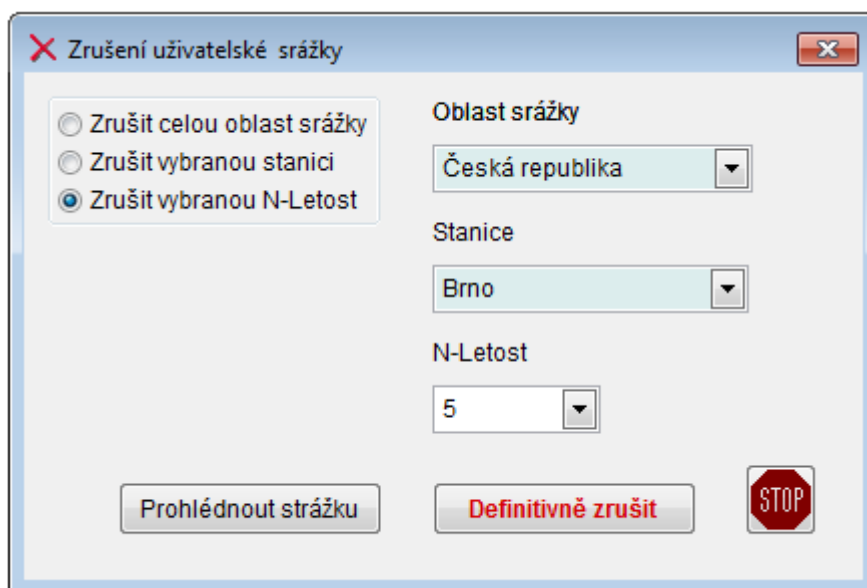
Doba	Úhrn
5	10.10
10	14.60
15	17.40
20	19.40
30	22.10
40	24.00
60	26.40
90	28.60
120	30.90

Obr. 8 Doba a úhrn srážky

Po zadání N-letosti je možné po kliknutí na tlačítko Návrh srážky vyplnit tabulku s dobou a úhrnem srážky (Obr. 7). Po vyplnění prvního řádku se k vyplnění dalšího řádku musí použít šipky dolů na klávesnici. Hodnoty úhrnů (Obr. 8) je potřeba zadávat s použitím tečky jako oddělovače desetinných míst. Po zadání doby trvání srážky se potvrdí zadání stiskem Enter. Po vepsání všech hodnot se tabulka opustí klávesou ESC. Tady při prvním použití může nastat problém, protože v manuálu chybí informace o tom, jak tabulku opustit a jak se pohybovat na další řádky apod. Po stisknutí klávesy

ESC není zřejmé, zda v tabulce zadané hodnoty zůstanou. I tyto detaily by se měly stát součástí manuálu. Správnost srážky je potřeba potvrdit tlačítkem **Kontrola/Oprava** a tlačítkem **Definitivně vložit** je srážka zadána do modulu. Je zde také možnost zadat buď kompletně nová data, nebo pouze k zadané oblasti a stanici přidat N-letost, anebo ponechat pouze oblast a změnit zbytek informací.

To stejné platí pro tabulku mazání údajů, která se nachází v hlavním menu jako **Odebrání uživatelské srážky**: je možné smazat celou oblast nebo jen některé stanice nebo jen některé N-letosti (Obr. 9).



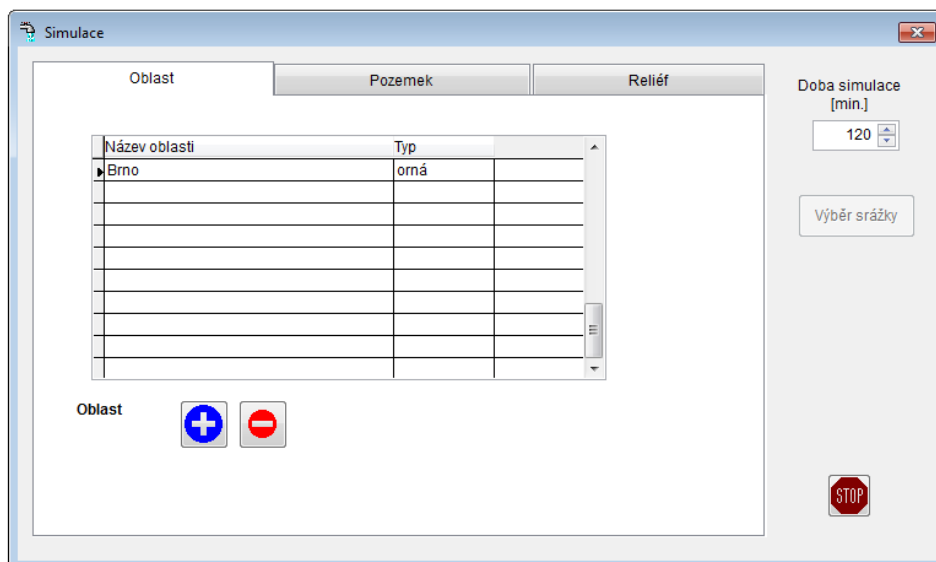
Obr. 9 Odebrání srážky

Poté následuje již poslední krok k získání výsledků.

4.2.3.3 Vytvoření charakteristických profilů a spuštění simulace

Tato tabulka obsahuje 3 záložky: **Oblast**, **Pozemek** a **Reliéf**.

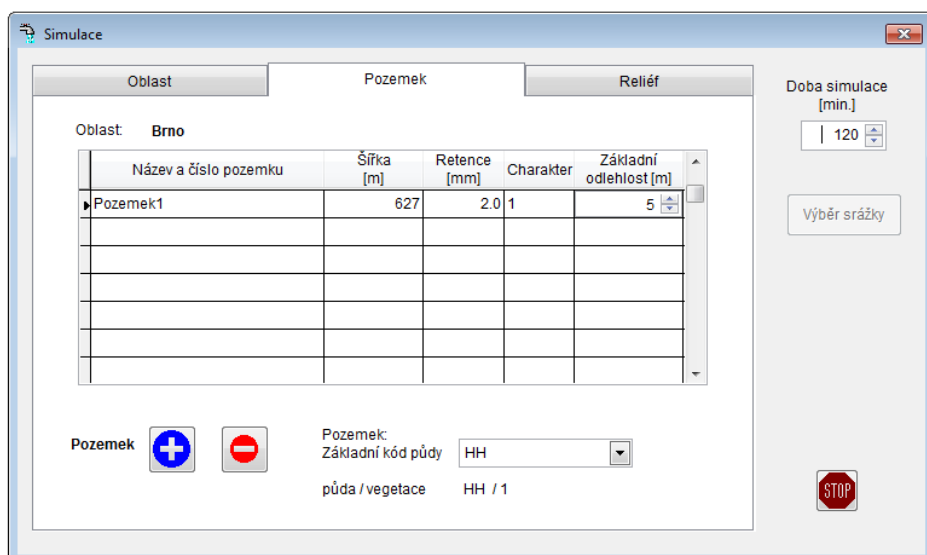
V záložce **Oblast** (Obr. 10) je možné vyplnit název celé oblasti, ve které můžeme řešit několik pozemků. Je zde i sloupec **typ**, o kterém se manuál nezmiňuje, a lze do něj vepsat pouze 4 znaky. Nová oblast se přidává pomocí ikony **+**, pro odebrání slouží ikona **-**. Také je zde možnost zvolit dobu simulace, kterou je možné změnit i na konci před samotným spuštěním simulace.



Obr. 10 Volba oblasti pro simulaci

V záložce Pozemek definujeme charakteristický profil. Jako charakteristický profil v řešeném zájmovém území byla stanovena spádnice s_6 . Vyskytují se zde i spádnice s větší délkou či sklonem, které však nevystihují podmínky na pozemku natolik přesně. Pro získání odtokových linií v GIS lze použít nástroj *Create Steepest Path (3D Analyst Toolbar)*. Pro potřeby této práce autorka zvolila ručně zakreslené odtokové linie.

V záložce Pozemek (Obr. 11) se vyskytuje nepřiliš jasný pojem Šířka – v manuálu nazvána jako náhradní šířka pozemku. V manuálu tento pojem nebyl dále vysvětlen. Autor programu poskytl následující vysvětlení pojmu: pozemek má určitou plochu, ale v modelu je nahrazen profilem. Plocha je tedy do výpočtu celkového průtoku zahrnuta skrze tuto šířku. Hodnota náhradní šířky se získá vydělením plochy pozemku délkou profilu. Dalším údajem je povrchová retence, která má v tomto případě hodnotu 2 mm, což je hodnota stanovená pro urovnaný povrch. Další vlastností je charakter pozemku. V tabulce je zadávána číselně a hodnota je rovna 1 (jednoduchý terén), 2 (složitý terén) nebo 3 (extrémní svahy) podle složitosti morfologie. Nejrozšířenější možností je hodnota 1, pro kterou je běžné používat dostupné podklady o nižší přesnosti, např. ZABAGED. Tato hodnota byla zvolena i v řešeném případě. Základní odlehlost vyjadřuje odlehlost výškových kót na vrstevnicích a je nastavena na hodnotu 5, která odpovídá situaci ve zvoleném mapovém podkladu. Opět je vyžadováno zadání půdního druhu a druhu vegetace nejčastěji se na pozemku vyskytující.

