

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

**MODELOVÁNÍ OHROŽENOSTI PŮDY
VODNÍ EROZÍ**

(bakalářská práce)

Jana SLAČÍKOVÁ

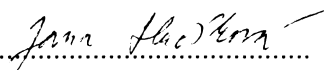
Vedoucí práce: Mgr. Přemysl Štych

PRAHA 2007

Poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Mgr. Přemyslu Štychovi za cenné připomínky a pomoc při jejím zpracování, Českému úřadu zeměměřickému a katastrálnímu a Ing. Janu Vopravilovi z Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy za poskytnutí dat a Ing. Sylvě Chmelářové ze společnosti ARCDATA PRAHA za užitečné rady při sestavování modelu.

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně, pouze s použitím uvedených zdrojů a literatury.

V Praze dne 22.5.2007


.....

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze
Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Fakulta: Přírodovědecká
Školní rok: 2005/2006

Zadání bakalářské práce

pro Jana Slačíková
obor Geografie a kartografie

Název tématu: Využití aplikace ModelBuilder v modelování environmentálních pochodů

Zásady pro vypracování

Práce bude zaměřena na využití nástroje ModelBuilder pro modelování environmentálních pochodů na menším modelovém území. Jako vstupní data budou sloužit hlavně data o využití půdy ve vybrané oblasti. Zpracování vstupních dat pomocí funkcí GIS povede k modelování interakce mezi člověkem a přírodou.

Hlavním výsledkem bude zjištění funkčnosti aplikace ModelBuilder, klady a zápory tohoto nástroje a případně srovnání s jiným softwarem. Dále pak praktická ukázka vytvoření územního modelu.

Rozsah grafických prací: 15

Rozsah průvodní zprávy: 30 - 50

Seznam odborné literatury:

Ecological Modelling. Elsevier. ISSN: 0304-3800.

Enviromental Modelling & Software. Elsevier. ISSN: 1364-8152.

Landscape and Urban Planning. Elsevier. ISSN: 0169-2046.


Using ModelBuilder. Redlands (California): Enviromental Systems Research Institute, 2000. 182 s.


Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Přemysl Štych

Konzultant bakalářské práce: Mgr. Přemysl Štych

Datum zadání bakalářské práce: říjen 2005

Termín odevzdání bakalářské práce: květen 2006


.....
Vedoucí bakalářské práce


.....
Vedoucí katedry

V Praze dne 31. 10. 2005

ABSTRAKT

SLAČÍKOVÁ, J. (2007): Modelování ohroženosti půdy vodní erozí. Bakalářská práce, PřF UK, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Praha, 42 s.

Vodní eroze půdy je proces rozrušování, transportu a sedimentace půdy způsobovaný srážkami a povrchovým odtokem vody. Jejím vlivem dochází k poškozování půdy, vodních toků a nádrží. Eroze se projevuje především na vegetací nedostatečně chráněné orné půdě. Mezi nejrozšířenější modely pro stanovení intenzity vodní eroze na pozemcích s ornou půdou stále patří univerzální rovnice ztráty půdy (USLE). Model USLE byl vyvinut pro určování průměrné dlouhodobé ztráty půdy způsobené plošnou a rýhovou erozí. Geografické informační systémy (GIS) umožňují zpracování prostorových dat, jejich následnou analýzu a hodnocení území.

Cílem a hlavní náplní práce bylo navržení modelu dle metodiky USLE v softwaru ArcGIS 9.2 a aplikovat tento model na příkladu modelového území povodí Tichávky. Výstupy modelu tvoří průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí pro každý pozemek s ornou půdou a rastr potenciální ohroženosti půdy modelového území vodní erozí. Pro povodí řeky Tichávky neexistují údaje měření splavenin a charakteristik povrchového odtoku, která jsou potřebná pro potvrzení vypočtených hodnot. Prozatím je model dobře využitelný pro automatizaci přípravy podkladových materiálů pro terénní průzkum a pro vytipování kritických míst z hlediska vzniku eroze. Při potvrzení výsledků je pak možné zjišťovat relativní odezvy jednotlivých pozemků na různé způsoby jejich využití a ověřovat účinnost různých protierozních opatření, která by snížila množství odnášené půdy pod současně stanovenou mez.

ABSTRACT

SLAČÍKOVÁ, J. (2007): Modelling soil hazard in connection with water erosion. Bachelor Thesis, Charles University, Prague, 42 pgs.

A soil erosion caused by water is gross amount of soil moved by drop detachment and runoff. It evokes soil loss and silting of dams, lakes and rivers. Soil loss is the soil moved off a particular slope or field. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is still the most widely used method for soil loss prediction. The USLE was developed as a method to predict average annual soil loss from interrill and rill erosion. Geographic Information Systems (GIS) enable spatial data processing and analyzing (it relates different information in a spatial context and reach a conclusion about this relationship).

In this work I tried to project a model according to USLE methodology in software ArcGIS 9.2 and apply this model to Tichávka watershed. Results of the model are average annual soil loss from fields and raster of potential soil loss in selected area. There is no measurement of the sediment runoff necessary for comparison with model results. Present calculated values can be used as background data for a field research and to define endangered areas. After data validation the model may be used to predict average annual soil loss from a field. Other usage is to predict the change in soil loss as a result of a change in cropping or conservation practices on a specific field and to reduce the estimated soil loss to suggested tolerance values.

OBSAH

1. Úvod	2
2. Uvedení do problematiky	3
2.1. Vodní eroze půdy	3
2.2. Důsledky eroze půdy.....	4
2.3. Faktory ovlivňující erozi půdy.....	6
2.4. Modelování vodní eroze.....	9
2.4.1. Základní údaje o modelech.....	9
2.4.2. Modely vodní eroze	10
3. Charakteristika oblastí.....	15
4. Metodika	18
4.1. Metoda výpočtu.....	18
4.2. Vstupní data a použitý software.....	19
4.2.1. Software.....	19
4.2.2. Vstupní data	20
4.3. Konstrukce modelu	22
4.3.1. Možnosti využití ArcGIS pro modelování vodní eroze půdy.....	22
4.3.2. Stanovení dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí	24
4.3.3. Stanovení potenciální ohroženosti půd vodní erozí.....	27
4.3.4. Schéma vytvořeného modelu v softwaru ArcGIS	27
5. Výsledky.....	28
6. Diskuse metodických postupů a výsledků.....	33
7. Závěr	35
8. Použité zdroje a literatura	37
Seznam obrázků	40
Seznam tabulek	40
Seznam zkratk	41
Seznam příloh	42

1. Úvod

Vodní eroze půdy je proces rozrušování, transportu a sedimentace půdy způsobovaný srážkami a povrchovým odtokem vody. Jejím vlivem dochází k poškozování dvou základních přírodních zdrojů – vody a půdy (Holý, 1994). Aby bylo možné erozi mírnit a předcházet tak škodám, je nutné znát místa, kde se projevuje a určit míru ohroženosti, tedy intenzitu vodní eroze. Eroze se projevuje především na vegetací nedostatečně chráněné orné půdě. Pro určení intenzity vodní eroze na pozemcích s ornou půdou se dnes používají modely vodní eroze. Mezi nejrozšířenější stále patří univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), která vyjadřuje kvantitativní účinek šesti hlavních faktorů ovlivňujících vodní erozi. Jejím výsledkem je průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí z pozemků v $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$. Geografické informační systémy (GIS) a jejich aplikace patří k efektivním a cenově nejméně nákladným nástrojům umožňujícím zpracování prostorových dat, jejich následnou analýzu a hodnocení území.

Cílem a hlavní náplní práce je navržení modelu v softwaru ArcGIS 9.2, který by poukazoval na pozemky s ornou půdou ohrožené vodní erozí, a na příkladu modelového území povodí Tichávky demonstrovat možný způsob využití tohoto modelu. Pro realizaci záměru byla zvolena mezinárodně používaná metodika USLE, která je svým charakterem vhodná pro použití v GIS, který umožňuje pro jednotlivé faktory vložit datové vrstvy a pomocí analytických nástrojů provést výpočet rovnice.

Hlavní výstupy modelu tvoří průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí na pozemcích s ornou půdou a rastr potenciální ohroženosti modelového území vodní erozí. Změnou vstupních dat (tzv. parametrů modelu) je možné model snadno využít pro jiné území, což umožňuje automatizaci přípravy podkladových materiálů pro terénní průzkum. Při potvrzení výsledků je pak možné navrhnout různá protierozní opatření, která by snížila množství odnášené půdy pod současně stanovenou mez a přispívala tak k optimalizaci využívání půdního fondu, ochraně půdy a vody, zvelebení krajiny a zvýšení její ekologické stability.

Obr.1: Půda jako subsystém prvků krajinné sféry



Foto: Šigut (2005)

2. Uvedení do problematiky

2.1. Vodní eroze půdy

Půda je nenahraditelný přírodní zdroj. Její zachování a zúrodnování jsou základní předpoklady dostatečné a kvalitní zemědělské produkce. Ztráta půdy ze zemědělsky i nezemědělsky využívaných ploch je vážným celosvětovým problémem.

Obecně se erozí rozumí rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentace uvolněných půdních částic působením vody, větru, ledu apod. (Janeček, Dumbrovský, 2002). Z agronomického hlediska znamená eroze fyzikální a biologickou degradaci půdy, nenávratnou ztrátu zeminy, humusu a živin, ovlivnění mikrobiálního života, narušení, popřípadě zničení kultur a snížení výnosů (Chmelová, Šarapatka, 2002).

Z hlediska vzniku eroze půdy jsou příčinami erozních jevů v našich podmínkách výskyt přivalových dešťů, náhlé jarní tání sněhu a silné větry. Podle těchto příčin se dělí eroze na vodní a větrnou (Janeček, 1992). Nejrozšířenějším destrukčním jevem na zemědělských půdách, který působí rozsáhlé ztráty na půdním fondu i na životním prostředí je vodní eroze půdy. „Vodní eroze je vyvolávána kinetickou energií dešťových kapek dopadajících na půdní povrch a mechanickou silou povrchově stékající vody“, definuje Holý (1994). Podle Cáblíka a Jůvy (1963) je hlavním znakem vodní eroze, to že tekoucí voda splachuje, vymílá a odnáší půdu a přemísťuje ji na jiná místa, kde se takto erodované hmoty usazují a hromadí.

Dle intenzity eroze (nejčastěji vyjadřované odnosem půdy z jednotky plochy na jednotku času) se eroze rozděluje na normální a zrychlenou. Při normální erozi probíhají erozní procesy s malou intenzitou a ztráta půdních částic je doplňována tvorbou nových částic z půdního podkladu. Mocnost půdního profilu se tedy nesnižuje. U zrychlené eroze dochází ke smyvu půdních částic v takovém rozsahu, že již nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem z půdního podkladu (Holý, 1994).

Podle Janečka, Dumbrovského (2002) je na území České republiky vodní erozí ohroženo více jak 50 % zemědělské půdy. Podle hodnocení rozšíření vodní eroze půdy (Janeček, Tippl 2000 In: Vašků, 2002) je na našem území postihováno 42 % zemědělské půdy zrychlenou vodní erozí.

Vodní eroze se na zemědělské půdě projevuje v několika formách. Buzek (1994) ji rozděluje na erozi plošnou, která má charakter rovnoměrného smyvu po celé ploše svahu vodním filmem, erozi rýhovou, do které přechází plošná eroze při intenzivnějších dešťových srážkách, kdy se povrchově stékající voda soustřeďuje do stružek a rýh, tyto se dále mohou prohlubovat a stékající voda nabývá charakteru trvalejšího soustředěného odtoku a na svazích tak mohou vznikat výmoly a strže. M. Holý (1994) třídí podle formy povrchovou erozi na erozi plošnou, výmolnou a proudovou (probíhající v korytech vodních toků). Cáblík a Jůva (1963) rozdělují erozi plošnou, rýhovou, výmolovou a erozi bystřinnou a říční.

Proces zrychlené eroze půdy se začíná objevovat od doby, kdy člověk počal porušovat přirozený kryt půdy. Za hlavní příčiny zrychlené eroze ve světovém měřítku se považují odlesnění, devastující pastva, špatné, nebo příliš intenzivní využívání půdy a její znečištění

(Janeček, Dumbrovský, 2002). Janeček (1992) uvádí, že v Evropě problémy sice nedosahují takových rozměrů jako v rozvojových zemích Afriky a Asie, ale vzhledem k intenzitě zemědělského využívání půdy jsou vážné v celé řadě zemí jižní, ale i střední Evropy včetně České republiky. Podmínky pro výskyt erozních procesů v ČR jsou specifické, neboť při přechodu na velkovýrobní způsob zemědělského obhospodařování a při další intenzifikaci zemědělské výroby, byl problém eroze značně podceněn a následky zrychlené eroze zemědělských půd dodnes vážně ohrožují jejich úrodnost.

Největším zdrojem erozních smyčů je orná půda, Janeček (1999) odhaduje, že „využíváním velkoplošného systému hospodaření se erozní procesy zvětšily více než desetkrát a ani probíhající transformace po roce 1989 nepřinesla předpokládané zlepšení situace. Zemědělské podniky dále hospodaří na velkých půdních celcích a pod tlakem ekonomické situace nerespektují základní principy ochrany půdy. Možnost zlepšení tohoto stavu představují projekty komplexních pozemkových úprav“.

Dalšími zdroji erozních smyčů, které nelze přehlížet, jsou podle Janečka (1992) plochy stavenišť, mechanizovanou těžbou dřeva poškozené lesní půdy, abradované břehy koryt potoků a řek při povodních apod. Erozní procesy vznikají i při různých přírodních jevech, kdy dochází k obnažení půdního povrchu a ztrátě vegetačního krytu (požáry, sesuvy apod.) (Janeček, 1999).

2.2. Důsledky eroze půdy

Vlivem erozních procesů dochází podle Holého (1994) k „poškození dvou základních přírodních zdrojů – vody a půdy“.

Důsledky pro půdu

Dle Janečka (1992) eroze půdy snižuje produkční schopnosti půd několika způsoby:

- ochuzuje zemědělské půdy o nejurodnější část – ornici
- zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půd
- zmenšuje mocnost půdního profilu
- zvyšuje štěrkovitost
- snižuje obsah živin a humusu
- poškozuje plodiny a kultury
- znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích
- způsobuje ztráty osiv a sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin

Plošná eroze je selektivní proces, při kterém jsou plošně splachovány jemnozrné částice, především povrchových vrstev půdy, do nejbližších nižších poloh reliéfu. Tím se zhoršuje struktura půdy. Plošný splach dále vyvolává rozpouštění a vyluhování dusíku a jiných živin, čímž dochází k poklesu jejich obsahu a tím se nepříznivě mění chemismus půd. Další důsledek je vznik půdního škraloupu a následný pokles vsaku. Zmenšením vodní jímavosti dochází ke zvýšení povrchového odtoku a zesílení eroze a zároveň se půda stává vysychavější (Cáblík, Jůva, 1963). Pasák (1984) upozorňuje, že „se zhoršením sorpční kapacity erodované

půdy dochází i k menšímu využití živin v půdě, včetně živin dodaných ve formě průmyslových hnojiv“. Buzek (1994) vyčísluje, že erodovaná půda ztrácí vodní jímavost až o 20 %, obsah humusu klesá až o 24 % a obsah dusíku o 3 % a dodává, že smyv půdy včetně odnosu živin je závislý na kultuře.

Při plošné erozi je příčinou zvýšeného odnosu půdy plošný splach, narozdíl od eroze rýhové, kde je příčinou vymílání a postupné rozrušování povrchu půdy. Na svažitých pozemcích dochází k postupnému soustředování stékající vody a na vegetací nedostatečně chráněné půdě se vytváří drobné rýžky a brázdičky, které se postupně spojují ve větší zářezy hloubky 5-20 cm. Odnos je tím větší, čím vzdálenější je erodovaná plocha od rozvodí, neboť s touto vzdáleností se zvětšuje množství a rychlost odtoku a stupňuje se jeho erozní působnost. Prohlubováním drah soustředěného odtoku může docházet i ke vzniku strží. Ty mohou nařezávat podzemní zvodnělé horizonty, a tím snižovat hladinu podzemní vody. Erozní činnost vodních toků se projevuje odnosem hmot získaných jednak postupným vymíláním dna a koryta a jednak sesuvem podemletých břehů a strání. Tuto rušivou činnost vyvolává tření rychleji proudící vody i vodou unášených částic (Cáblík, Jůva, 1963).

V polohách, kde klesá unášecí síla povrchového odtoku jeho rozptýlením nebo snížením sklonu terénu, dochází k sedimentaci unášených půdních částic. Dolní části pozemků bývají pokrývány hrubozrnným materiálem, protože nejprve dochází k usazování nejhmotnějších půdních částic (Janeček, 1992).

Dalším problémem je znečišťování půdního profilu těžkými kovy a pesticidy hnojením anorganickými hnojivy a postřiky. Perzistence některých pesticidů, způsobuje jejich setrvávání v půdě a přecházení do potravního řetězce (Holý, 1994).

Uhlířová (2005) uvádí, že „zachování produkční funkce půdy je pouze jedním z hledisek přístupu k hodnocení, plánování a dotváření zemědělské krajiny. V kontextu politicko-ekonomických změn je věnována stále větší pozornost mimoprodukčním funkcím krajiny českého venkova“. Jedná se především o ochranu ekologických funkcí půdy, které omezují odnos ornice, zvyšují retenci vody v krajině, přispívají k udržení a rozvoji biodiverzity v krajině, zvýšení jejich estetických hodnot a k obnově krajinného rázu.

Důsledky pro vodní toky a nádrže

Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují a zanášejí vodní toky a nádrže (Janeček, 1992, Buzek, 1994, Holý, 1994).

Ve vtocích do průtočných nádrží dochází ke vzniku dejekčních kuželů transportovaných hrubých splavenin (štěrku) a postupnému zanášení vodních nádrží, zatímco nejjemnější minerální a zejména organické částice a rozpuštěné látky vnikají do vodních toků (Janeček, 1992). Ty pak mají v tocích různé nepříznivé fyzikální, chemické i biologické důsledky. Povrchové toky a nádrže jimi bývají znečištěny jednak mechanicky, zanášením různých akumuláčních prostor (nádrží, plavebních a zavlažovacích kanálů, odběrných hydrotechnických zařízení), a jednak se v nich dlouho vznášejí, což má za následek zakalení povrchových vod, snížení možnosti života ve vodě a u nádrží na pitnou vodu se tím zvyšují náklady na úpravu vody (Buzek, 1994). Při transportu a následném usazování erodovaného

materiálu dochází podle Janečka (1992) ke snížení průtočné kapacity toků jejich zanášením, což může vyvolávat velké povodňové průtoky, které mohou poškozovat budovy, komunikace, samotná koryta vodních toků apod.

S půdními částicemi se do vodních toků dostávají i chemické látky používané ke hnojení a k ochraně rostlin. Aktivní povrchová vrstva jemného sedimentu umožňuje vazbu ostatních látek. Erozí uvolněná a vodou přenášená půda obsahuje vyšší koncentrace živin, těžkých kovů (Hg, Pb, Cd, Cr), pesticidů a anorganických hnojiv, což může vést ke kontaminaci vodních nádrží a porušení biologické rovnováhy (Pasák, 1984). Nadměrnou tvorbou splavenin a znečišťováním vodních zdrojů chemickými látkami působí eroze jako rozptýlený zdroj znečištění na velkých plochách. Největší problém způsobuje znečištění pitné vody (zejména fosfáty, dusičnany a chloridy), které působí přímo na lidské zdraví (Holý, 1994).

Obecně tedy eroze půdy způsobuje snížení úrodnosti, ztráty ekonomické, vodohospodářské, energetické a ekologické.

V praxi je ochrana vody a půdy možná snížením množství povrchového odtoku, čímž se docílí zeslabení intenzity erozních procesů (Holý, 1994). Na ploše erozí ohrožených půd je nutné provádět komplexní a systematickou ochranu, která by omezovala ztráty půdy na zatím stanovené přípustné hodnoty.

Janeček (1992) v metodice ochrany zemědělské půdy uvádí, že by v podmínkách býv. ČSFR dlouhodobá průměrná ztráta půdy vodní erozí v $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ z pozemku, při uvažovaném způsobu jeho využívání, neměla překročit u mělkých půd (od 30 cm) $1 t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$, u středně hlubokých půd (od 30 do 60 cm) $4 t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ a u hlubokých půd (nad 60 cm) $10 t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$. Uvedené mezní hodnoty byly stanoveny především z hlediska dlouhodobého zachování úrodnosti půdy pro zemědělské využití. Pro posouzení ochrany vodních zdrojů je nutné postupovat individuálně a vycházet z přípustného množství přísunu produktů eroze do vodního zdroje.

2.3. Faktory ovlivňující erozi půdy

Obecně je eroze půdy závislá na charakteru klimatu, území a způsobu jeho využití a socioekonomických faktorech, jako je hustota obyvatelstva, systém pozemkové držby a úroveň hospodaření. Zkoumání vzniku a průběhu vodní eroze nám umožňuje poznání jejích příčin. Proces vodní eroze vzniká a probíhá v souvislosti s dopadem a odtokem vody po povrchu území, který je ovlivněný řadou činitelů a proto i eroze půdy je vyvolávána a ovlivňována působením a vzájemnou interakcí různých faktorů, které rozhodují o jejím vzniku, průběhu a intenzitě (Janeček, 1999).

Janeček, Dumbrovský (2002) rozdělují faktory ovlivňující erozi na:

- a) klimatické a hydrologické
 - zeměpisná poloha
 - nadmořská výška
 - množství, rozdělení a intenzita srážek

- teplota, oslunění, výpar, odtok
- výskyt, směr a síla větrů
- b) morfologické
 - sklon území
 - délka a tvar svahů
 - expozice, návětrnost
- c) geologické a půdní
 - povaha horninového substrátu
 - půdní druh a typ
 - textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvení, obsah humusu
- d) vegetační poměry
 - hustota a délka trvání porostu
- e) způsob využívání a obhospodařování půdy
 - poloha a tvar pozemku
 - směr obdělávání
 - střídání plodin

Srážky

Při vzniku, průběhu a účincích vodní eroze se z klimatických podmínek uplatňují hlavně srážky, přičemž nerozhoduje jejich celoroční množství, nýbrž hlavně intenzita, trvání a doba výskytu (Cáblík, Jůva, 1963). Dešťové kapky dopadající na nechráněný půdní povrch rozrušují svou kinetickou energií půdní agregáty a uvolňují půdní částice. Je-li intenzita a úhrn deště větší, než vsakovací schopnost půdy, dochází po zaplnění mikroakumulačních prostor na povrchu půdy k povrchovému odtoku (Janeček, 1992). Pro vodní erozi půdy jsou důležité dva typy srážkových událostí. Intenzivní přívalové deště, které způsobí rychlé zaplnění půdních pórů vodou, a dlouho trvající deště mírné intenzity, které postupně nasycují půdu. Povrchový odtok vzniká u obou typů srážek, ze sněhových vod při jarním tání a také koncentrací vody v přirozené i umělé hydrografické síti (Holý, 1994).

V našich podmínkách jsou pro intenzitu erozních procesů rozhodující **přívalové srážky**. Je to způsobeno jejich vysokou intenzitou, jejímž důsledkem je destrukční vliv na povrch půdy a rychlé formování povrchového odtoku. Přívalové deště jsou charakterizované vysokou intenzitou a krátkou dobou trvání. Vyvolávají maximální odtok na malých a velmi malých povodích. Na velkých povodích jsou maximální odtoky vyvolány převážně táním sněhu (velký jarní odtok) popř. v kombinaci s dešti (Holý, 1994).

Morfologie území

Vodní eroze je podmíněná povrchovým odtokem vody po skloněném území (Holý, 1994). Členitý reliéf území zvyšuje erozní činnost vody, protože napomáhá jejímu soustředění a rychlejšímu odtoku. Z územních činitelů zesilujících vodní erozi se uplatňuje především sklonitost a délka svahů (Cáblík, Jůva, 1963). Za předpokladu trvání deště nabývá stékající voda se zvětšováním sklonu a délky svahu vyšší rychlost a tangenciální napětí, a tím i větší destrukční účinek na půdní povrch a schopnost transportovat uvolněné půdní částice. Při

stejně délce a převýšení mají největší intenzitu erozní procesy na svazích vypuklého tvaru a nejnižší na svazích vydutého tvaru (Holý, 1994).

Expozice svahů je dána jejich umístěním vzhledem ke světovým stranám. Jižní a západní svahy jsou více osluněny, což vyvolává rychlé a erozně nebezpečné tání sněhu. To má za následek větší odtok ze sněhových vod, a protože půda je zbavena ochranné sněhové pokrývky může docházet k vymrzání vegetace, což podporuje rozrušování půdního substrátu. Svahy s touto expozicí podléhají také rychlejšímu vysychání, což má za následek menší soudržnost půd a tedy větší náchylnost k erozi (Cáblík, Jůva, 1963). Expozici jako erozní činitel však nelze v našich podmínkách přeceňovat, hlavním erozním činitelem u nás jsou přívalové srážky, na které nemá sluneční expozice takový vliv (Holý, 1994).

Geologické a půdní poměry

Působení geologických poměrů na vznik a průběh eroze se projevuje přímo, a to odolností obnaženého geologického podkladu vystaveného styku s tekoucí vodou a ovzduším, a nepřímo působením na povahu půdního substrátu, jehož vlastnosti jsou dány druhem geologického podkladu (Holý, 1994).

Půdní poměry představují souhrn jednotlivých vlastností půdy. Mají vliv na infiltraci srážkové vody do půdy a její časový průběh a na odolnost povrchu půdy vůči destruktivnímu účinku dešťových kapek i povrchově stékající vody (Holý, 1994). Obecně lze říci, že hrubě zrnité písčité a hlinitopísčité zeminy jsou dosti odolné proti erozi, neboť při vyšší propustnosti snižují velikost erozně působivého povrchového odtoku a svou hrubozrnností také čelí vodnímu splachu. Rovněž soudržné jílovité zeminy se vyznačují dobrou protierozní odolností. Proti tomu hlíny s velkým obsahem prachu a zvláště nehumózní spraše s nedostatkem tmelivých součástí podléhají erozi snadno. Záleží však i na střídání vrstev různé zrnitosti, na půdní struktuře, půdním typu, vlhkosti a obsahu humusu (Cáblík, Jůva, 1963).