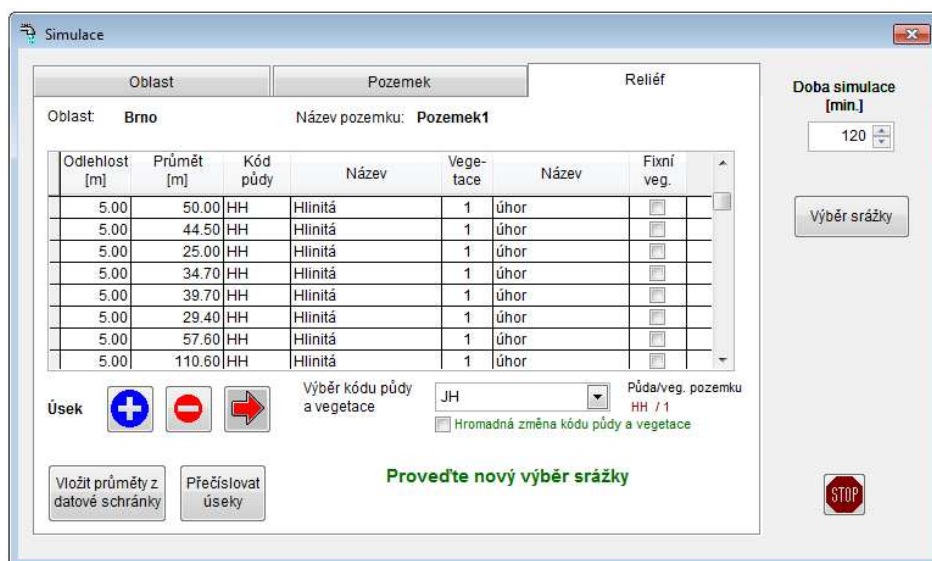


Obr. 11 Parametry pozemku

Tyto informace jsou vstupní hodnotou v další záložce – Reliéf (Obr. 12). Záložka reliéf již slouží přímo pro vytvoření profilu. Profil lze rozdělit na několik úseků, o kterých zadáváme následující informace:

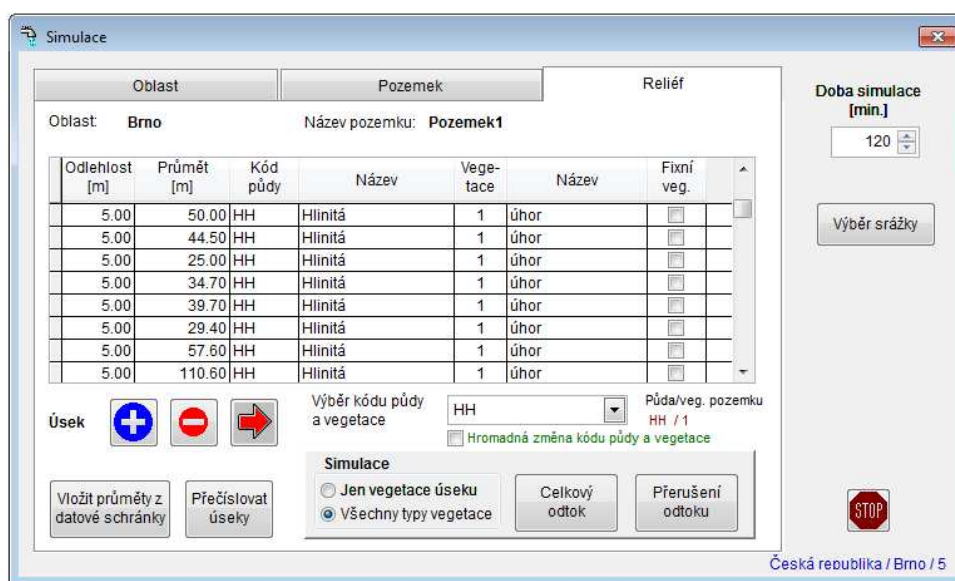
- průmět a výšku (odlehlost) v metrech,
- kód půdy a vegetace (výběr z tabulky).

Průmět se určí změřením vodorovných vzdáleností mezi vrstevnicemi buď ručně na tištěných mapách, nebo použitím funkce *Measure* v digitální mapě v ArcGIS. Možnost zvolit Fixní vegetaci je využitelná při simulaci pro území s pásy TTP.



Obr. 12 Podrobné informace o pozemku

Po vyplnění tabulky uživatel zvolí dobu simulace v minutách a vybere srážku, kterou nadefinoval dříve popsáním způsobem. Pokud jsou tyto kroky dokončeny, změní se vzhled okna a nově se objeví možnosti Simulace (Obr. 13). Vybrat lze druh vegetace, při kterém bude simulace spuštěna (vegetace úseku nebo všechny typy vegetace), a lze zvolit výstup simulace (celkový odtok nebo přerušení odtoku). Pro účely této práce je potřeba získat výsledky simulace při přerušení odtoku, které umožní stanovit přípustnou délku svahu. Výhodou je i možnost získat výsledky pro všechny druhy vegetace.



Obr. 13 Spuštění simulace

Výstupem jsou následující hodnoty: délka úseku přerušení, maximální výška hladiny, maximální průtok, objem odtoku.

4.2.4 Výpočet erozního smyvu v programu ArcMap 10.3.1

4.2.5 USLE2D

V roce 2000 byl na Katolické univerzitě Leuven dokončen autory program USLE2D, který slouží pro výpočet LS faktoru. Autory programu jsou K. Van Oost a G. Govers. V reálném dvourozměrném prostředí nezávisí povrchový odtok a výsledná ztráta půdy nejvíce na délce dráhy odtoku nebo stoupání svahu, ale i na ploše, ze které je odtok soustředěn do počítaného bodu (www.kuleuven.be).

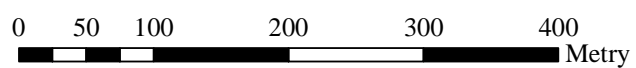
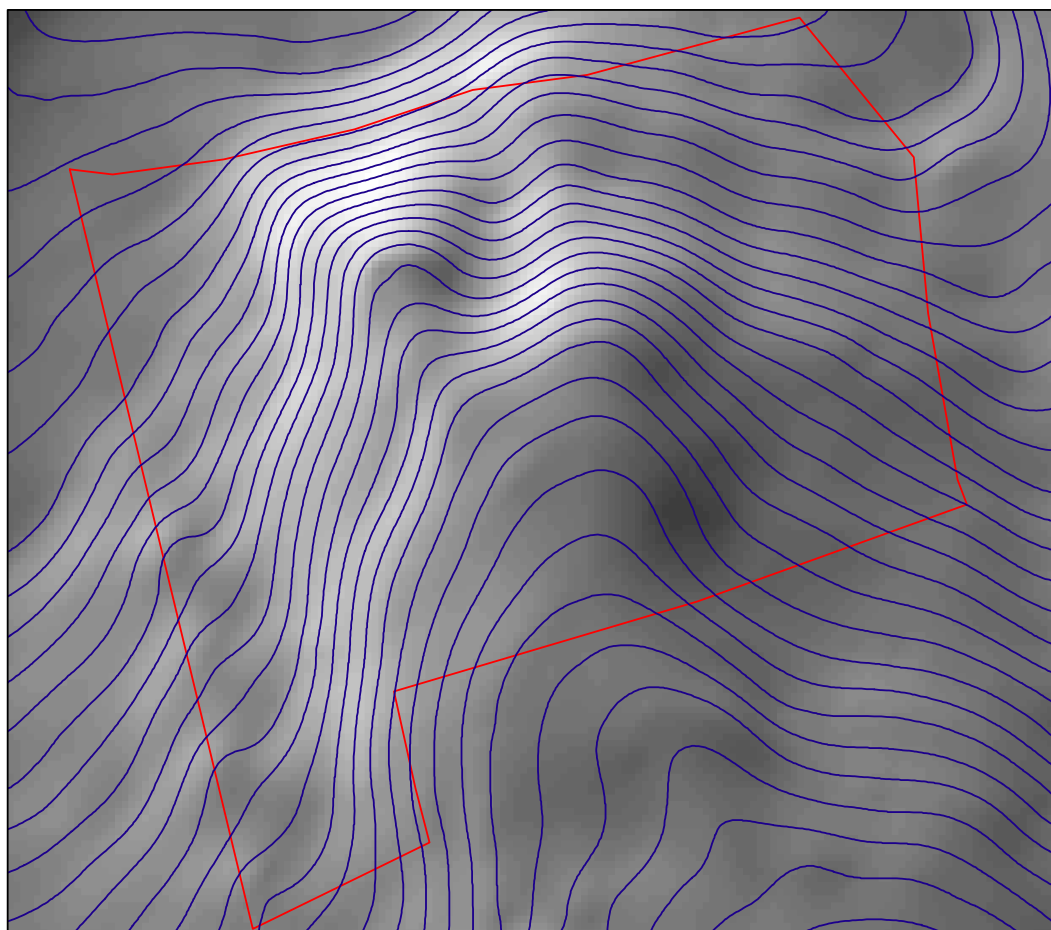
Využití USLE2D při výpočtu faktoru LS faktoru doporučuje při projektování pozemkových úprav Ministerstvo zemědělství v metodickém návodu (eagri.cz).