Vegetační kryt půdy

Vegetace působí na průběh a intenzitu erozních procesů několika způsoby. Chrání půdní povrch před přímým dopadem dešťových kapek, a tím brání nebezpečí rozrušování a splachování půdních částic. Podporuje vsak srážkové vody do půdy, a tím zpomaluje a zmenšuje povrchový odtok. Zánik nebo odstranění vegetace je jednou z hlavních příčin zrychlené eroze (Cáblík, Jůva, 1963).

Vegetační kryt půdy zlepšuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy, zpevňuje půdu svým kořenovým systémem, zmenšuje nebezpečí zamrzání půdy a zmenšuje výpar. Vliv vegetace se projevuje různě podle druhu a stavu vegetace. Kultura podle protierozní účinnosti: les, travní porost, dočasný travní porost, obiloviny, okopaniny. Poľní kultura představují jen nízký stupeň protierozní ochrany. Je to dáno jednak malou listovou plochou připadající na plošnou jednotku půdy a jednak menším vzrůstem nadzemních částí a menším rozsahem kořenového systému (Holý, 1994).

K erozně nebezpečným plodinám patří zvláště vinice, okopaniny a zelenina (Buzek, 1994). Malou ochranu proti erozi poskytují půdě brambory, řepa, kukuřice.

Způsob využívání půdy

Způsob využívání a obhospodařování půdy, volba a polohové rozmístění kultur, jejich zařazení do vhodného osevního postupu a technické zásahy mohou výrazným způsobem snížit nebo zvýšit intenzitu erozních procesů (Holý, 1994). O účincích eroze na svazích rozhoduje již pouhé polohové a tvarové umístění pozemků. Po svahu obhospodařované pozemky soustřeďují a zrychlují povrchový odtok ze srážek, a tím zesilují jeho erozní účinek. Naproti tomu příčný směr orby velmi účinně brání eroznímu splachování. Důležitá je volba kultur kvůli jejich rozdílnému protieroznímu působení. Doporučuje se volit porosty sousedních polí tak, aby se plodiny náchylné k erozi střídaly s plodinami protierozně odolnějšími. V osevních postupech se zvláště příznivě uplatňují jeteloviny, neboť hustým krytem zvyšují stabilitu půdy (Cáblík, Jůva, 1963).

2.4. Modelování vodní eroze

2.4.1. Základní údaje o modelech

Faktory ovlivňující erozní procesy působí komplexně a ve vzájemné interakci. Modelování půdní eroze je matematicky popsáný proces uvolnění, transportu a ukládání půdních částic, který využívá poznatků z teorie mechanismu eroze, povrchového odtoku, infiltrace, hydrauliky, výpočetní techniky, informačních technologií apod. (Holý, 1994). Dostál (2006) definuje simulační model erozního procesu jako softwarové produkty a výpočetní algoritmy pro řešení problematiky vodní eroze. Základní rozdělení modelů je podle popisu procesu na empirické a fyzikálně podložené.

Fyzikálně podložené modely vycházejí z definice eroze jako přírodního procesu uvolňování, transportu a ukládání půdních částic působením erozních činitelů (Janeček, 2002). Berou v úvahu zákony o zachování hmoty a hybnosti. Výstupem takovýchto modelů je údaj o ztrátě půdy, transportu sedimentů a povrchovém odtoku. Jsou přesnější a spolehlivější, dokáží řešit jednotlivé srážko-odtokové situace a jsou schopné popsat prostorovou i časovou nehomogenitu podmínek. Na druhou stranu jsou náročnější na výpočetní techniku a vstupní data, která bývají často velmi specifická a těžko dostupná, a dále je nezbytná kalibrace a testování modelu pro konkrétní podmínky vyšetřovaného území. Kalibrace je však na malých povodích obtížná, neboť většinou nejsou k dispozici měření průtoků a koncentrací splavenin, které jsou nezbytné pro porovnání s výsledky modelu. Fyzikální základ modelů umožňuje do simulace zahrnout i transport znečišťujících látek vázaných na povrch půdních částic nebo rozpuštěných v povrchovém odtoku. Z hlediska vlivu na kvalitu vodních zdrojů se pozornost soustřeďuje především na simulaci transportu základních živin – fosforu a dusíku a dále pesticidů a těžkých kovů.

Empirické modely jsou založeny na dlouhodobých pozorování erozních jevů a na základě statistického vyhodnocení dlouhodobých experimentálních měření. Vychází tedy ze statistické analýzy dlouhodobého experimentálního sledování vlivu jednotlivých erozních faktorů na erozi. Zaměřují se na identifikaci významných vztahů mezi proměnnými. Objem vstupních dat, která jsou lépe získatelná, je relativně malý, což je jejich největší výhodou.

Nejsou tolik náročné na výpočetní techniku. Jejich výsledkem jsou dlouhodobé průměrné odhady. Díky velkému zobecnění nejsou do výpočtu zahrnuty nehomogenity srážky a půdních, vegetačních a morfologických podmínek. Hodí se pro vytipování kritických míst z hlediska vzniku eroze. V praxi jsou rozšířenější empirické modely (Janeček, 1992). Přehled vývoje empirických modelů až po tzv. univerzální rovnici (popsána v kapitole 2.4.2.) uvádí Janeček (2002).

Při použití jakéhokoliv modelu se nelze vyhnout použití empirických závislostí pro vyjádření některých dílčích procesů a zahrnutí empirických parametrů a je třeba provést kalibraci a testování pro konkrétní podmínky. Na malých povodích však často nejsou k dispozici měření průtoků a koncentrací splavenin, které jsou pro porovnání s výsledky simulace nezbytné (Janeček, 2002).

Obecně lze výstupy z modelů použít jako podklady pro rozhodovací procesy z hlediska možného využití území, jeho ochrany a správy vzhledem ke kvalitě životního prostředí, např. vodních zdrojů a vyšetřování relativní odezvy povodí na různé způsoby jeho využití (Janeček, 2002).

2.4.2. Modely vodní eroze

USLE (Universal Soil Loss Equation)

Univerzální rovnice ztráty půdy. Patří mezi empirické modely. Název „univerzální“ znamená, že při stanovení hodnot jednotlivých faktorů se podařilo analýzou a vyhodnocením všech datových souborů překonat regionální omezenost dříve odvozených vztahů, což umožňuje aplikaci rovnice v různých podmínkách (Jakubíková, 2006). Byla vyvinuta v USA. Autoři rovnice jsou W. H. Wischmeier a D.D. Smith. Vyjadřuje kvantitativní účinek hlavních faktorů, ovlivňujících vodní erozi způsobovanou přívalovými dešti. Výsledkem USLE je průměrná dlouhodobá ztráta půdy z pozemků vodní erozí v $t \cdot h^{-1} \cdot rok^{-1}$ (Kirkby, Morgan, 1980). Pro podmínky našeho státu byla upravena Janečkem a kol. (1992). Počítá pouze s plošnou a rýhovou erozí. Její výhody jsou relativní jednoduchost, účelnost, rychlost výpočtu a možnost využití množství poměrně snadno získatelných vstupních údajů. Umožňuje jen dlouhodobou predikci eroze (rok). Nelze použít pro zjištění ztráty půdy způsobené jednotlivými dešti nebo odtokem z tajícího sněhu, nepočítá množství splavenin. Existují a užívají se četné modifikace.

RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy vznikla v 90. letech úpravou (revizí) a aktualizací stanovení jednotlivých faktorů USLE (blíže Janeček, 2002). Je stejně jako USLE používána pro predikci dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy. Lze ji však použít i pro území s nezemědělským využitím (např. na staveništích). Vyžaduje větší množství vstupních dat, což umožňuje přesnější popis zájmové lokality a přesnější výsledky, ale data jsou obtížněji získatelná. Jedná se o model pro svah (Jakubíková, 2006).

SMODERP (Simulační model povrchového odtoku a erozních procesů)

Fyzikálně podložený model odvozený pro podmínky ČR v roce 1988 na katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství FSv ČVUT autorským kolektivem Holý, Váška, Vrána. Dle Vrána a kol. (2001) model simuluje plošný povrchový odtok a erozní procesy ze srážky proměnné intenzity na pozemku (svahu) o velikosti do 1 km² s nehomogenními morfologickými, půdními a vegetačními poměry. Zahrnuje proces odtoku, eroze a transportu. Model lze použít pro stanovení charakteristik plošného povrchového odtoku, přípustné délky pozemku a ztráty půdy. Dále lze model použít pro návrhy protierozní ochrany buďto v prognózovém stavu (vstupní hodnoty jsou tvořeny průměrnými hodnotami) nebo k simulování konkrétní skutečné události (konkrétní, aktuální vstupní hodnoty). Vstupem do modelu je geometrie svahu, součinitel hydraulické vodivosti, poměrná plocha listová, potenciální intercepce, půdní typ, sorptivita (počáteční vlhkost), povrchová drsnost a povrchová retence. Morfologické, půdní a vegetační poměry území mohou být proměnné, každý vyšetřovaný pozemek je charakterizován podélným profilem, který může být rozdělen maximálně do deseti homogenních úseků. Uživatel může zvolit podle typu řešené úlohy výpočet přípustné délky svahu nebo výpočet povrchového odtoku a erozních procesů. Model má v praxi široké uplatnění a byl úspěšně použit pro zemědělské pozemky i pro svahy inženýrských staveb (např. násypy silnic, důlní výsypky, staveniště apod.). Samotný program i uživatelský manuál je dostupný na <http://storm.fsv.cvut.cz/123456.php?id=3software>.

AGNPS (AGricultural Non-Point Source Pollution Model)

Model vznikl spoluprací institucí Agricultural Research Service a Natural Resources Conservation Service (USA) v roce 1989. AGNPS je epizodní model (pro jednotlivé srážkové události). Simuluje povrchový odtok, erozi, transport a ukládání splavenin a transport chemických látek v nehomogenním, zemědělsky využívaném povodí o velikosti až do 200 km². Z chemických látek jsou uvažovány dusík a fosfor - základní prvky výživy rostlin a zároveň hlavní zdroje znečištění povrchových vod. Kromě plošných zdrojů znečištění model umožňuje do simulace zahrnout a vyhodnotit také bodové zdroje znečištění, a to bodové zdroje eroze (strže, výmoly, apod.) i bodové zdroje chemického znečištění (zemědělské zdroje, komunální zdroje apod.). Model nemá charakter predikčního modelu, vzhledem k podrobné grafické prezentaci výsledků simulace je vhodný pro identifikaci kritických míst ve vyšetřovaném povodí a k porovnání jednotlivých scénářů využití území a navržených ochranných opatření. Vyšetřované povodí je schematizováno sítí homogenních čtvercových elementů, z nichž každý tvoří samostatnou hydrologickou jednotku, na které probíhají odtokové, erozní a transportní procesy, jejichž výsledky se přenášejí do elementů sousedních (Janeček, 2002). To umožňuje analýzu v jakémkoli bodě uvnitř povodí. Znečišťující látky jsou odváděny do závěrového profilu buňkami postupně, takže tok vody a látek může být sledován v každém bodě mezi buňkami. Všechny vstupní údaje kromě charakteristik přívalové srážky jsou vyjádřeny na úrovni základního elementu. Model je tvořen submodulelem hydrologickým, erozně-transportním, submodulelem transportu chemických látek a submodulelem řešícím bodové zdroje (<http://www.sweb.cz/agnps/>). Součástí erozního submodulelu AGNPS je model RUSLE (<http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=5199>).

CREAMS (Chemical Runoff and Erosion from Agr. Management System)

Jeden z prvních modelů vyvinutý pro zemědělské potřeby. Předpovídá odtok, erozi a transport chemických látek ze zemědělsky využívaných území. Model lze použít pro jednotlivou srážkovou událost i pro dlouhodobé předpovědi (2-50 let). Model je využitelný pro kvantitativní hodnocení vlivu zemědělských technologií na přírodní prostředí v území (Holý, 1994). Pozemek s ornou půdou je v CREAMS definován jako pozemek s jednotným způsobem využívání a obhospodařování, s relativně homogenními půdami a předpokládá se, že prostorově je zasažen stejnou srážkou. Pokud má model data pouze pro denní úhrny srážek, odhad povrchového odtoku se vypočítává pomocí metody CN křivek. Jsou-li pro srážky přesnější data (hodinová) používá CREAMS k výpočtu povrchového odtoku model založený na infiltraci. Výpočet eroze půdy obsahuje některé prvky USLE, ale zahrnuje i transportní kapacitu povrchového odtoku. Dále CREAMS obsahuje submodel transportu chemických látek (N, P, pesticidů). Některé rovnice modelu CREAMS jsou využívány nebo modifikovány v jiných modelech, např. WEPP (General Model Information: http://www.wiz.uni-kassel.de/model_db/mdb/creams.html).

EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator)

EPIC je primárně využíván k odhadnutí eroze půdy a k určení vztahu mezi erozí půdy a její produkční schopností. Lze použít pro předpovědi jednodenní i dlouhodobé. Předpovídá vliv hospodářských zásahů na transport půdy, vody, živin a pesticidů a jejich výsledný vliv na ztrátu půdy, kvalitu vody a produkční schopnost v území s homogenními půdami a jednotným způsobem obhospodařování. K výpočtu eroze využívá modifikované rovnice USLE (EPIC Fact Sheet: <http://www.brc.tamus.edu/epic/epfact2004.htm>).

ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simul.)

Přechod k fyzikálně založeným modelům. Byl vyvinut pro simulaci hydrologických a erozních procesů v povodí v zemědělsky využívaných oblastech. Předpovídá půdní erozi způsobenou specifickým využíváním a obhospodařováním území. Je určen především k výpočtu eroze půdy pro jednotlivé srážkové události. Počítá povrchový odtok, erozi a sedimentaci pro středně velká povodí. (<http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/overview/answers.html>) V modelu je možné zohlednit nerovnoměrné zasažení území deštěm. Vychází z rozdělení povodí do systému hydrologicky homogenních čtvercových elementů, které tvoří samostatné jednotky. Plošný i soustředěný povrchový odtok přechází z jednoho elementu do druhého ve směru sklonu svahu (Holý, 1994).

WEPP (Water Erosion Prediction Project)

Plně fyzikálně založený model. Odděluje od sebe jednotlivé procesy podle příčiny (eroze způsobená deštěm, povrchovým odtokem). Vyhodnocuje vliv využívání a obhospodařování půdy na půdní erozi a transport sedimentů. Je použitelný pro jednotlivý svah nebo malé povodí. Využívá nové technologie simulačních modelů a erozních procesů, je založen na principu stochastického generátoru počasí, infiltrační teorii, hydrologii, půdní fyzice, atd. (Dostál, 2006). Z hlediska vstupních dat je WEPP náročný a vyžaduje velký počet vstupních parametrů (blíže <http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/wepp.html>).

Obdobou WEPP v evropských podmínkách je model **EUROSEM** (EUROpean Soil Erosion Model). Řeší povrchový odtok a erozi ze srážky proměnné intenzity na jednotlivém svahu i v malém povodí (<http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/nsri/research/erosion/eurosem.htm>).

Ze studie srovnávající naměřené hodnoty ztrát půdy a výstupy z modelů WEPP, ANSWERS a EPIC (Bhuyan a kol., 2002) v různých typech povodí vyplývá, že všechny tři modely dávají rozumné výsledky půdní eroze v mezích naměřených hodnot. Nejpřesnější je model WEPP, což je plně fyzikálně založený model, zatímco ostatní dva modely jsou ještě založeny na výpočtech modifikovaných rovnic USLE a RUSLE.

EROSION 2D/3D

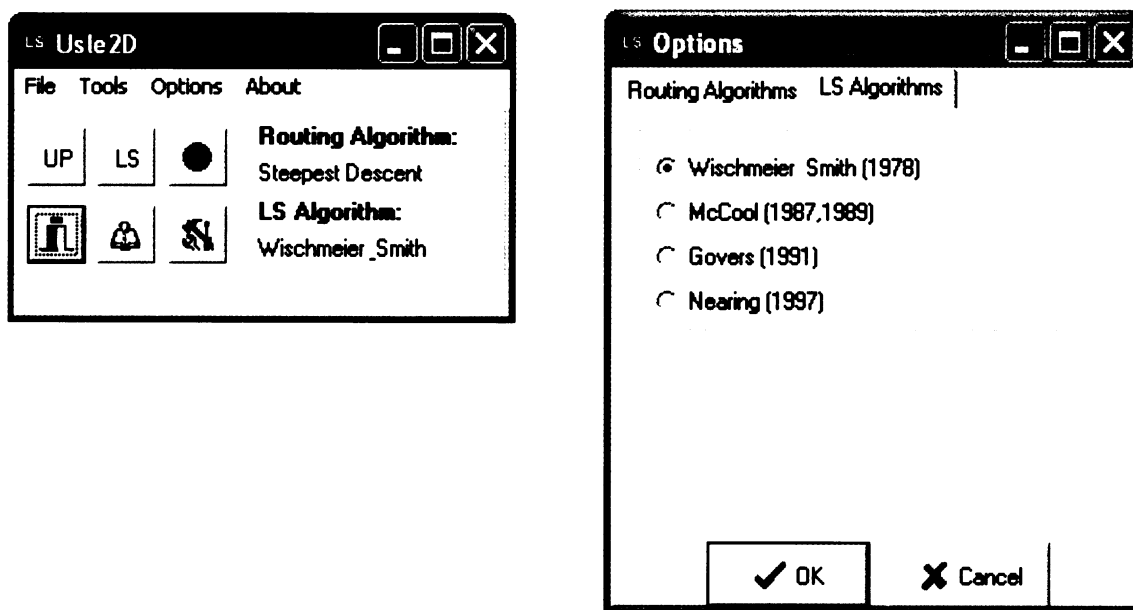
Vyvinutý na Berlínské univerzitě v roce 1991. V modelu jsou přímo obsaženy prvky GIS pro práci s daty a jejich vizualizaci (Janeček, 2002). Model je schopen pracovat s plochou celého povodí (verze 2D jen ze svahu) a do svých výpočtů zahrnuje ztrátu půdy plošným i soustředěným odtokem. Jako geometrický základ slouží pravidelná čtvercová síť. Vstupem jsou charakteristiky povrchu území (DMT), půdy a návrhového deště (doba trvání a intenzity srážky). Výstupy tvoří informace o ztrátě půdy, množství usazeného materiálu a intenzity eroze v povodí ve formě grafické či datové (ASCII soubory).

USLE2D, WaTEM a WaTEM/SEDEM

Modely vyvinuté na univerzitě Leuven v Belgii a volně dostupné na <http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/watem/index.htm>. Vstupy do modelů tvoří data ve formátu Idrisi (rst).

USLE2D slouží jen k výpočtu topografického faktoru (LS) univerzální rovnice. Poskytuje možnost volby algoritmu výpočtu (Obr.2). Výstup tvoří rastr LS faktoru ve formátu Idrisi.

Obr.2: Modelové prostředí USLE2D



Zdroj: <http://www.kuleuven.be>

Model WaTEM (Water and Tillage Erosion Model) simuluje erozi a ukládání materiálu způsobené vodou a kultivačními procesy. Zaměřuje se více na prostorovou a méně na časovou proměnlivost hlavních parametrů. Umožňuje začlenění struktury krajiny - hranic pozemků a vzájemných vazeb mezi nimi. Využívá modifikovanou rovnici RUSLE a digitální model terénu, což umožňuje rychlé využití v mnoha oblastech. Model je určen pro odhad eroze způsobené vodou, kultivačními procesy a jejich kombinací a k zhodnocení dopadu změn krajinné struktury na erozi.

Tento model je dále začleněn do modelu WaTEM/SEDEM, který je určen jednak k odhadu ztráty půdy a její depozice způsobené vodní erozí, a jednak ke stanovení oblastí náchylných k vodní erozi. Model dokáže simulovat vliv různých scénářů organizace povodí. Vstup do modelu tvoří digitální model terénu, rastr parcel a rastr vodních toků. Dále se volí další parametry, například hodnota C faktoru pro ornou půdu, les a pastvinu, hodnota K a P faktoru, a poskytuje také možnost volby algoritmu výpočtu LS faktoru.

Pro simulaci eroze existují dvě základní koncepce geometrické schematizace povodí. Rozdělení povodí do pravidelné sítě plošných elementů (obvykle čtvercových), kde každý element tvoří samostatnou hydrologickou jednotku a povrchový odtok a pohyb půdních částic se mezi sousedními elementy uskutečňuje ve směru převládajícího sklonu terénu. Druhou koncepcí je rozdělení povodí do systému rovinných odtokových ploch a do prvků soustředěného odtoku, tedy rozdělení na dílčí povodí, ve kterých jsou definovány odtokové plochy a prvky soustředěného odtoku, které pak bočně ze stran přechází do jednoho liniového prvku, kterým se odtok a transportované půdní částice převádějí do níže ležícího dílčího povodí (Janeček, 2002).

Geografické informační systémy (GIS) a jejich aplikace patří k efektivním a cenově nejméně nákladným nástrojům umožňujícím zpracování prostorových dat, jejich následnou analýzu a hodnocení území. Jejich největší výhodou je umožnění zpracování jakákoliv dat nesoucích prostorovou informaci, tedy i informací o půdách. Nástroje GIS umí spojovat informace z různých zdrojů a nad nimi provádět analytické i syntetické operace, které hrají podstatnou roli při různých metodách plánování (Václavík, Šarapatka, Bednář, 2004). Při řešení studií erozní ohroženosti je práce s mapovými podklady v prostředí GIS běžnou záležitostí. Nabízí se však možnost provést celý výpočet ztráty půdy pomocí GIS propojením modelu USLE a možností GIS. Výpočet univerzální rovnice ztráty půdy je založen na vynásobení šesti faktorů, které mají na vodní erozi rozhodující vliv. Model USLE je svým charakterem vhodný pro použití v GIS, který umožňuje pomocí analytických nástrojů pro každý faktor vytvořit samostatnou datovou rastrovou vrstvu a provést výpočet rovnice (Bečvář, 2004). Nevýhodou provádění modelu přímo v GIS je nutnost zjednodušování, protože GIS většinou neposkytuje matematicky a programátorsky dostatečné nástroje (Šobra, 2004). Síla GIS se projeví především ve výrazném zrychlení a zpřesnění celého výpočtu, možnosti řešit problém variantně a v neposlední řadě GIS poskytuje kvalitní zpracování výsledků a grafické výstupy (Bečvář, 2004).

3. Charakteristika modelového území

Modelové území představuje povodí řeky Tichávky (ID hydrologického povodí čtvrtého řádu 201011340). Povodí je základní územní jednotkou pro řešení srážko-odtokového režimu a eroze (Janeček, 2002). Jeho plocha je 26,391 km². Délka toku Tichávky je 12,7 km, pramení v Kunčicích pod Ondřejníkem ve výšce 470 m n. m. Průměrný průtok u ústí je 0,42 m³.s⁻¹ (Vlček a kol., 1984). Povodí Tichávky se nachází v jižní části Moravskoslezského kraje a patří k úmoří Baltského moře, tedy k povodí řeky Odry. Podnebí ovlivňuje poloha v centrální části Evropy, kde se střetávají vlivy oceánického a kontinentálního klimatu, a členitost reliéfu. Podle klimatického členění České republiky patří do klimatické oblasti mírně teplé. Nejchladnějším měsícem je leden a nejteplejším je červenec. Nejvíce srážek spadne v červnu až srpnu, nejméně v únoru a březnu. Roční úhrny srážek jsou mezi 900 a 1200 mm.

Obr.3: Krajina povodí Tichávky



Foto: Šigut (2006)

Z hlediska geomorfologického spadá do provincie Západní Karpaty, subprovincie Vnější Západní Karpaty, oblasti Západobeskydské podhůří, celku Podbeskydská pahorkatina a podcelků Frenštátská brázda a Štramberská vrchovina. Území má pahorkatinný ráz (Obr.3). Nejvyšším bodem povodí je vrchol Skalka, 964 m n. m, nejnižším pak ústí Tichávky do řeky Lubiny, 322 m n.m, výškový rozdíl činí 642 m. Členitost reliéfu poskytuje vhodné podmínky pro rozvoj vodní eroze půdy. Zvláštním geomorfologicky významným útvarem je travertinová kaskáda o výměře 1,2 ha na jihozápadním úbočí Tichavské hůrky, která byla v roce 1988 vyhlášena přírodní památkou. Tvorba travertinu je podmíněna působením vyvěrajícího pramene s vysokým obsahem rozpustných minerálních látek (uhličitanu vápenatého). Délka valu je přibližně 120 m, převýšení 10 až 70 cm.

Geologickým složením a tektonickou stavbou náleží modelové území do flyšového pásma Karpatské soustavy. Pod geologickým pojmem flyš rozumíme mnohonásobné střídání lavic pískovců s vrstvami břidličnatých slínovců a jílovců různého složení a odolnosti. Pískovce a slepence ve vrstevním sledu výrazně převládají. Vysoký podíl uhličitanu vápenatého ve vrstvách ovlivnil i chemizmus podzemních vod (tvorba travertinu). Tektonická stavba je výsledkem horotvorných pohybů druhé fáze alpínského vrásnění, při níž došlo k vyzdvižení flyšových usazenin, takže vznikla charakteristická příkrovová stavba pohoří. Dále se uplatňovaly především výzdvihové pohyby podél zlomů, a to i ve čtvrtohorách. Flyš je příkladem sedimentu rychle podléhajícího erozi (Cáblík, Jůva, 1963). Celé území oblasti je vlivem snadného zvětrání hornin skalního podkladu a v důsledku naklonění souvrství značně náchylné k tvorbě strží a sesuvů. Následkem dlouhodobých a mimořádně intenzivních srážek na počátku července 1997 došlo k rozvodnění toku Tichávky a opakovanému vylití z přirozených břehů. Tok si vytvořil pravý nárazový břeh při jihozápadním úpatí Tichavské hůrky a v důsledku erozní činnosti toku a v důsledku plného dosycení zemin kvartérního pokryvu došlo ke vzniku dvou sesuvů (Obr.4) s výškou odlučné plochy 8-10 m (Kašpárek, 1997).

Obr.4: Sesuv půdy v červenci 1997



Zdroj: Kašpárek (1997)

Z půdních typů jsou zastoupeny převážně kambizemě, tedy hnědé půdy (Půdní mapa ČR, 1993). Diagnostickým znakem je kambický hnědý B horizont. Hnědnutí (tzv. braunifikace) vzniká v důsledku chemického zvětrávání prvotních minerálů, přičemž se uvolňuje Fe, Mn, Al. Hnědé půdy jsou nejvíce rozšířeny mezi 450 až 800 m n. m. a vázány většinou na členitý reliéf pahorkatin, vrchovin a hornatin. Vznik z pestrého spektra substrátů podmiňuje velkou rozmanitost z hlediska zrnitosti a skeletovitosti. Jedná se většinou o mělké půdy (Tomášek, 2003). Z dalších půdních typů se na území povodí vyskytují pseudogleje a nivní půdy.

Původní porost jedlobukového lesa byl většinou nahrazen nepůvodními smrkovými monokulturami. Štramberská vrchovina má vápnomilnou květenu (Kunský, 1981). V území jsou pěstovány především obilniny a píce, na menších plochách pak olejniny (ozimá řepka) a brambory. Využití území povodí Tichávky dle Zprávy 2005 o charakterizaci oblasti povodí Odry uvádí Tab.1.

Tab.1: Druh užívání území podle Zprávy 2005

Druh užívání území	% plochy povodí
Uměle přetvořené povrchy	9,0
Orná půda	33,0
Smíšené zemědělské porosty	31,0
Lesy a polopřirodní vegetace	27,0

Zdroj: Corine 1994/1995

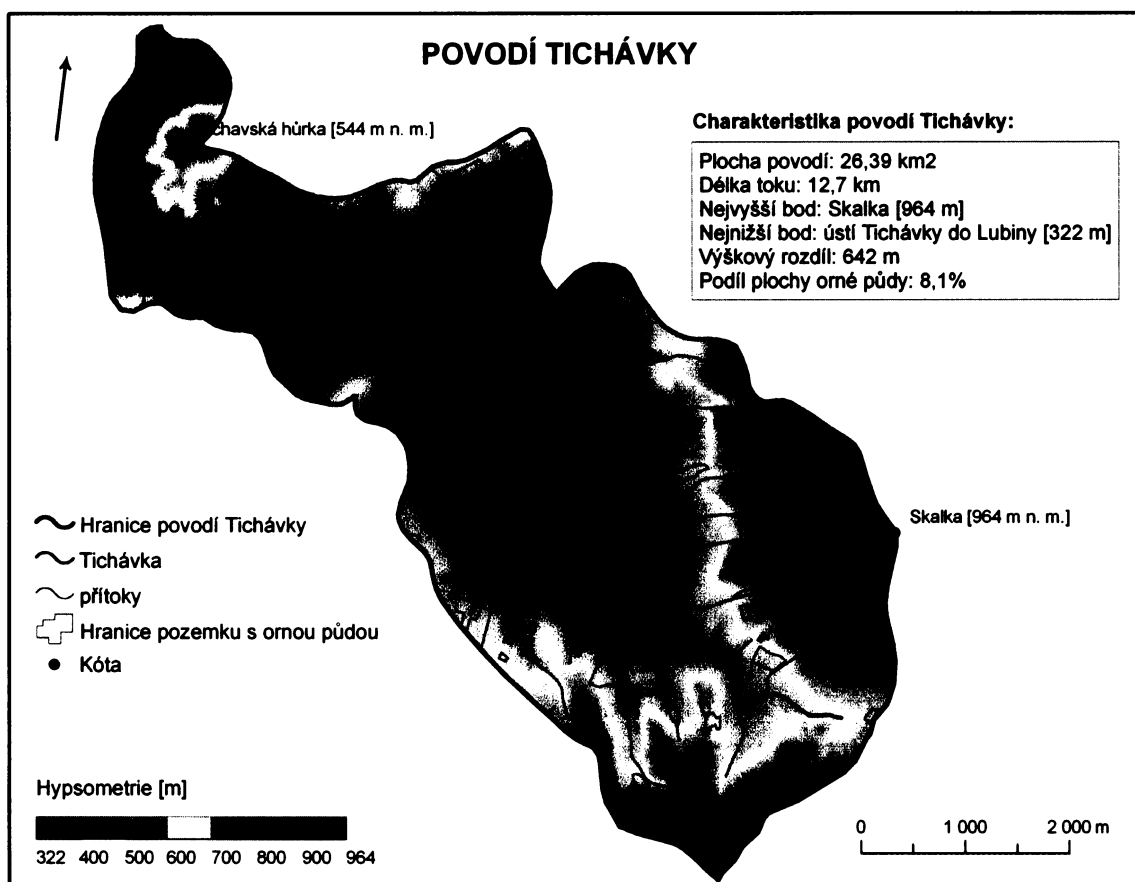
Tab.2: Druh užívání území podle Corine 2000

Druh užívání území	% plochy povodí
Uměle přetvořené povrchy	9,7
Orná půda	6,7
Smíšené zemědělské porosty	54,5
Lesy a polopřirodní vegetace	29,0

Zdroj: Corine 2000 (<http://geoportal.cenia.cz>)

Podkladem pro hodnocení využití území v Tab.1 však byla multispektrální družicová data mezinárodního projektu CORINE Land Cover z let 1994 až 1995 v měřítku 1 : 100 000. V poslední době však v souvislosti s dotační zemědělskou politikou, kdy uvádění půdy do klidu je provázáno s poskytováním zemědělských dotací na údržbu pozemků, byl zaznamenán silný nárůst převodů orné půdy do kultury louka a pastvina ze strany vlastníků pozemků, což mělo za následek značný úbytek orné půdy (Tab.2: Corine 2000). V souvislosti s dotacemi došlo rovněž ke zvýšení převodů z kultury ostatní plocha na pastvinu případně louku.

Obr.5: Povodí řeky Tichávky



Podkladová data: ZABAGED

4. Metodika

4.1. Metoda výpočtu

Univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy z pozemků vodní erozí (Wischmeier, Smith, 1978) vyjadřuje kvantitativní účinek hlavních faktorů, ovlivňujících vodní erozi způsobovanou přívalovými dešti. Byla odvozena měřeními na tzv. jednotkovém/standardním pozemku, což je pozemek se sklonem 9 %, délkou svahu 22,13 m, jehož povrch je mechanicky kultivován ve směru sklonu svahu. Byla upravena pro české poměry (Janeček, 1992). Má tvar $G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$.

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

R ~ faktor erozní účinnosti dešťů

K ~ faktor erodovatelnosti půdy

L ~ faktor délky svahu

S ~ faktor sklonu svahu

C ~ faktor ochranného vlivu vegetačního krytu

P ~ faktor účinnosti protierozních opatření

Faktor erozní účinnosti přívalového deště /R/

R faktor je závislý na četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii dešťů (Janeček, 1992). Je definován univerzální rovnicí jako součin kinetické energie deště E [$J \cdot m^{-2}$] a jeho nejvyšší třicetiminutové intenzity i_{30} [$cm \cdot h^{-1}$], tedy $R = E \cdot i_{30} / 100$ [$MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$].

Faktor erodovatelnosti půdy /K/

Vyjadřuje náchylnost půdy k erozi v závislosti na textuře a struktuře ornice, zrnitostním složení a propustnosti půdy a obsahu organické hmoty (Kirkby, Morgan, 1980). Tyto půdní charakteristiky ovlivňují infiltrační schopnost půdy a odolnost půdních agregátů proti rozrušujícímu účinku dopadajících kapek a transportu povrchově odtékající vodou. Faktor erodovatelnosti půdy, resp. náchylnosti půdy k erozi, je univerzální rovnicí definován jako odnos půdy v $t \cdot ha^{-1}$ na jednotku dešťového faktoru R ze standardního pozemku a vyjádřen vzorcem $100K = 2,1M^{1,14}10^{-4}(12-a) + 3,25(b-2) + 2,5(c-3)$, kde M je vliv zrnitosti ornice, a procento organické hmoty ornice, b třída struktury ornice, c třída propustnosti půdního profilu.

Topografický faktor /LS/

Faktor délky svahu (L) vyjadřuje vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí, faktor sklonu svahu (S) vyjadřuje vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí. Vliv obou těchto faktorů na velikost půdního smyvu je vyjádřen topografickým faktorem LS (tzv. kombinovaný součinitel délky a sklonu svahu), který představuje poměr ztrát půdy na jednotku plochy svahu ke ztrátě půdy na jednotkovém pozemku o délce 22,13 m se sklonem 9 % (Kirkby, Morgan, 1980). Hodnota topografického faktoru LS pro přímé svahy je univerzální rovnicí definována vztahem

$$LS=l_d^{0.5}(0,0138+0,0097s+0,00138s^2) \quad [1]$$

l_d ~ nepřerušená délka svahu [m]

s ~ sklon svahu v %

Samostatně lze hodnotu faktorů stanovit ze vztahů:

$$S=(0,43+0,30s+0,04s^2)/6,613 \quad [2]$$

s ~ sklon svahu v %

$$L=(l_d/22,13)^p \quad [3]$$

l_d ~ nepřerušená délka svahu [m]

p ~ exponent zahrnující vliv sklonu svahu (tabulka Janeček, 2002)

Faktor ochranného vlivu vegetace /C/

Vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace, osevním postupu a použité agrotechnice. Vliv vegetačního pokryvu na smyv půdy se projevuje jednak přímo ochranou povrchu půdy před destruktivním působením dopadajících dešťových kapek a zpomalováním rychlosti povrchového odtoku a jednak nepřímo působením vegetace na půdní vlastnosti, zejména na pórovitost a propustnost včetně omezení možnosti zanášení pórů rozplavenými půdními částicemi a mechanickým zpevněním půdy kořenovým systémem. Ochranný vliv vegetace je přímo úměrný pokryvnosti a hustotě porostu v době přívalového deště (duben-září). Dobrou protierozní ochranu představují porosty trav a jetelovin, zatímco běžným způsobem pěstované širokořádkové plodiny (kukuřice, okopaniny, ovocné výsadby a vinice) chrání půdu nedostatečně (Janeček, 1992).

Faktor účinnosti protierozních opatření /P/

Hodnota faktoru účinnosti protierozních opatření (Janeček, 2002) je závislá na sklonu svahu a použitých protierozních opatřeních: maximální délka pozemku po spádnici při vrstevnicovém obdělávání, maximální šířka a počet pásů při pásovém střídání plodin, hrázkování, brázdování, terasování apod.

4.2. Vstupní data a použitý software

4.2.1. Software

Při modelování ohroženosti půd vodní erozí jsem využila software ArcGIS 9.2 firmy ESRI. ArcGIS je k dispozici ve třech verzích. ArcView poskytuje rozsáhlé nástroje pro tvorbu map a získávání informací z map a jednoduché nástroje pro editaci a prostorové operace. ArcEditor má plnou funkcionalitu ArcView a navíc rozšířené editační možnosti pro shapefile a geodatabáze. ArcInfo rozšiřuje funkcionalitu obou předchozích produktů o sofistikované prostorové analýzy. Funkcionalitu těchto produktů lze rozšířit přidáním nejrůznějších nadstaveb ArcGIS, které dovolí provádět takové úlohy, jako je např. práce s rastrovými daty, 3D analýza apod. Nejdůležitějšími jsou ArcGIS 3D Analyst, který je zaměřen na tvorbu analýzu a zobrazení dat ve 3D, poskytuje nástroje pro tvorbu 3D povrchů (rastrový nebo trojúhelníkový model) a jejich analýzu (orientace svahů, sklon, změna sklonu, rozdíl dvou ploch, výpočet kubatury, profil, analýza viditelnosti, ...), a

ArcGIS Spatial Analyst, který nabízí širokou škálu nástrojů pro prostorové modelování a analýzu dat, která se v území spojitě mění (nadmořská výška, demografická data, znečištění apod.), interpolaci měřených hodnot, kombinaci rastrových a vektorových dat (mapová algebra), modelování a analýzy terénu a hydrologické modelování (ARCDATA PRAHA, 2007).

Produkty ArcGIS jsou tvořeny aplikacemi ArcCatalog, ArcMap, ArcToolbox a ModelBuilder. Aplikace ArcCatalog slouží k organizaci a správě dat. ArcMap je centrální aplikace ArcGIS, která slouží pro všechny mapově orientované úlohy kartografie, prostorových analýz a editace dat. Prostředí pro zpracování prostorových dat je tvořeno dvěma hlavními částmi: aplikací ArcToolbox, která poskytuje organizovanou sadu nástrojů pro zpracování prostorových dat, a aplikací ModelBuilder, která používá vizuální modelovací jazyk pro tvorbu postupů zpracování prostorových dat a skriptů (ARCDATA PRAHA, 2007).