4.2.6 Postup výpočtu

Pro výpočet erozního smyvu pomocí USLE 2D bylo nutné vytvořit digitální model terénu (DMT). Vrstevnice ze ZABAGEDU v měřítku 1:10 000 poskytl Český úřad zeměměřický a katastrální. Na podkladové mapě byla zakreslena hranice zkoumaného území. Nyní bylo přikročeno k tvorbě digitálního modelu terénu skrze funkci *Topo to Raster* (*Spatial Analyst Tool – Interpolation – Topo to Raster*). Z DMT byly odvozeny vrstevnice pro zahuštění modelu terénu (*3D Analyst Tools – RasterSurface – Contour*). Tento DMT bylo třeba vyhladit, a tím i odstranit drobné nedokonalosti. K tomu slouží funkce *Fill* (*Spatial Analyst Tools – Hydrology – Fill*). Pro lepší znázornění terénních nerovností lze použít funkci *Hillshade* (*Spatial Analyst Tools – Surface – Hillshade*) (Obr. 14). Aby nově vytvářené rastry na sebe navazovaly, provede se přednastavení pomocí funkce *Clip* (*Data Management Tools – Raster – Raster Processing – Clip*). Při výpočtu LS faktoru z nových rastrů je důležité nastavit možnosti v liště *Geoprocessing*. V oblasti *Environments Settings* se zvolí složka pro ukládání nově vznikajících rastrových vrstev a zajistí se, aby nové rastrové vrstvy měly i stejnou velikost buňky a umístění jako vyhlazený model terénu. Toto nastavení je zásadní pro správnou funkci programu USLE 2D. Na základě dat BPEJ, které poskytl VÚMOP, v. v. i., byla vytvořena vrstva faktoru K (Obr. 15). Hodnota faktoru C byla pro celé území stejná a byla použita hodnota získaná při výpočtu USLE. Aby byly vrstvy faktoru C a K v rastrovém tvaru, byla pro jejich vytvoření použita funkce *Feature to Raster* (*Conversion Tools – To Raster – Feature to Raster*).

VYHLAZENÝ DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU

1:4 000



Obr. 14 Vyhlazený digitální model terénu

MAPA K FAKTORU PODLE HRANIC BPEJ





1:4 000

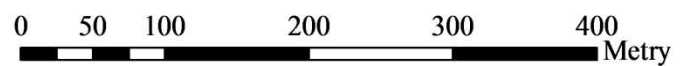


Legenda:

 hranice

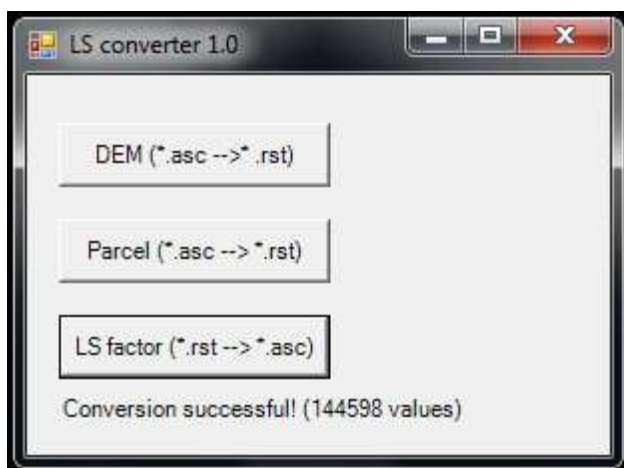
Kfaktor

-  0 - 0,26
-  0,26 - 0,33
-  0,33 - 0,41
-  0,41 - 0,49



Obr. 15 K faktor

Topografický faktor LS byl vypočítán programem LS Converter, který převede vrstvy ve formátu ASCII do formátu Idrisi (.rst), se kterým pracuje model USLE 2D. Bylo tedy potřeba digitální model terénu a ohraničení území převést funkcí *Raster to ASCII (Conversion Tools – From Raster – Raster to ASCII)*. Tyto soubory již mohly být v LS Converteru (Obr. 16) převedeny do textového formátu, se kterým pracuje program USLE 2D.



Obr. 16 Prostředí LS Converter

LS faktor byl v programu USLE 2D vypočítán algoritmem podle Mc Coola s využitím odtokového algoritmu Flux Decomposition (Obr. 17). Tyto parametry byly doporučeny jako vhodná nastavení pro podmínky ČR (Krása, 2004).



Obr. 17 Volba algoritmů

Výstupy byly opět v programu LS Converter převedeny zpět do formátu ASCII (*Conversion Tools – To Raster – ASCII to Raster*), aby mohly být zobrazeny v prostředí GIS. V ArcGIS byla vytvořena rastrová vrstva LS faktoru po použití funkce ASCII to Raster. S využitím nástavby Spatial Analyst bylo možné získat výsledky erozního smyvu. Pro tento výpočet program ArcGIS nabízí možnost využití funkce *Raster*

Calculator (Spatial Analyst Tools – Map Algebra – Raster Calculator), kam se postupně vloží vytvořené rastrové vrstvy C, K, LS a konstantní faktory P (hodnota = 1) a R ($40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$). Dojde k vykreslení erozního smyvu do mapy. Je vhodné toto zobrazení rozklasifikovat na více tříd a zvolit hraniční body (Obr. 18). Pomocí funkce *Zonal Statistics (Spatial Analyst Tools – Zonal – Zonal Statistics)* bylo provedeno zjištění průměrného erozního smyvu, který bylo možné porovnat s výsledkem rovnice USLE.

MAPA EROZNÍHO SMYVU NA ÚZEMÍ









1:4 000

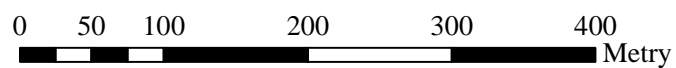


Legenda:

 hranice

erozní smyv (t/ha/rok)

	0 - 1
	1 - 4
	4 - 10
	10 - 20
	20 - 30
	30 - 40
	40 - 50
	50 - 239



Obr. 18 Plošné rozložení erozního smyvu na území

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

V první části kapitoly byly prezentovány výsledky získané výpočtem rovnice USLE. V druhé části byly tyto výsledky porovnány s výstupy z programu SMODERP, ERCN a výpočtem USLE2D s použitím GIS. Obrazové přílohy tvoří mapy zpracované k této problematice v programu ArcGIS.

Pro výpočet eroze byl na rozdíl od běžné praxe zvolen pouze jeden půdní blok. Bylo tak rozhodnuto z důvodu následné potřeby použít stejné území i pro simulaci v programu SMODERP. Program SMODERP umožňuje simulaci pouze na pozemcích o výměře do 100 ha. Zvolený půdní blok má výměru 25,7 ha.

5.1 Výpočet eroze pomocí rovnice USLE

5.1.1 Faktor R

Pro Českou republiku byla stanovena průměrná hodnota faktoru erozní účinnosti deště $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, která byla použita ve výpočtech.

5.1.2 Faktor K

Faktor K se stanovil podle hlavní půdní jednotky (HPJ) získané z kódu BPEJ. Určilo se procentické zastoupení jednotlivých BPEJ na pozemku, kterým se faktor K vynásobil. Ze součtu získaných hodnot a počtu zastoupených BPEJ byl získán vážený průměr faktoru K na půdním bloku (Tab. 7). Podle Tab. 5 se jedná o půdy silně náchylné k erozi.

Tab. 7 Stanovení K faktoru

HPJ	K_{HPJ}	P_{BPEJ} (%)	$K_{HPJ} \times P_{BPEJ}$
8	0,49	62	30,14
1	0,41	24	9,99
7	0,26	7	1,86
41	0,33	7	2,29
	Σ	100,00	44,29

$$\bar{\varnothing} K_{EUC} = \boxed{0,44}$$

5.1.3 Faktor LS

V Tab. 8 jsou uvedeny hodnoty faktorů L a S i jejich součin.

Faktor délky svahu L byl vypočítán z délky jednotlivých odtokových linií a exponentu pomocí vzorce uvedeného v metodice.

Faktor S byl vypočítán pomocí vzorce (1.6) a (1.7). Poté byl faktor S pro všechny spádnice mimo spádnici s_5 určen pomocí rozdělení svahu na 10 částí, pak byly homogenní části vynásobené koeficienty – viz Příloha 3 a 4.

Tab. 8 Stanovení topografického faktoru LS

Spádnice	Délka			Sklon			LS
	l (m)	exponent "m"	L	převýšení (m)	s (%)	S	
1	445	0,52	4,76	44	9,82	1,12	5,33
2	410	0,52	4,56	39	9,39	1,05	4,79
3	435	0,55	5,15	46	10,62	1,09	5,61
4	455	0,52	4,82	44	9,67	0,99	4,77
5	310	0,43	3,11	18	5,81	0,49	1,52
6	470	0,52	4,90	44	9,36	1,17	5,73

5.1.4 Faktor C

Faktor C se stanovuje pro jednotlivé plodiny v osevním postupu během pěti fází stanovených Wischmeierem a Smithem. Bylo tedy nutné zjistit pěstované plodiny na půdním bloku za posledních 5 let a vypracovat osevní postup, pro který byla vypočítána průměrná hodnota faktoru C (Tab. 9). Zvolená oblast náleží do kukuřičné výrobní oblasti, čemuž odpovídá složení plodin. Ne všechny jsou však vhodné k pěstování na lokalitě ohrožené erozí. Průměrná hodnota faktoru C je 0,413.

Tab. 9 Hodnoty faktoru C

Měsíc	% R	hořčice		pšenice oz.		slunečnice		ječmen Δ			řepka		
		obd.č.	C	%R.C	obd.č.	C	%R.C	obd.č.	C	%R.C	obd.č.	C	%R.C
IV.	1	2	0,700	0,450	3	0,450	2	0,900	2	0,375	3	0,450	0,450
								3	0,250				
V.	11	3	0,450	0,080	4	0,080	3	0,700	3	0,250	4	0,040	0,440
								4	0,040	4	0,040	5s	0,125
VI.	22	4	0,080	1,760	4	0,080	4	0,350	4	0,040	1	0,650	14,300
									5s	0,125			
VII.	30	4	0,080	2,400	4	0,040	4	0,350	1	0,650	1	0,650	19,500
									5s	0,125			
VIII.	26	4	0,040	1,040	1	0,700	4	0,350	1	0,325	1	0,650	16,900
		5s	0,125	3,250					2	0,350	2	0,650	5,200
IX.	8	1	0,650	5,200	1	0,700	1	0,700	2	0,350	1	0,650	5,200
									3	0,225	3	0,225	1,300
X.	2	2	0,700	1,400	1	0,700	1	0,700	3	0,225	1	0,650	1,300
									3	0,225			
Celoroční C		0,207		0,332		0,429		0,500			0,595		

Průměrná hodnota C za celý osevni postup:

0,413

5.1.5 Faktor P

Hodnota faktoru P je při nulovém využití protierozních opatření rovna jedné.

5.1.6 Stanovení průměrné dlouhodobé ztráty půdy G

Stanovení průměrné dlouhodobé ztráty půdy proběhlo podle vzorce (1.0) pro odtokovou linii s_6 , která měla nejvyšší hodnotu topografického faktoru LS a nejlépe charakterizovala celý svah.

Výsledky dokazují, že řešená oblast je velmi silně zasažena erozí. Průměrná dlouhodobá ztráta půdy erozí byla $41,65 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ a převyšovala přípustnou ztrátu půdy, která je pro hluboké půdy $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Podle míry převýšení přípustné ztráty půdy byl určen stupeň eroze s hodnotou 4. Celkový smyv půdy je velmi vysoký – 1 070 tun. Bylo by potřeba prosadit provedení protierozních opatření pro zlepšení stávajícího stavu. V území jsou schváleny pozemkové úpravy, a tak se jistě v návrhu s těmito opatřeními počítá. Autorka byla na lokalitě přítomna během suchého období bez srážek, a proto projevy eroze nebyly natolik viditelné – bylo zde pouze několik menších erozních rýh (Příloha 7). Samozřejmě se musí brát v úvahu i skutečnost, že zvolený pozemek má hodnoty eroze výrazně přesahující hodnoty eroze např. povodí, kde díky většímu území dochází k částečné eliminaci vlivu extrémních svahů na výslednou hodnotu faktoru G. Proto ani v diskuzi nebude erozní smyv srovnáván s jinými lokalitami. Navíc výpočet eroze byl spíše prostředkem pro splnění hlavního cíle práce – srovnání různých modelů erozních procesů.

5.2 Výpočet eroze metodou USLE s využitím geoinformačních technologií

V tomto výpočtu byla rovnice USLE řešena v programu ArcGIS. Odlišnou hodnotu oproti manuálnímu výpočtu měl topografický faktor LS, který byl získán za použití modelu USLE2D. Výhodou bylo zobrazení plošného rozložení různých hodnot erozních smyvů na celém území. I průměrná hodnota erozního smyvu byla stanovena pro celé území a nejen pro charakteristickou odtokovou linii. Dlouhodobá průměrná ztráta půdy erozí byla stanovena na $44,24 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ a převyšovala přípustnou ztrátu půdy, která je pro hluboké půdy $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Tato hodnota je jen o $2,59 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ vyšší oproti výsledkům USLE. Celkový smyv je velmi vysoký – 1 137 tun.

5.3 Výpočet eroze pomocí programu SMODERP

Protože nová verze programu SMODERP neumožňuje přímý výpočet eroze, bylo překročeno ke srovnání hodnot přípustné délky svahu vypočítaných pomocí vzorce a vygenerovaných v programu SMODERP.

5.3.1 Stanovení přípustné délky svahu

Přípustná délka svahu vypočítaná dle vzorců (1.8) a (1.9) je délka svahu, která zaručí, že na svahu nedojde vlivem povrchového odtoku ke smyvu většímu, než je přípustná ztráta půdy G_p . V tomto případě byla tato délka 10,4 m. Tato šířka není podle autorčina názoru vhodná pro aplikaci v praxi. Kypřiče, stroje pro předseťovou úpravu a další zemědělská technika může mít rozměry přibližně 2,5–8 m. To by znamenalo obtížnost při pojezdu po poli a pravděpodobně i zvýšení nákladů na produkci (např. kvůli vyšší spotřebě paliva).

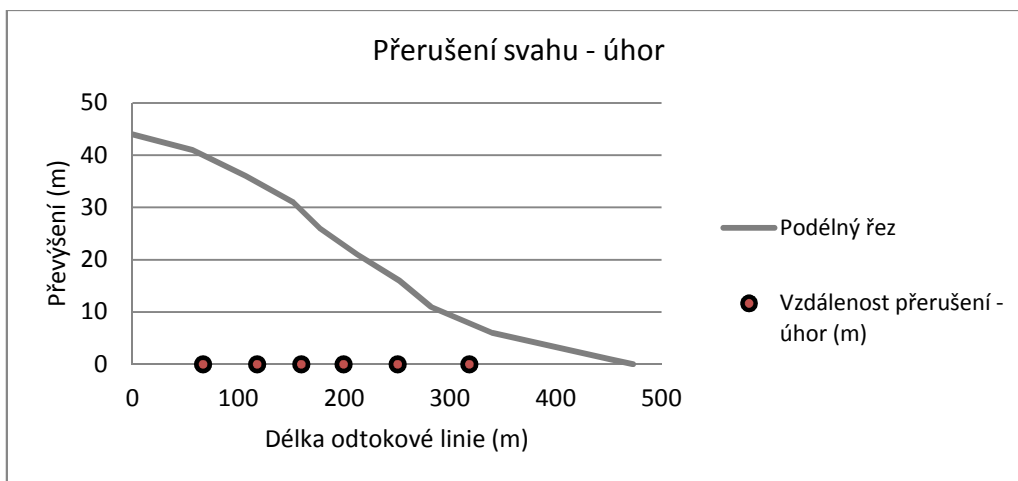
$$L_p = \frac{4}{40.0,44.1,17.0,413.1} = \frac{4}{8,5} = 0,47$$
$$l_p = 22,13.0,47 = 10,4 \text{ m}$$

5.3.2 Výstupy programu SMODERP

Výstupem z programu SMODERP je soubor ve formátu .xls, který obsahuje tabulku rekapitulace svahu včetně grafu, jenž znázorňuje podélný profil včetně míst přerušení svahu při použití 4 typů vegetace. Dále obsahuje pro každý typ vegetace tabulku s podrobnými výsledky. Souhrnný graf přerušení délky svahu pro všechny typy vegetace byl použit pro vytvoření 3 grafů, které jsou přehlednější. Grafy byly vytvořeny pouze pro následující 3 typy vegetace: úhor, širokořádkové a úzkořádkové plodiny. Pro travní porost nebylo nezbytné výstup vytvářet, protože při výskytu travního porostu na území by došlo k takovému snížení odtoku, že by profil nebyl erozně ohrožený.

5.3.2.1 Podrobné výsledky – úhor

Pro pozemek s výskytem úhoru program navrhuje rozdělení svahu na 6 místech – tzn. rozdělení pozemku na 7 částí (Obr. 19). Podrobné výsledky, které byly výstupem simulace, obsahuje Tab. 10.



Obr. 19 Graf znázorňující podélný řez a přerušení svahu pro úhor

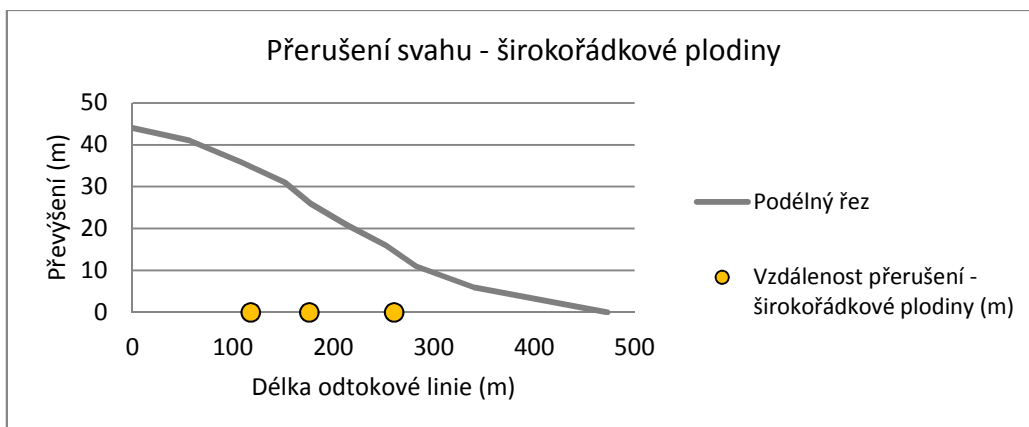
Tab. 10 Podrobné výsledky simulace pro úhor

Podrobné výsledky – úhor				
Vzdálenost od počátku	Vzdálenost přerušení	Maximální výška hladiny	Max. průtok	Celkový odtok
[m]	[m]	[mm]	[l/s]	[l]
67	67	6,6	1 139,2	702914
118	51	5,2	791,8	393678
160	42	4,6	881,5	221398
199	40	4,5	707,2	308351
251	51	4,9	762,4	351555
319	68	6,4	1 003,0	509024

Vzdálenost od počátku vyjadřuje vzdálenost jednotlivých přerušení od počátku svahu. Vzdálenost přerušení vyjadřuje vzdálenost mezi jednotlivými přerušeními.