4.2.2. Vstupní data

Digitální model terénu (DMT)

Podkladem pro analýzu reliéfu a výpočet topografického faktoru je digitální model terénu a záleží tedy na jeho kvalitě. Tvorba DMT byla provedena v softwaru ArcGIS pomocí nadstavby 3D Analyst. Vstupní data pro DMT tvoří výškopis ZABAGED (Základní báze geografických dat), který poskytl Český úřad zeměměřický a katastrální. Byl odvozen ze Základní mapy České republiky 1:10 000 v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému baltském po vyrovnání. Výškopis ZABAGED je tvořen vrstevnicemi s intervalem 2 m, v rovinných územích 1 m, ve formátu *.dgn pro jednotlivé mapové listy. Pro potřeby další práce v ArcGIS bylo nutné tento formát konvertovat do formátu shapefile (*.shp) – po načtení dat ve formátu *.dgn a kliknutím pravým tlačítkem myši se zobrazí kontextová tabulka, ve které volba Data/Export Data umožňuje uložit data ve formátu *.shp. Ty byly následně sloučeny do souboru vrstevnice.shp pomocí nástroje Data Management Tools/General/Merge. ArcGIS pracují se dvěma typy formátů DMT, s rastrovým nebo vektorovým datovým modelem (Jedlička, Mentlík, 2002). Povrch ve vektorovém datovém modelu je definován jako nepravidelná trojúhelníková síť (Triangulated Irregular Network - TIN). Strany trojúhelníků jsou voleny s ohledem na významné orografické linie. Povrch v rastrovém datovém modelu (rastru) je reprezentován hodnotou buňky (pixelu). Buňky tvoří pravidelnou čtvercovou mřížku, jednoznačně definovanou souřadnicemi počátečního bodu, velikostí buňky a počtem buněk. Ze souboru vrstevnice.shp byl vytvořen a editován TIN, který byl následně funkcí TIN to Raster konvertován do rastru s velikostí buňky 5 m. Nutnou součástí tvorby DMT bylo provedení hydrologické korekce, aby byly odstraněny chybové bezodtoké oblasti. Toto bylo docíleno pomocí nástroje Fill. Dále byl funkcí Extract by Mask „vytažen“ rastr pro studované území. Mask – hranice povodí – byla převzata z dat VÚV T. G. Masaryka. Ze stejného zdroje byla převzata i vrstva vodních toků. Výslednému rastru byl přiřazen souřadnicový systém S-JTSK pomocí nástroje Data Management Tools/Projections & Transformations/ Raster/ Define Projection.

Hodnoty K faktoru

Databázi údajů o BPEJ (bonitovaná půdně ekologická jednotka) pro území celé České republiky spravuje Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP). Odtud byly převzaty hodnoty faktoru K pro každou BPEJ v modelovém území. Bližší metodikou stanovení hodnot faktoru K pro půdní poměry ČR se zabývá práce J. Vopravila (2006). HPJ (hlavní půdní jednotky) jsou podle hodnoty K faktoru rozděleny do 6 skupin.

Skupina 1 – nenáchylné HPJ k vodní erozi: $K < 0,20$. Půdy zrnitostně značně lehké, vodopropustné a výsušné.

Skupina 2 – slabě náchylné HPJ k vodní erozi: $K 0,20-0,30$. Rozmanité půdy, které mají buď vysoký obsah humusu a dobrý strukturní stav, nebo propustné a zrnitostně lehké půdy.

Skupina 3 – středně náchylné HPJ k vodní erozi: $K 0,30-0,40$. V této skupině převažují dvě uskupení půd. Půdy, kde převažuje dobrý vláhový režim a dobrá struktura ornice. Substrátově je toto uskupení velmi rozmanité – spraš, flyš i různé horniny. Druhé uskupení jsou půdy převážně zamokřelé, které mají vysoký obsah humusu.

Skupina 4 – silně náchylné HPJ k vodní erozi: $K 0,40-0,50$. Zejména černozemě a spraš, dále půdy, kde působí proces illimerizace a některé hydromorfní půdy. Z hlediska využití půdy se převážně jedná o trvalé travní porosty.

Skupina 5 – nejnáchylnější HPJ k vodní erozi: $K > 0,50$. Jedná se většinou o velmi kvalitní půdy (černozem luvická, hnědozem, apod.) a to díky zrnitostnímu složení ornice a snižujícímu se obsahu humusu.

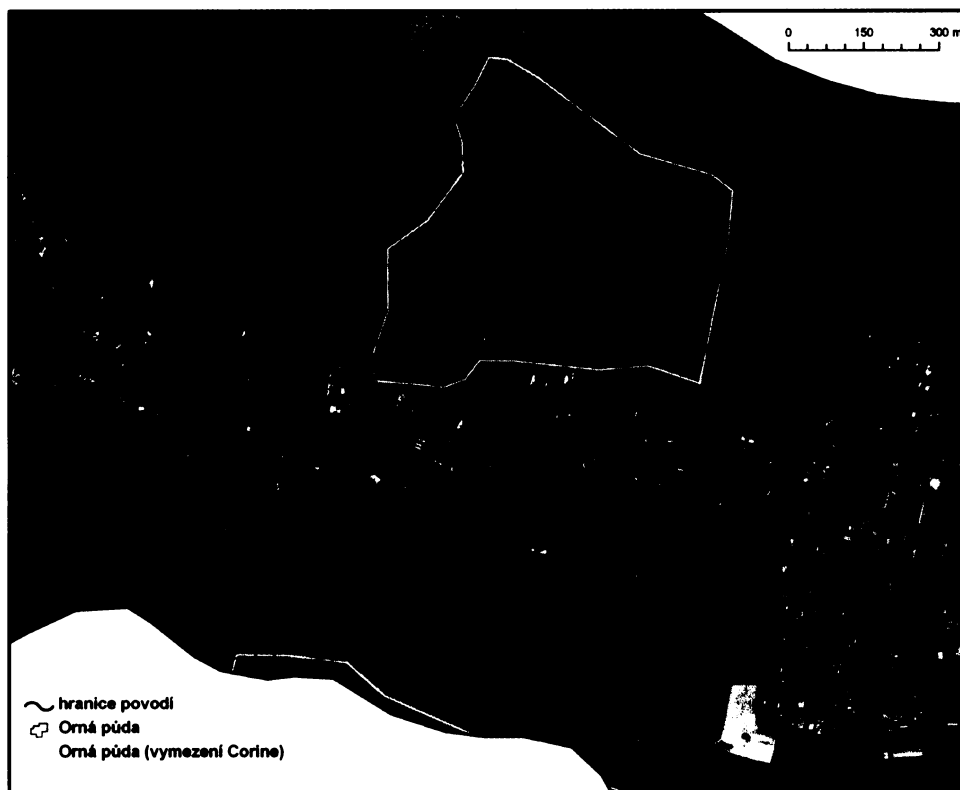
Skupina 6 – nehodnocené HPJ: nedostatek dat. Tyto HPJ mají z hlediska celkového plošného zastoupení u zemědělských půd minimální význam.

Kód 230 pak znamená les a 99 nezemědělskou půdu. Tabulka zařazení jednotlivých HPJ do skupin podle hodnoty K faktoru je uvedena v přílohách

Orná půda

Pro stanovení dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí je nutné vložit polygonovou vrstvu jednotlivých pozemků s ornou půdou. Použití dat projektu Corine 2000 nebylo možné (Obr.6), protože projekt Corine byl vytvořen pro účely menšího měřítka (1:100 000), než je měřítko grafických výstupů použité v této práci (1:45 000). Proto byla v software ArcGIS procesem vektorizace vytvořena nová polygonová vrstva orné půdy na základě terénních průzkumů a ortofota s rozlišením 1m pořízeného 21.11.2005 a získaného ze serveru <http://geoportal.cenia.cz>. Proces vektorizace umožňuje převedení digitálních rastrových dat do digitální vektorové podoby tak, že polohu objektů na podkladovém rastru snímáme (obkreslujeme) pomocí kurzoru myši na obrazovce počítače (Bravený, Štych, Grill, 2006). Software ArcGIS při tom musí být v režimu editace (v nástrojové liště Editor Toolbar volba Editor/Start Editing). Nový objekt vytvoří nástroj Create New Feature. V menu Editor/Snapping lze nastavit automatické přichytávání k hranám (Edge), lomovým bodům (Vertex) nebo koncům (End) vektorových vrstev. Podle tohoto vymezení zabírá orná půda 8,1 % plochy povodí. Vodní eroze se projevuje především na vegetaci nedostatečně chráněné orné půdě. Vektorizací tak bylo získáno poměrně přesné a aktuální vymezení oblastí náchylných ke vzniku eroze.

Obr.6: Ukázka vymezení orné půdy v projektu Corine 2000



Podklad: Ortofoto s rozlišením 1 m (<http://geoportal.cenia.cz>)

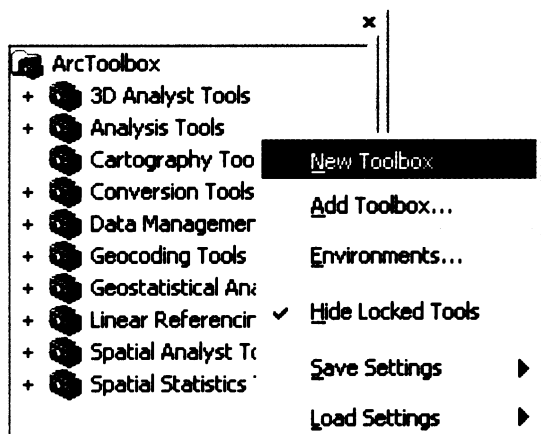
4.3. Konstrukce modelu

Vychází z určení hodnot jednotlivých faktorů dle metodiky upravené pro české poměry (Janeček, 1992) za pomoci softwaru ArcGIS a jeho nástroje ModelBuilder.

4.3.1. Možnosti využití ArcGIS pro vytváření modelů

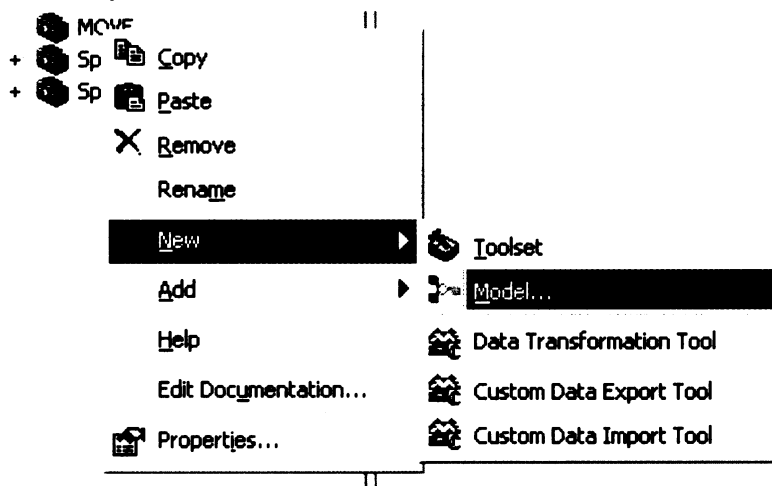
Pro modelování procesů (v tomto případě vodní eroze) v ArcGIS je výhodné využít rozhraní aplikace ModelBuilder, které poskytuje grafické modelovací prostředí. Modely jsou prezentovány jako diagramy postupů zpracování dat. Seřazují řadu nástrojů a dat za účelem vytvoření žádaného procesu. Model musí být lokalizovaný v Toolboxu, a protože modely nelze vytvářet v rámci standardních Toolboxů, musíme vytvořit vlastní - v prostředí ArcToolbox klikneme pravým tlačítkem myši a zadáme New Toolbox a jméno (Obr.7). Ukládání Toolboxů můžeme změnit v Tools/Options/Geoprocessing/My Toolboxes. Kliknutím pravým na vytvořený Toolbox a volbou New/Model (Obr.8) se otevře okno, ve kterém se model vytváří. Model lze přejmenovat v Model/Model Properties. Při novém spuštění modelu dvojklikem se model spustí - proběhne, chceme-li model ještě upravovat musíme na něj kliknout pravým a zvolit Edit.

Obr.7: Vytvoření vlastní sady nástrojů (Toolbox)





Zdroj: ArcGIS 9.2

Obr.8: Vytvoření nového modelu



Zdroj: ArcGIS 9.2

Nástroje ArcToolbox a datové sady lze do modelu přidat pomocí tlačítka Add Data  nebo je jen jednoduše přetáhnout. Pomocí nastavení jednotlivých nástrojů nebo pomocí tlačítka Connector  lze data a nástroje propojovat a řetězit za sebe. Nástrojová lišta dále obsahuje tlačítka k organizaci okna (přiblížení apod.) a ke spuštění modelu. Pokud mají nástroje správně nastaveny všechny parametry, které potřebují k vytvoření výstupu, jsou vybarveny, v opačném případě jsou bez výplně. Model můžeme spustit buď celý nebo můžeme spouštět jednotlivé nástroje. Když nástroj proběhne, a výstup se uloží, okénko nástroje a výstupu se vystínuje. Volbou Model/Validate Entire Model zkontrolujeme, zda jsou všechny parametry nástrojů v pořádku. Při práci na modelu si můžeme spustit tzv. „přehledové okno“ – Window/Overview Window. Vstupní a vytvořená data můžeme nástroje přebírat „z prostředí“ nebo je můžeme nastavit jako „parametry modelu“ (vhodné u vstupních dat). Parametry modelu jsou označeny písmenem P a při spuštění se model uživatele zeptá, která data má použít. Nástrojům lze nastavit tzv. „předběžné podmínky“, pravým kliknutím na nástroj a

volbou Properties/Preconditions můžeme vybrat co musí být splněno, než se začne provádět funkce. Pro přehlednost můžeme model popsat pomocí popisků – kliknout pravým v prostředí okna ModelBuilder a zvolit Create Label. Pro vytváření dokumentace o modelu můžeme využít souhrnný report (Model/Report), který poskytuje informace o použitých datech a nástrojích, a dále můžeme model (diagram postupu) exportovat jako obrázek volbou Model/Export/To Graphic. ModelBuilder usnadňuje tvorbu, využití, dokumentaci a sdílení modelů.