5.3.2.2 Podrobné výsledky – širokořádkové plodiny

Pro pozemek, v případě že by byly pěstovány širokořádkové plodiny, bylo navrženo přerušení svahu na třech místech (Obr. 20) – tedy rozdělení pozemku na 4 úseky. Podrobné výsledky obsahuje Tab. 11.



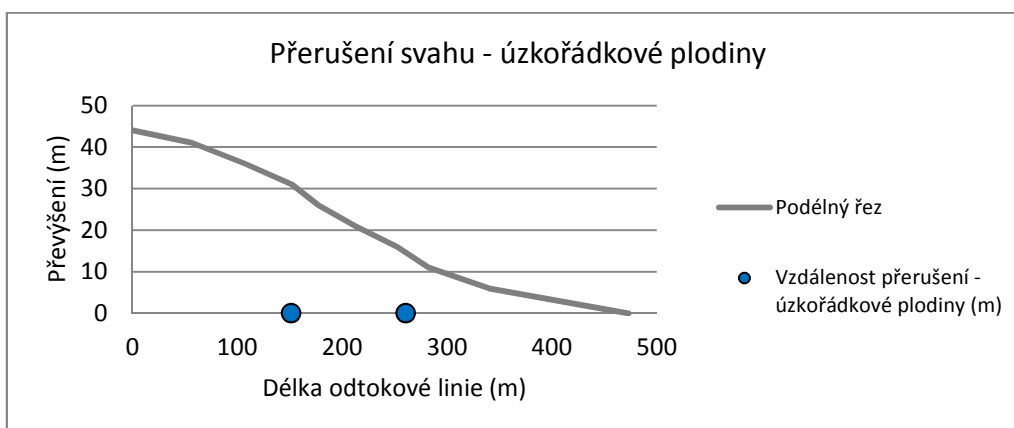
Obr. 20 Graf znázorňující podélný řez a přerušeni svahu pro širokořádkové plodiny

Tab. 11 Podrobné výsledky simulace pro širokořádkové plodiny

Podrobné výsledky – širokořádkové				
Vzdálenost od počátku	Vzdálenost přerušeni	Maximální výška hladiny	Max. průtok	Celkový odtok
[m]	[m]	[mm]	[l/s]	[l]
118	118	6,7	1 069,1	928643
176	58	4,4	691,8	315493
261	84	5,9	1 066,7	516328

5.3.2.3 Podrobné výsledky – úzkořádkové plodiny

Při pěstování úzkořádkových plodin na pozemku by dostačovalo rozdělení svahu ve dvou místech a došlo by ke vzniku tří oddělených úseků (Obr. 21). Podrobné výsledky simulace uvádí Tab. 12.



Obr. 21 Graf znázorňující podélný řez a přerušeni svahu pro úzkořádkové plodiny

Tab. 12 Podrobné výsledky simulace pro úzkořádkové plodiny

Podrobné výsledky – úzkořádkové				
Vzdálenost od počátku	Vzdálenost přerušení	Maximální výška hladiny	Max. průtok	Celkový odtok
[m]	[m]	[mm]	[l/s]	[l]
151	151	7,9	1 226,1	1096460
261	109	6,9	1 209,1	687460

5.4 Porovnání výsledků

5.4.1 Výsledky výpočtu USLE a modelů založených na rovnici USLE

V Tab. 13 jsou porovnány výsledky – první řádek obsahuje hodnoty získané klasickým výpočtem USLE, druhý řádek obsahuje hodnoty USLE vypočítané v programu ERCN a třetí řádek obsahuje hodnoty získané výpočtem USLE s využitím GIS, LS Converter a USLE2D.

Tab. 13 Výsledky erozního smyvu z jednotlivých výpočtů

Metoda	Výměra (ha)	R	K	LS	C	P	G	G _p	Stupeň eroze	Eroze celkem (t)
							(t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	(t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)		
USLE	25,7	40,0	0,44	5,73	0,413	1	41,65	4	4	1070,41
ERCN	25,7	40,0	0,44	5,16	0,413	1	37,53	4	4	962,95
USLE2D	25,7	40,0			0,413	1	44,24	4	4	1136,97

5.4.1.1 Komentář k výsledkům získaným z programu ERCN

Protože jsou do programu zadávána čísla získaná z výpočtu USLE prvním způsobem, předpokládala autorka naprostou shodu výsledků u obou výpočtů. Podle Tab. 9 však lze vidět, že hodnoty L a S byly programem vypočítány rozdílně. Je možné, že tato odchylka nastala kvůli odlišnému způsobu stanovení faktoru L a S. Mohlo to být způsobeno tím, že program je přizpůsobený hodnotám používaným ve starší metodice. Konečný výsledek to sice ovlivnilo, ale nijak výrazně, a proto tento program autorka hodnotí kladně. Výpočet v ERCN je rychlý, pokud jsou známé potřebné hodnoty, které jsou snadno dostupné. Byl by užitečný především ve fázi, kdy uživatel potřebuje co nejrychlejším způsobem zjistit, nakolik navržená protierozní opatření sníží erozní smyv. Výsledky programu ERCN jsou nižší než výsledky získané

s použitím USLE2D v programu ArcGIS – rozdíl činí $6,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Podobnou tendenci potvrzuje ve své bakalářské práci i Plešek (2014). V jeho případě byl rozdíl obou hodnot v průměru $6,15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$.

5.4.1.2 Komentář k výsledkům získaným s využitím GIS

Výsledky se příliš neliší od výsledků manuálního výpočtu, což je způsobeno jiným způsobem výpočtu topografického faktoru LS. Celkově lze tuto metodu hodnotit jako středně náročnou na schopnosti uživatele, vstupní data a hardwarové vybavení. Velkou výhodou je možnost přehledně prezentovat hodnoty jednotlivých faktorů na pozemku. V Tab. 13 chybí hodnoty faktoru K a LS, protože tyto hodnoty nebyly stanovené jako průměr, a v různých částech pozemku se proto lišily. Průměrná hodnota faktoru K by byla téměř totožná s hodnotou 0,44, protože pro její stanovení byly použity stejné mapové podklady. Jediným rozdílem pak byl odhad procentuálního zastoupení jednotlivých kódů BPEJ na území při manuálním výpočtu rovnice USLE. V programu ArcGIS budou tedy hodnoty K faktoru přesnější, protože nebyl použit aritmetický průměr, ale přesné hodnoty. K podobným výsledkům se přiklání i bakalářská práce Matouška (2012), který také při srovnání výsledků manuálního výpočtu USLE a USLE2D pomocí GIS zaznamenal vyšší hodnotu získanou prostřednictvím USLE2D. V jeho práci jde však o výrazný rozdíl mezi výsledky. Je ovšem možné, že je to způsobeno větší plochou zájmového území, a tedy zvýšeným rizikem nepřesnosti vstupních dat. Téměř shodné výsledky obou metod popisuje ve své diplomové práci Baran (2013). Zjištěné hodnoty se v jeho případě lišily pouze o $0,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Podle Dufkové a Tomana (in Rožnovský a kol., 2014) lze metody USLE a USLE2D považovat za vzájemně nahraditelné. Procentuální rozdíl hodnot smyvu půdy činil v průměru 0,5 %.

5.4.2 Přípustná délka svahu podle USLE a modelu SMODERP

Z výpočtu přípustné délky svahu podle vzorce 1.8 byl získán výsledek 10,4 metru. Přípustná délka signalizuje změnu plošné eroze v erozi rýhovou, a tím nutnost přerušit dráhu povrchového odtoku v této vzdálenosti. Tato hodnota je velice nízká a pokus o snížení délky nepřerušeného svahu stanovenou délkou by vedl k problémům s obhospodařováním území. Proto hodnoty získané simulací v programu SMODERP lépe odpovídají možnostem při reálné aplikaci protierozního opatření ke snížení

erozního smyvu. Hodnota přípustné délky svahu model SMODERP stanovuje na základě hodnoty krajního nevymílacího tečného napětí a hodnoty krajní nevymílací rychlosti povrchového odtoku. Bohužel modelu SMODERP není věnováno tolik pozornosti jako ostatním metodám, a proto autorka nemohla uvést srovnání s jinými pracemi.

6 ZÁVĚR

Tato práce se zabývala tématem stanovení eroze pomocí modelů erozních procesů. Na základě výsledků a zkušeností s aplikací lze doporučit využití modelu USLE2D v prostředí GIS pro výpočet eroze. Tato metoda se jeví jako přiměřeně náročná jak na schopnosti uživatele, tak na získání vstupních dat. Není časově náročná a umožňuje zpracování kvalitní prezentace výsledků ve formě dat. Do budoucna by tato metoda mohla nahradit manuální výpočet rovnice USLE.

Program ERCN lze doporučit, pokud si uživatel bude vědom toho, že je nutné respektovat novou metodiku namísto hodnot, které nabízí program. Tato metoda je rychlá a jednoduchá, avšak výsledky se liší více, než je tomu u USLE2D. Výše uvedené programy spadají do skupiny empirických modelů.

Model SMODERP patří mezi fyzikálně založené modely a forma výstupů je odlišná – výsledkem není dlouhodobá průměrná ztráta půdy erozí. Vstupní data se získávají obtížněji a jsou požadována jiná data než u výpočtů založených na rovnici USLE. Tento program vznikl v podmínkách České republiky, a proto by si zasloužil být používán více než doposud. V současnosti je v testování prototyp 2D verze tohoto simulačního modelu. Drobným nedostatkem je manuál k programu, který by mohl být více podrobný – autorka by doporučila metodiku Dostál (2014), kde jsou některé informace k používání modelu objasněny lépe. Tento model je dobře využitelný pro návrh protierozních opatření – zejména technických.

Závěrem je důležité zdůraznit, že kvalita výstupů je vždy závislá na kvalitě vstupních dat. Dalším, často opomíjeným, faktem je nutnost nenechat se ovlivnit velice dobrou formou prezentace výstupů – mapové podklady mají vysokou přesvědčovací schopnost, ale vždy je potřeba jejich správnost zhodnotit komplexně, právě i z důvodů různé kvality vstupních dat.

7 POUŽITÉ ZDROJE

7.1 Literatura

- BARAN J., 2013: *Zhodnocení vodní eroze na zemědělské půdě v katastrálním území. Kunovice*. Olomouc. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra ekologie a životního prostředí. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Bořivoj Šarapatka, CSc.
- BECKER A., SERBAN P., 1990: *Hydrological Models for Water Resources System Design and Operation*, WMO Report. 80 s.
- CULEK M., 2005: *Biogeografické členění České republiky*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 589 s. ISBN 80-86064-82-4.
- DOSTÁL T. a kol., 2006: *Czech Republic*. In: BOARDMAN J. (ed.), POESEN J. (ed.): *Soil erosion in Europe*. Chichester, England: Wiley. ISBN 978-0-470-85910-0.
- DOSTÁL T., 2014: *Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO: metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN 978-80-87361-30-6.
- DUFKOVÁ J., TOMAN F., 2014: *Degradace půdy erozí v podmínkách jižní Moravy*. In: ROŽNOVSKÝ J., LITSCHMANN T., STŘEDA T., STŘEDOVÁ H., (eds.): *Extrémy oběhu vody v krajině*. Mikulov. 2014. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu. ISBN 978-80-87577-29-5.
- DVOŘÁK J., NOVÁK L., 1994: *Soil conservation and silviculture*. Amsterdam: Elsevier, 399 s. ISBN 0-444-98792-4.
- DÝROVÁ E., 1984: *Ochrana a organizace povodí: návody ke komplexnímu projektu a diplomnímu semináři: určeno pro posl. fak. stavební*. 4. vyd. Praha: SNTL.
- HOLÝ M., 1978: *Protierozní ochrana*. Praha: SNTL.
- HOLÝ M., 1994: *Eroze a životní prostředí*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 80-01-01078-3.

JANDÁK J., 2003: *Cvičení z půdoznalství*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, ISBN 80-7157-733-2.

JANEČEK, M. a kol., 1992: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ÚVTIZ.

JANEČEK M., 1999: *Nové směry v protierozní ochraně půdy: New trends in soil erosion control: (studijní zpráva)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 55 s. ISBN 80-86153-93-2.

JANEČEK M., 2002: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 201 s. ISBN 80-85866-86-2.

JANEČEK M., 2005: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 2. vyd. Praha: ISV. Přírodní vědy. ISBN 80-86642-38-0.

JANEČEK M., KUBÁTOVÁ E., TIPPL M., 2006: *Revised determination of the rainfall-runoff erosivity factor R for application of USLE in the Czech Republic*. In: *Soil & Water Res. 1*, s. 65–71.

JANEČEK M. a kol., 2007: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: VÚMOP, v. v. i., 76 s. ISBN 978-80-254-0973-2.

JANEČEK M., 2008: *Základy erodologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 165 s. ISBN 978-80-213-1842-7.

JANEČEK M., 2012: *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: Powerprint, 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.

JAKRLOVÁ J., 1999: *Ekologický slovník terminologický a výkladový*. Praha: Fortuna, 144 s. ISBN 80-7168-644-1.

KAVKA P., 2011: *Kalibrace a validace modelu SMODERP*. Praha. Doktorská práce. ČVUT – České vysoké učení technické.

KAVKA P., 2012: *Využití modelu SMODERP pro navrhování TPEO*. In: *Voda a krajina 2012*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012, s. 127-134. ISBN 978-80-01-05107-8.

- KLIMENT Z., LANGHAMMER J., 2005: *Modelování erozního ohrožení ve velkých územních celcích*. In: *Geomorfologický sborník 4*, s. 75–81. Katedra geografie ZČU v Plzni a Česká asociace geomorfologů.
- KNOZOVÁ G., 2013: *Charakteristika přívalových srážek ve vybraných lokalitách na jižní Moravě v období 2003–2013*. Brno: Český hydrometeorologický úřad.
- KOVÁŘ P., VAŠŠOVÁ D., HRABALÍKOVÁ M., 2011: *Mitigation of Surface Runoff and Erosion Impacts on Catchment by Stone Hedgerows*. In: *Soil and Water Research 6/4*, 2011, s. 153–164. ISSN: 1801-5395.
- KRÁSA J., 2004: *Hodnocení erozních procesů ve velkých povodích za podpory GIS*. Praha. Doktorská práce. ČVUT – České vysoké učení technické v Praze, fakulta stavební.
- KRÁSA J., 2010: *Empirické modely vodní eroze v ČR – nástroje, data, možnosti a rizika výpočtů*. Praha. Habilitační práce. ČVUT – České vysoké učení technické v Praze, fakulta stavební, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství.
- KRÁSA J., 2011: *Geoinformatika versus vodohospodářství a krajinné inženýrství*. Praha: České vysoké učení technické. Habilitační přednášky. ISBN 978-80-01-04799-6.
- KRÁSA J., 2013: *Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební. ISBN 978-80-01-05428-4.
- KRÁSA J. a kol., 2014: *Rainfall erosivity research on the territory of the Czech Republic*. In: ROŽNOVSKÝ J., LITSCHMANN T. (eds.): *Mendel a bioklimatologie*. Brno. 2014. ISBN 978-80-210-6983-1.
- KVÍTEK T., TIPPL M.: *Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISBN 80-7271-140-7.
- MATOUŠEK P., 2012: *Aplikace a porovnání standardních a GIS metod pro kvantifikaci erozního smyvu v povodí*. Brno. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

NOVOTNÝ I. a kol., 2014: *Příručka ochrany proti vodní erozi (aktualizované vydání – leden 2014)*. 2. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství, 73 s. ISBN 978-80-87361-33-7.

PASÁK V., VELEBIL M., 1984: *Ochrana půdy před erozí*. Praha: SZN.

PLASTER E. J., 2014: *Soil science & management*. 6. vyd. Clifton Park: Delmar Cengage Learning, 520 s. ISBN 978-0-8400-2438-1.

PLEŠEK M., 2014: *Porovnání metod pro výpočet erozního smyvu v povodí*. Brno. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

PODHRÁZSKÁ J., DUFKOVÁ J., 2005: *Protierozní ochrana půdy*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 95 s. ISBN 80-7157-856-8.

PODHRÁZSKÁ J., 2014: *Degradace půdy erozí v podmínkách jižní Moravy*. In: ROŽNOVSKÝ J., LITSCHMANN T., STŘEDA T., STŘEDOVÁ H., (eds.): *Extrémy oběhu vody v krajině*. Mikulov. 2014. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu. ISBN 978-80-87577-29-5.

PODHRÁZSKÁ J., KARÁSEK P., 2014: *Systém analýzy území a návrhu opatření k ochraně půdy a vody v krajině: podklad pro územní plánování a pozemkové úpravy: [metodický návod]*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, oddělení pozemkové úpravy a využití krajiny. ISBN 978-80-87361-27-6.

RENARD K. G. a kol., 1997: *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agr. Handbook 703, USDA-ARS.

SINGH V. P., PRASAD S. N., 1982: *Explicit solution to kinematic equations for erosion on an infiltrating plane*. In: SINGH V. P. (ed.): *Modeling Components of Hydrologic Cycle*. Water Resources Research, Littleton, CO. 515-538.

SINGH V. P. (ed.), 1995: *Computer models of watershed hydrology*. Colorado: Water resources publications.

SMRČEK L., 2011: *Eroze půdy a protierozní ochrana půdy: sborník ze semináře*. Praha: Institut vzdělávání v zemědělství, 53 s. ISBN 978-80-87262-11-5.

SPIRHANZL-DURIŠ J., 1952: *Eroze půdy a ochrana proti ní*. Praha: Přírodovědecké nakladatelství, 189 s.

ŠARAPATKA B., BEDRNA Z., DLAPA P., 2002: *Kvalita a degradace půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého, 246 s. ISBN 80-244-0584-9.

ŠARAPATKA B., 2014: *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 232 s. ISBN 978-80-244-3736-1.

ŠVEHLÍK R., 1996: *Větrná eroze na jižní Moravě*. Uh. Brod, 108 s.

TIPPL M., JANEČEK M., BOHUSLÁVEK J., 2009: *Organické hnojení půdy a jeho vliv na povrchový odtok a erozi*. *Agritech Science* [online], roč. 3, č. 2, článek 8, s. 1–5. Dostupný z WWW: <www.agritech.cz>. ISSN 1802-8942.

TOLASZ R. a kol., 2007: *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

TOMAN F., 1996: *Protierozní ochrana půdy: cvičení*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 73 s. ISBN 80-7157-220-9.