4.3.2. Stanovení dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí

Stanovení průměrné dlouhodobé ztráty půdy [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$] pro zemědělské pozemky výpočtem USLE vyžaduje vytvoření polygonové vrstvy orné půdy, určení jednotlivých faktorů a výpočet rovnice. V této kapitole je popsán postup konstrukce tohoto modelu. Přehledné schéma je pak uvedeno v kapitole 4.3.4.

Určení R faktoru

Pro území České republiky je možné použít průměrnou roční hodnotu faktoru $R = 20$ (Janeček, 1992). K výpočtu této hodnoty byly použity výsledky ombrografických pozorování ze tří stanic ČHMÚ za období 50 let. Vyhodnocovány byly deště, jejichž úhrn překračoval 12,5 mm a intenzita 24 mm h^{-1} . Průměrná roční hodnota faktoru R je v našich podmínkách hodnotou faktoru R za vegetační období, neboť přívalové deště, vyvolávající na poli smyv půdy se vyskytují od konce dubna do počátku října. 90 % všech přívalových dešťů se vyskytne od června do srpna, v tomto období je ochrana půdy nejdůležitější.

V modelu je pro výpočet USLE pro celé území použita hodnota faktoru $R = 20$, tedy hodnota daná metodikou (Janeček, 1992). Při dostatku dat z meteorologických stanic v okolí studovaného území lze získat rastr hodnot faktoru R interpolací mezi těmito stanicemi a vložit ho do výpočtu modelu. Metodikou určení faktoru R pro jednotlivé meteorologické stanice se zabývá např. Toman, Sanetrník, Filip (1993). Lze také použít regionalizaci průměrných ročních hodnot faktoru R na území ČSFR uvedenou v metodice (Janeček, 1992), která se však ukazuje jako nepřesná. V současné době postupně probíhá zpřesňování regionalizace hodnot R faktoru pro území České republiky na základě údajů ČHMÚ (Janeček, 2002).

Určení K faktoru

– Vytvoření rastru hodnot K faktoru

Data z VÚMOP představují polygony obsahující informace o zařazení BPEJ do jednotlivých skupin 1-6 (kapitola 4.2.). Funkcí Feature to Rastr byly polygony převedeny na rastr podle skupiny K faktoru. Dále bylo třeba provést reklasifikaci (funkcí Reclassify a přenásobením koeficientem 0,01) a přiřadit tak každému pixelu hodnotu K . Jako hodnoty pro prvních pět skupin byly zvoleny krajní a střední hodnoty intervalů, tedy po řadě: 0,2; 0,25; 0,35; 0,45 a 0,5. Skupině nezemědělských půd (kód 99) a lesů (kód 230) byla přiřazena hodnota K faktoru 0,33, která odpovídá hodnotě K faktoru pro kambizem (Vopravil, 2006), která má z půdních typů v modelovém povodí většinové zastoupení. Skupina 6 se ve studovaném území téměř nevyskytuje (0,06 % plochy povodí), proto byla zanedbána a byla jí

přiřazena hodnota pro kambizem.

– **Vyhodnocení váženého průměru K faktoru pro každý pozemek s ornou půdou**

Kvůli zohlednění zastoupení různých hodnot faktoru K na pozemku se váženým průměrem určí jedna hodnota. Rastr K faktoru vstupuje jako tzv. „rastr hodnot“ (Value raster) do funkce Zonal Statistics. Tato funkce statisticky hodnotí hodnoty vstupního rastru v hranicích oblastí z jiné vrstvy (help ArcGIS). Jako parametr oblasti (Zone data) do této funkce vstupuje v tomto případě polygonová vrstva orné půdy. Pro každou jednotu (pozemek) rozpoznatelnou podle specifického ID (Zone field) se provede zvolená statistická metoda (Statistic type) s daty vstupního rastru (rastru K faktoru). Výsledkem v tomto případě použité statistické metody Mean je vážený průměr hodnot faktoru K pro každý pozemek orné půdy.

Určení LS faktoru

Vliv faktorů délky a sklonu svahu na smyv půdy se posuzuje v předpokládaných trasách soustředěného povrchového odtoku na pozemku. Pro jejich určení byl použit vytvořený digitální model terénu. Výpočet zahrnoval následující kroky:

– **Vytvoření rastru směru odtoku z DMT**

Směr odtoku byl vypočítán funkcí Flow Direction z DMT. Tato funkce určuje pro každou buňku směr k buňce v okolí vyšetřované buňky s nejnižší nadmořskou výškou a uloží jej jako hodnotu buňky do rastru směru odtoku z buňky (Jedlička, Mentlík, 2002).

– **Vytvoření rastru délky odtoku z rastru směru odtoku**

Rastr směru odtoku vstupuje do funkce Flow Length – metoda Upstream. Algoritmus počítá počet buněk podél směru odtoku (od počátku odtoku = od rozvodnice), násobí je velikostí pixelu a uloží jako hodnotu rastru délky odtoku (help ArcGIS).

– **Vyhodnocení maximální délky odtoku pro každý pozemek s ornou půdou**

Rastr vzdálenosti buněk od rozvodnice pak vstupuje do funkce Zonal Statistics (popsána výše) kde statistická metoda Maximum vybere maximální hodnotu délky nepřerušovaného svahu pro každý pozemek orné půdy. Výstupem této funkce je tedy hodnota L faktoru pro každý pozemek s ornou půdou.

– **Vytvoření rastru sklonu svahů v procentech z DMT**

Funkce Slope umožňuje z DMT odvodit rastr sklonu svahů přímo v procentech (Percent Rise), což vyžaduje vztah [1] (kapitola 4.1) využitý pro výpočet LS faktoru. Sklon se spočte ze vzdálenosti středů sousedních buněk a z jejich převýšení (help ArcGIS).

– **Vyhodnocení převládajícího sklonu svahu pro každý pozemek s ornou půdou**

Hodnoty rastru sklonu svahů jsou pomocí nástroje Map Algebra, který umožňuje výpočet výrazů pomocí syntaxe jazyka Map Algebra (help ArcGIS), zaokrouhleny na celá čísla (nutné pro metodu výpočtu převládajícího sklonu) a následně jsou funkcí Zonal Statistics metodou Majority vypočítány hodnoty rastru převládajícího sklonu pro každý pozemek a představují tak hodnotu faktoru S pro každý pozemek s ornou půdou.

– **Výpočet topografického faktoru LS**

Hodnoty maximální délky odtoku a převládajícího sklonu svahu vstupují do výpočtu topografického faktoru vztahem [1] (kapitola 4.1) pomocí nástroje Map Algebra. Výsledkem je

rastr LS, kde každému pozemku s ornou půdou je přiřazena hodnota LS faktoru, která dále vstupuje do výpočtu USLE.

Určení C faktoru

Na hodnotu faktoru C má vliv vývoj vegetace, osevním postup a použité agrotechnika. Hodnoty pro jednotlivé plodiny lze převzít z tabulek hodnot C faktoru buďto jako průměrnou roční hodnotu (např. Holý, 1994), která byla použita pro určení C faktoru v této práci, nebo podle pěstebních období, které zahrnují i vliv vývoje plodiny (např. Janeček, 2002). Průměrné hodnoty faktoru C pro hlavní plodiny jsou uvedeny v Tab.x, pro srovnání je uvedena ještě hodnota C faktoru pro kukuřici, která je rovna 0,55. Známe-li procentuální zastoupení osevních ploch v území, lze vypočítat hodnotu C faktoru jako vážený průměr jednotlivých faktorů C pro plodiny pěstované na zkoumaném území vysévané na určitém podílu z celkově oseté plochy. Pro celé povodí Odry má C faktor hodnotu 0,12 (Tab.3).

Tab.3: Nejvýznamnější plodiny pěstované v povodí Odry

Plodiny	Plocha [ha]	% orné půdy	prům. hodnota C	C*Plocha (průměr)
Obiloviny	99 884	47,66	0,13	12 984,92
Luskoviny	880	0,42	0,3	264,00
Brambory	1 222	0,58	0,48	586,56
Cukrovka	9 572	4,57	0,44	4 211,68
Technické plodiny	28 097	13,41	0,21	5 900,37
Pícniny	69 925	33,36	0,02	1 398,50
Orná celkem	209 580	100		0,12

Zdroj: Zpráva 2005 o charakterizaci oblasti povodí Odry

Uvažujeme-li pro modelové území využití pro pěstování obilovin, technických plodin (řepky) a pícnin a to ve stejném poměru, hodnota C faktoru je také 0,12. Proto byla pro modelové území tato hodnota zvolena jako hodnota faktoru C při výpočtu USLE.

Určení P faktoru

Pro zjištění potenciálně nejvyšší ztráty půdy z vyšetřovaných pozemků bylo nutno počítat s hodnotou faktoru P = 1, která vyjadřuje absenci protierozních opatření, tedy orbu po spádnici. Pokud by byla známa aplikace protierozních opatření pro pozemky orné půdy, je možné jejich vliv zahrnout do výpočtu úpravou hodnoty P podle tabulky (např. Janeček, 2002).

Výpočet univerzální rovnice

Pomocí nástroje Map Algebra se provede vynásobení hodnoty LS faktoru, K faktoru, R faktoru=20, C faktoru=0,12 a P faktoru=1. Výsledkem je rastr, který pro jednotlivé pozemky s ornou půdou udává průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy vodní erozí v t.ha⁻¹.rok⁻¹.

4.3.3. Stanovení potenciální ohroženosti půd vodní erozí

Vliv přírodních faktorů (klimatických, pedologických, geologických a hodnot sklonů svahů) i při jejich prostorové variabilitě je vcelku místně stabilní. Působení přírodních podmínek prakticky není ovlivněno působením činnosti člověka. Podíl působení těchto faktorů nazýváme potenciální eroze půdy (Stehlík, 1975). Mapovým vyjádřením vlivu přírodních faktorů tedy můžeme pro území stanovit erozní potenciál. Potenciální ohrožení půdy vodní erozí v území vyjadřuje součin faktoru erodovatelnosti půdy K a faktoru sklonu svahu S univerzální rovnice (Vopravil a kol., 2004). Vytvoření tohoto modelu vyžaduje následující kroky:

- **Vytvoření rastru hodnot sklonu svahů v procentech z DMT**

Uvedeno v kapitole 4.3.2.

- **Vytvoření rastru S z rastru sklonu svahů**

Z rastru sklonu svahů v procentech se podle vztahu [2] (kapitola 4.1) pomocí nástroje Map Algebra vypočítá sklon svahu pro každý pixel.

- **Vytvoření rastru hodnot K faktoru**

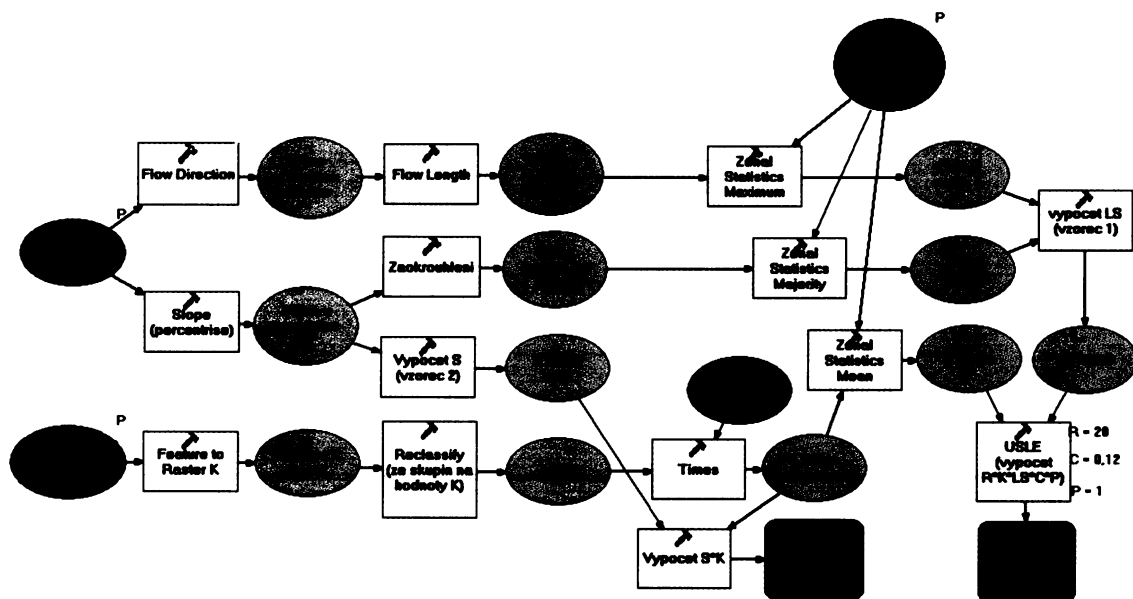
Uvedeno v kapitole 4.3.2.

- **Výpočet potenciálního ohrožení půd vodní erozí = S*K**

Vynásobením rastru K faktoru a rastru S faktoru se pro každý pixel vypočte potenciální ohrožení půdy vodní erozí, které lze mapově vyjádřit.