TOMAN F., 2000: *Využití zemědělského půdního fondu v oblasti jižní Moravy z hlediska jeho ohrožení vodní erozí*. Brno: MZLU.

TRUPL J., 1958: *Intenzity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy*. Praha. Práce a studie č. 97. VÚV Praha.

VÁŠKA J., VRÁNA K., DOSTÁL T., 2000: *Protierozní ochrana*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 13 s.

VOPRAVIL J. a kol., 2013: *Studie zabývající se základní problematikou eroze půdy a jejím současným stavem v Ústeckém a Jihomoravském kraji České republiky*. Praha: SOWAC, s. r. o.

WISCHMEIER W. H., SMITH D. D., 1978: *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning*. Washington: USDA Agr. Handbook No. 537.

ZACHAR D., 1982: *Soil Erosion*. Amsterdam: Elsevier, 547 s. ISBN 0-444-99725-3.

ZDRAŽIL K., 1965: *Ekonomické hodnocení protierozní ochrany*. Praha: ÚVTI MZLVH.

7.2 Internetové zdroje

GEOPORTÁL SOWAC-GIS, 2015: *Vodní eroze*. Databáze online [cit. 24. 2. 2015].

Dostupné na: <http://geoportal.vumop.cz/index.php?projekt=vodni>

GIS Brno: *Ochrana přírody*. Databáze online [cit. 10.12.2015]. Dostupné na:

<http://gis.brno.cz/public/ozp/vkp/vkp42.htm>

United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service: *USLE history*.

Databáze online [cit. 26.3.2015]. Dostupné na:

<http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18093>

ČVUT Katedra hydromeliorací: *SMODERP*. Databáze online [cit. 26.3.2016]. Dostupné

na: <http://storm.fsv.cvut.cz/cinnost-katedry/volne-stazitelne-vysledky/smoderp/historie-modelu/>

Ministerstvo zemědělství (eAgri): *Metodický návod k provádění pozemkových úprav*.

Databáze online [cit. 10.4.2015]. Dostupné na:

http://eagri.cz/public/web/file/49495/metodika_text_pro_web_po_revizi_aktualiz_20_4_2012.pdf

Českomoravská komora pro pozemkové úpravy: *Kavka – Nástroje a modely*. Databáze

online [cit. 14.4.2015]. Dostupné na:

http://www.cmkpu.cz/upload/files/Kavka_N%C3%A1stroje%20a%20modely.pdf.

Vodní eroze: *Příčiny vodní eroze*. Databáze online [cit. 10.4.2016]. Dostupné na:

<http://eroze.sweb.cz/priciny.htm>

Katholieke Universiteit Leuven: *USLE2D Introduction*. Databáze online [cit. 3.1.2016].

Dostupné na: <http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/usle2dhome/>

Portál vlisni.cz: *Osada Kandie*. Databáze online [cit. 9.11.2015]. Dostupné na:

<http://www.vlisni.cz/osada-kandie>

Úřad městské části Brno Líšeň: *Odbor územního rozvoje a výstavby*. Databáze online [cit. 10.12.2015]. Dostupné na: www.brno-lisen.cz/zmc33-12/f5364

Mapy.cz: *Zeměpisná mapa*. Databáze online [cit. 4.3.2015]. Dostupné na: <https://mapy.cz/zemepisna?x=16.7041811&y=49.1928428&z=16>

Národní geoportál INSPIRE: *Půdní mapa 1:250 000*. Databáze online [cit. 6.5.2015]. Dostupné na: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>

Česká geologická služba: *Geologická mapa 1:50 000*. Databáze online [cit. 25.4.2015]. Dostupné na: http://mapy.geology.cz/geocr_50/

Hydroekologický informační systém VÚV TGM: *Mapa Vodní hospodářství a ochrana vod*. Databáze online [cit. 19.4.2015]. Dostupné na: http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=isvs_rchu&TMPL=AJAX_MAIN&IFRAME=1&LEGEND_HIDE=0&QUERY_SELECTION=1&FULLTEXT_CHECKED=1#

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR: *MapoMat 0.2.52*. Databáze online [cit. 15.4.2015]. Dostupné na: <http://mapy.nature.cz/>

Mikroregion Roketnice: *Podolí*. Databáze online [cit. 12.4.2015]. Dostupné na: <http://www.roketnice.cz/obce-mikroregionu-1/podoli/>

ČÚZK: *Nahlížení do katastru nemovitostí*. Databáze online [cit. 20.4.2015]. Dostupné na: <http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=612405&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>

ARCDATA PRAHA: *Dodávaný software*. Databáze online [cit. 23.4.2015]. Dostupné na: <http://old.arcdata.cz/o-spolecnosti/dodavany-software/>

ARCDATA PRAHA: *ArcGIS 10.4*. Databáze online [cit. 1.5.2015]. Dostupné na: <https://www.arcdata.cz/zpravy-a-akce/aktuality/clanek/arcgis-10-4>

Intergraph: *History*. Databáze online [cit. 3.5.2015]. Dostupné na: http://www.intergraph.com/about_us/history.aspx?country=cz

Bentley: *About Bentley*. Databáze online [8.8.2015]. Dostupné na: <https://www.bentley.com/>

GISOFT: *MicroStation*. Databáze online [16.7.2015]. Dostupné na: <http://www.gisoft.cz/MicroStation/MicroStation>

8 SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

8.1 Seznam tabulek

Tab. 1 Kategorie erozní ohroženosti pro Jihomoravský kraj (Vopravil a kol., 2013)....	15
Tab. 2 Modelování erozních procesů podle prostorového měřítka (Kliment a Langhammer, 2005).....	17
Tab. 3 Charakteristika teplé oblasti T2 (Tolasz a kol., 2007).....	24
Tab. 4 Přehled výsledků stanovení faktoru R na území České republiky (Krása a kol. in Rožnovský a Litschmann, 2014)	30
Tab. 5 Kategorie náchylnosti k vodní erozi podle K faktoru (geoportal.vumop.cz)	31
Tab. 6 Zrnitostní klasifikace podle Nováka (Jandák a kol., 2003)	42
Tab. 7 Stanovení K faktoru.....	56
Tab. 8 Stanovení topografického faktoru LS.....	57
Tab. 9 Hodnoty faktoru C	58
Tab. 10 Podrobné výsledky simulace pro úhor.....	61
Tab. 11 Podrobné výsledky simulace pro širokořádkové plodiny	62
Tab. 12 Podrobné výsledky simulace pro úzkořádkové plodiny	63
Tab. 13 Výsledky erozního smyvu z jednotlivých výpočtů.....	63

8.2 Seznam obrázků

Obr. 1 Poloha zvoleného území vzhledem k okolním obcím.....	27
Obr. 2 Odtokové linie na půdním bloku	34
Obr. 3 Prostředí programu ERCN.....	39
Obr. 4 Výstup z programu ERCN.....	40
Obr. 5 Vlastnosti půd	43
Obr. 6 Vlastnosti vegetace	44
Obr. 7 Zadání uživatelské srážky.....	45
Obr. 8 Doba a úhrn srážky	45
Obr. 9 Odebrání srážky	46
Obr. 10 Volba oblasti pro simulaci	47
Obr. 11 Parametry pozemku	48
Obr. 12 Podrobné informace o pozemku	48

Obr. 13 Spuštění simulace	49
Obr. 14 Vyhlazený digitální model terénu.....	51
Obr. 15 K faktor.....	52
Obr. 16 Prostředí LS Converter	53
Obr. 17 Volba algoritmů.....	53
Obr. 18 Plošné rozložení erozního smyvu na území	55
Obr. 19 Graf znázorňující podélný řez a přerušení svahu pro úhor.....	61
Obr. 20 Graf znázorňující podélný řez a přerušení svahu pro širokořádkové plodiny...	62
Obr. 21 Graf znázorňující podélný řez a přerušení svahu pro úzkořádkové plodiny	62

9 PŘÍLOHY

Příloha 1 Hodnoty faktoru K pro jednotlivé hlavní půdní jednotky (Janeček a kol., 2012)

Příloha 2 Hodnoty exponentu sklonu svahu m (Renard a kol., 1997)

Příloha 3 Vyjádření vlivu proměnného sklonu svahu

Příloha 4 Výpočet vlivu proměnného sklonu svahu

Příloha 5 Hodnoty faktoru C (Janeček a kol., 2012)

Příloha 6 Mapa půdních druhů

Příloha 7 Fotografie erozní rýžky na lokalitě

Příloha 1 Hodnoty faktoru K pro jednotlivé hlavní půdní jednotky

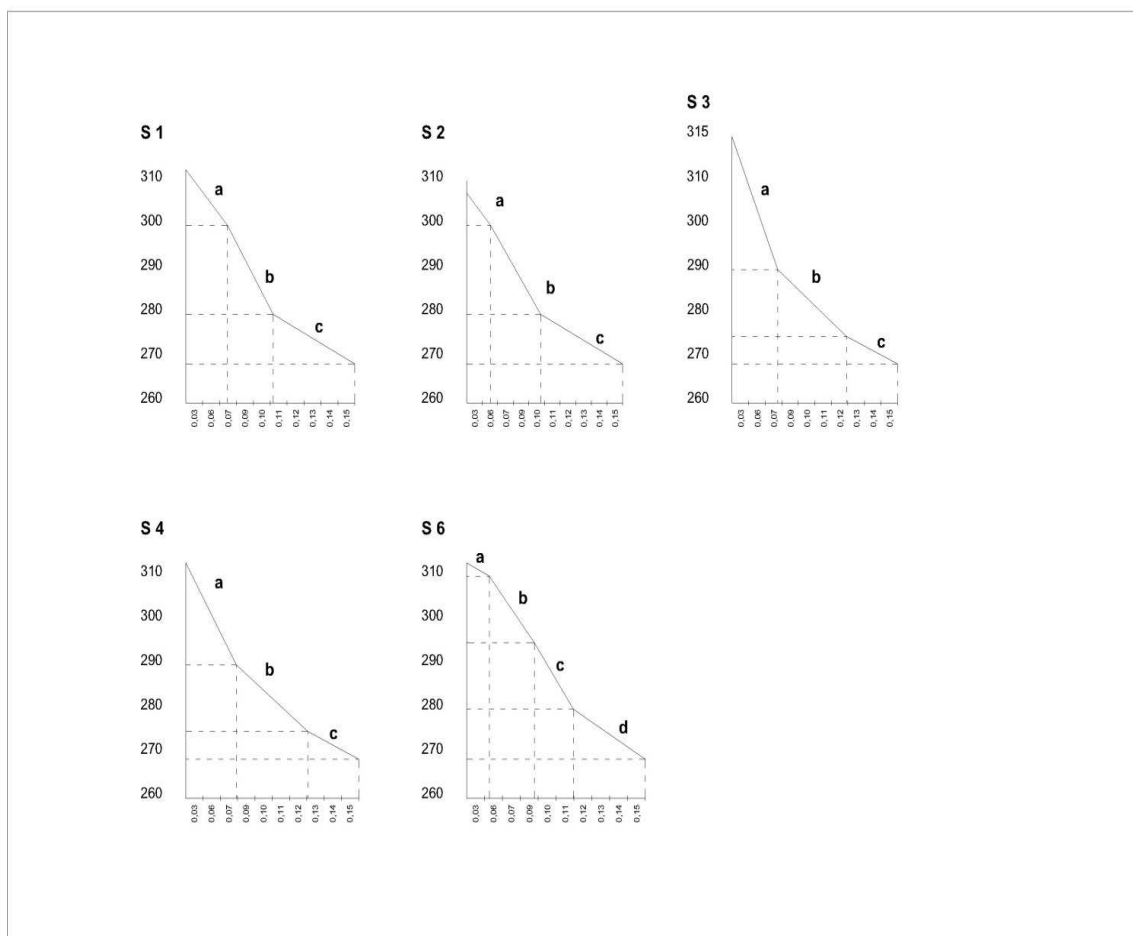
(Janeček a kol., 2012)

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

Příloha 2 Hodnoty exponentu sklonu svahu m (Renard a kol., 1997)

Sklon svahu (%)	Poměr mezi rýžkovou a plošnou erozí			Sklon svahu (%)	Poměr mezi rýžkovou a plošnou erozí		
	Nizký	Střední	Vysoký		Nizký	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				

Příloha 3 Vyjádření vlivu proměnného sklonu svahu



Příloha 4 Výpočet vlivu proměnného sklonu svahu

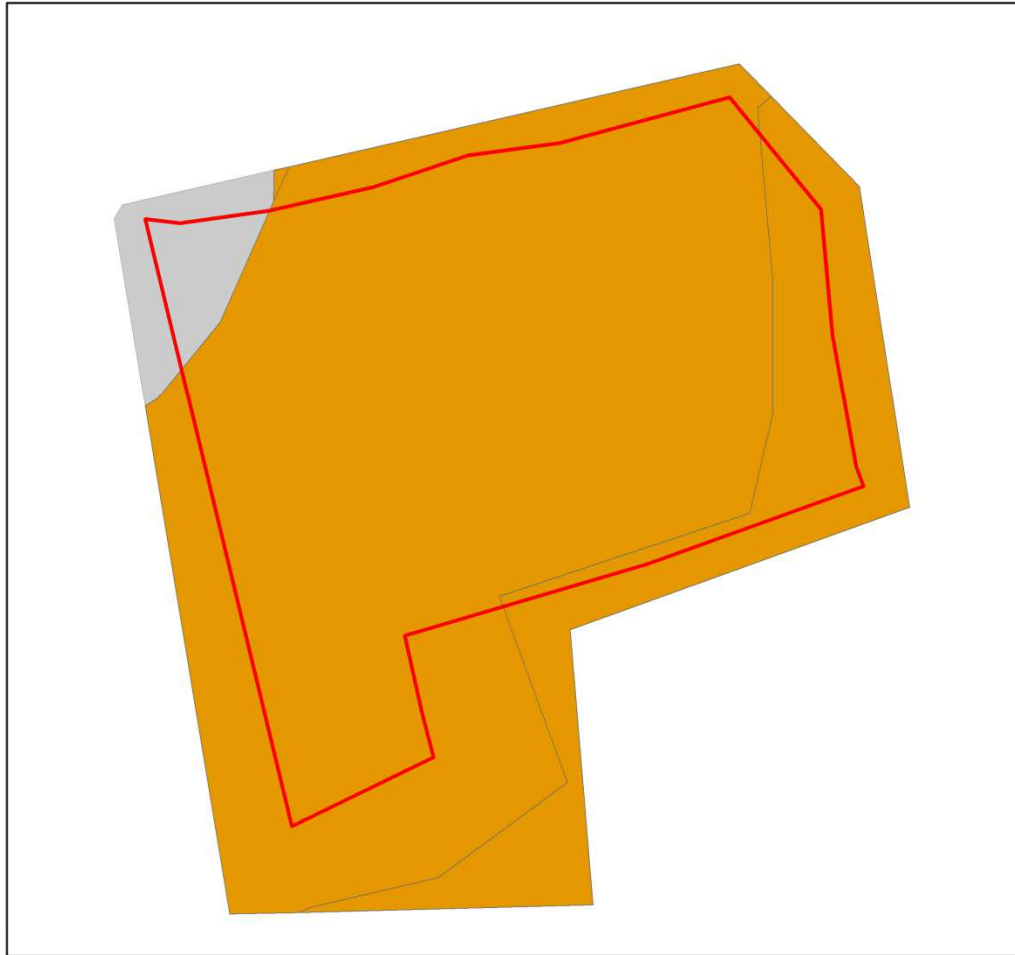
Odtoková linie	Úsek	Délka (m)	Převýšení (m)	Sklon (%)	Vliv změn sklonu	S	Hodnota úseku	Výsledný faktor S
S 1	a	110	12,5	11,36	0,09	1,3443	0,121	1,118
	b	120	20	16,67	0,26	2,3423	0,609	
	c	215	11,2	5,21	0,65	0,5968	0,388	
S 2	a	63	7,3	11,59	0,09	1,5112	0,136	1,047
	b	132	20	15,15	0,26	2,0106	0,523	
	c	215	11,2	5,21	0,65	0,5968	0,388	
S 3	a	120	25	20,83	0,16	3,0021	0,48	1,094
	b	181	15	8,29	0,42	0,8931	0,375	
	c	134	6,2	4,63	0,42	0,5698	0,239	
S 4	a	133	23	17,29	0,16	2,3423	0,375	0,989
	b	188	15	7,98	0,42	0,8931	0,375	
	c	134	6,2	4,63	0,42	0,5698	0,239	
S 6	a	60	3	5,00	0,03	0,5698	0,0171	1,1682
	b	118	15	12,71	0,22	1,6779	0,369	
	c	103	15	14,56	0,21	2,0106	0,422	
	d	189	11,2	5,93	0,54	0,6668	0,3601	

Příloha 5 Hodnoty faktoru C (Janeček a kol., 2012)

Plodina	Zařazení v osevním postupu	Použitá agrotechnika	Hodnoty faktoru vegetačního krytu a agrotechniky podle pěstebních období					
			1	2	3	4	5a	5b
Obilniny	po 1. roce po jetelovinách	OP	0,50	0,55	0,30	0,05	0,20	0,04
		St	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	po obilninách	OP	0,65	0,70	0,45	0,08	0,25	0,04
		St	0,25	0,25	0,20	0,08	0,25	0,04
	po okopaních a kukuřici	OP	0,70	0,75	0,50	0,08	0,25	0,04
		St	0,70	0,70	0,45	0,08	0,25	0,04
Kukuřice	Sláma předplodiny sklizena	OP	0,70	0,90	0,70	0,35	0,70	0,40
		St	O K 0,25	O K 0,25	O K 0,25			
	sláma předplodiny nesklizena	OP	0,60	0,75	0,55	0,25	0,60	0,30
		St	O K 0,04	O K 0,04	O K 0,04	O K 0,05	O K 0,25	O K 0,15
	do herbicidem umrtveného drnu	víceletých pícnin	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03
		jílku jako ozimé meziplodiny	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,10
Brambory, Cukrovka	v přímých řádcích libovolného směru	0,65	0,80	0,65	0,30	0,70		
Vojtěška		0,02						
Jetel červený dvousečný		0,015						
Víceletá tráva, louky		0,005						

Příloha 6 Mapa půdních druhů

MAPA PŮDNÍCH DRUHŮ PODLE KARTOGRAMU
ZRNITOSTI, ŠTĚRKOVITOSTI A ZAMOKŘENÍ
1:5 000



Legenda:

 hranice

kartogram zrnitosti, štěrkovitosti a zamokření



hlinitá půda



jílovitohlinitá půda

0 50 100 200 300 400 Metry

Příloha 7 Fotografie erozní rýžky na lokalitě