4.3.4. Schéma vytvořeného modelu v softwaru ArcGIS

Obr.9: Schéma modelu

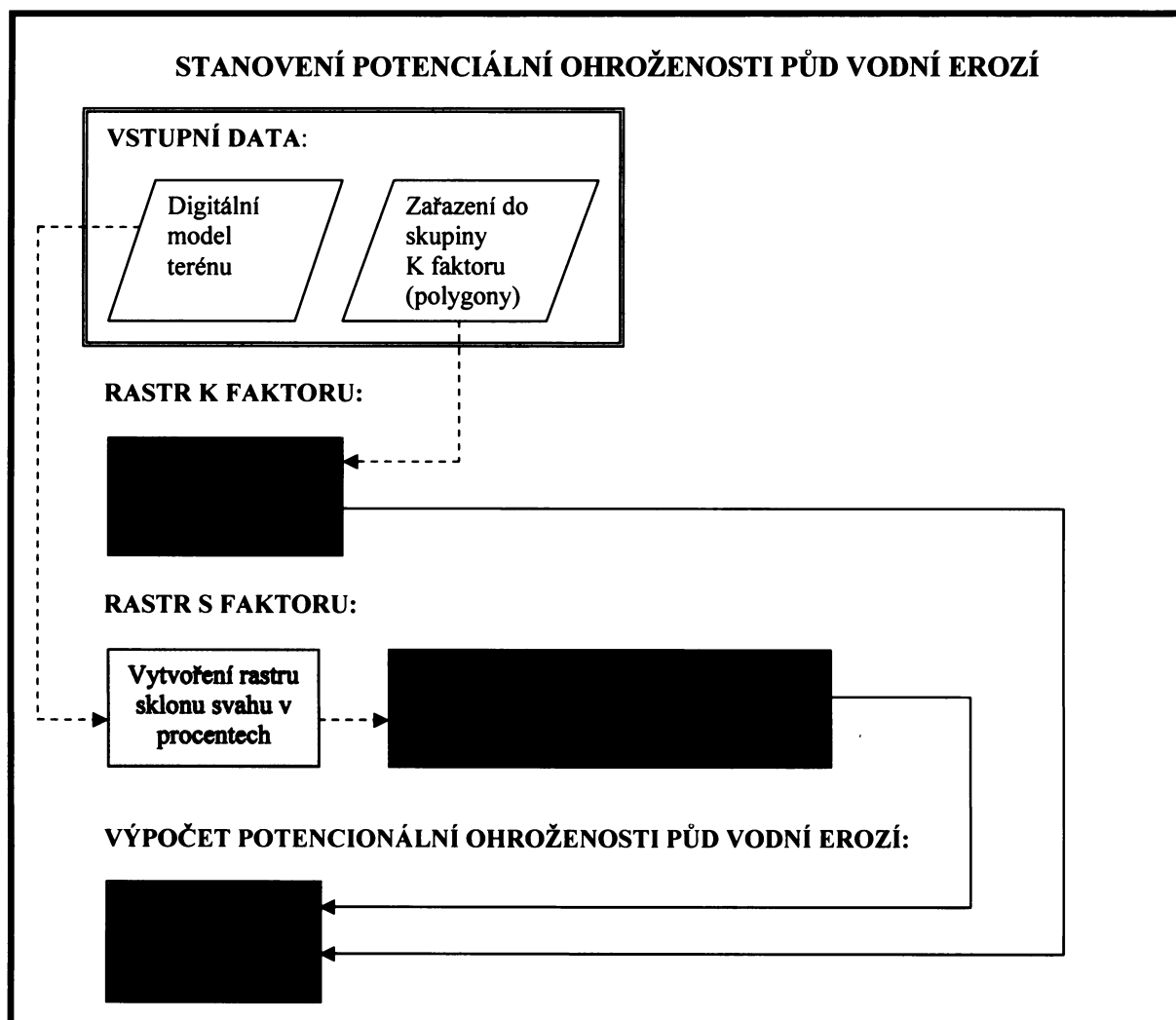


Zdroj: autorka

5. Výsledky

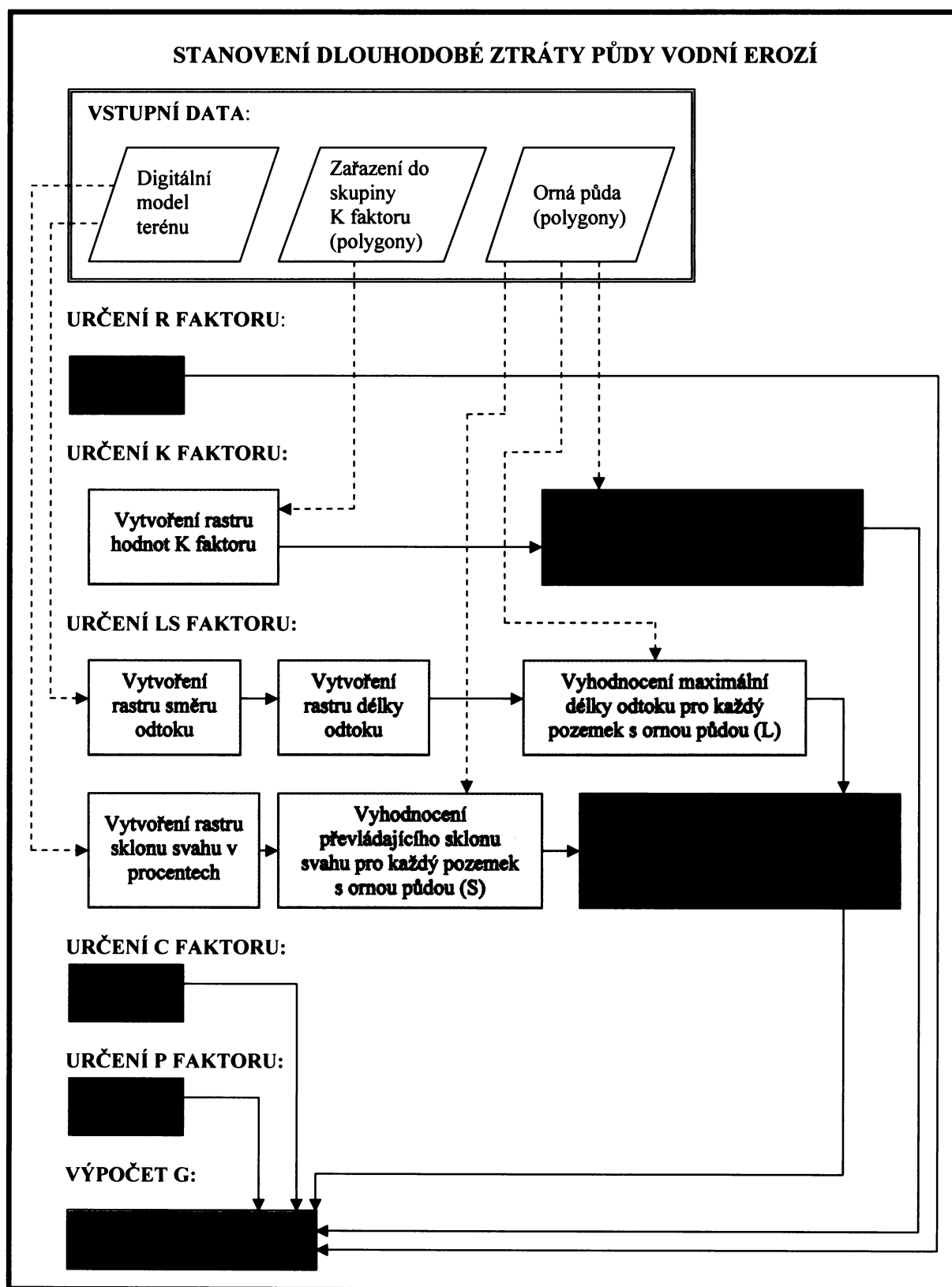
Hlavním výsledkem je vytvořený model, jehož výstupem je jednak vypočtená průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí pro každý pozemek s ornou půdou a jednak rastr potenciální ohroženosti půdy vodní erozí pro celé modelové území. Model je k dispozici na příloženém CD. Následující dvě schémata představují **postupy stanovení** potenciální ohroženosti půd modelového území vodní erozí (Obr.10) a průměrné dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí z pozemků s ornou půdou (Obr.11). Konkrétní nástroje ArcGIS 9.2 použité pro zpracování a analýzu dat jsou podrobně popsány v kapitole 4.3. Správnost a obtíže určení jednotlivých kroků jsou projednávány v diskuzi metodických postupů a výsledků (kapitola 6.).

Obr.10: Schéma stanovení potenciální ohroženosti půd modelového území vodní erozí



Zdroj: autorka

Obr.11: Schéma stanovení dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí z pozemků s ornou půdou



Zdroj: autorka

Přípustný odnos půdy se posuzuje v závislosti na hloubce půdy. Hodnoty stanovené v současné době za přípustné uvádí Tab.4. Čím je půda mělkší, tím je nižší hranice přípustné eroze. Uvedené mezní hodnoty byly stanoveny především z hlediska dlouhodobého zachování úrodnosti půdy pro zemědělské využití. Pro posouzení ochrany vodních zdrojů je nutné postupovat individuálně a vycházet z přípustného množství přísunu produktů eroze do vodního zdroje (Janeček, 1992).

Tab.4: Třídy erozního ohrožení

Hloubka půdy	Přípustný smyv [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Ohroženo [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]			
		středně	výrazně	velmi výrazně	katastrofálně
mělké půdy (do 30 cm)	0 – 1	1,1 - 21	<70	<280	>280
středně hl. půdy (do 60 cm)	0 – 4	4,1 - 21	<70	<280	>280
hluboké půdy (nad 60 cm)	0 – 10	10,1 - 21	<70	<280	>280

Zdroj: Dýrová, 1984

Pro celé modelové území byl vytvořen rastr potenciální ohroženosti půd vodní erozí, který vyjadřuje podíl působení půdních a sklonitostních poměrů na území bez vegetačního pokryvu a hospodářského využívání. Tento rastr poskytuje základní představu o riziku eroze v zájmovém území. Erozní potenciál území byl rozdělen do 7 kategorií potenciální ohroženosti půdy vodní erozí podle mezních hodnot přípustné ztráty půdy (Tab.4). Rozloha a procentuální podíl ploch jednotlivých kategorií je uveden v Tab.5. Výsledky byly znázorněny na tématické mapě potenciální ohroženosti půd povodí Tichávky vodní erozí, která vyjadřuje podíl působení faktoru S a faktoru K na modelové území bez vegetačního pokryvu. Výsledná tématická mapa tvoří přílohu 3.

Tab.5: Potenciální ohroženost půd povodí Tichávky vodní erozí

potenciální ohroženost půd vodní erozí	potenciální ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	plocha povodí [ha]	% plochy povodí
neohrožené	méně jak 1,00	354,21	13,42
náchylné	1,01 - 4,00	597,12	22,63
mírně ohrožené	4,01 - 10,00	591,94	22,43
středně ohrožené	10,01 - 21,00	451,97	17,13
výrazně ohrožené	21,01 - 70,00	449,78	17,04
velmi výrazně ohrožené	70,01 - 280,00	190,13	7,20
katastrofálně ohrožené	více jak 280,01	3,93	0,15

Zdroj: vlastní výpočet

Pro možnost srovnání podílů ploch v kategoriích potenciální ohroženosti půd vodní erozí z hlediska různého vegetačního krytu byla vypočítána rozloha a procentuální podíl ploch jednotlivých kategorií pro ornou a lesní půdu (Tab.6). Jako vrstva orné půdy byla použita vrstva získaná vlastní vektorizací. Pro lesní půdu bylo využito vymezení Corine 2000, které je méně přesné. Z porovnání ortofota z roku 2005 (<http://geoportal.cenia.cz>) a vymezení Corine 2000 vyplývá, že vymezení lesní půdy v projektu Corine 2000, na rozdíl od vymezení orné půdy, dobře odpovídá reálnému prostorovému rozmístění lesa a přesnost dat pro srovnání podílů ploch jednotlivých kategorií je dostatečná.

Tab.6: Potenciální ohroženost orné a lesní půdy vodní erozí

potenciální ohroženost půd vodní erozí	potenciální ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	plocha orné půdy [ha]	% plochy orné půdy	plocha lesní půdy [ha]	% plochy lesní půdy
neohrožené	méně jak 1,00	33,41	15,65	27,25	3,57
náchylné	1,01 - 4,00	55,7825	26,13	59,14	7,75
mírně ohrožené	4,01 - 10,00	63,7525	29,87	104,80	13,74
středně ohrožené	10,01 - 21,00	42,6125	19,96	137,90	18,08
výrazně ohrožené	21,01 - 70,00	17,7475	8,31	253,57	33,24
velmi výrazně ohrožené	70,01 - 280,00	0,135	0,06	176,34	23,12
katastrofálně ohrožené	více jak 280,01	0	0	3,88	0,51

Zdroj: vlastní výpočet

Pro pozemky s ornou půdou byla dosazením odpovídajících hodnot faktorů šetřeného pozemku do univerzální rovnice určována průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí z tohoto pozemku. Překročili-li vypočtená ztráta půdy přípustnou hodnotu (Tab.4), způsob využívání pozemku nezabezpečuje dostatečnou protierozní ochranu půdy a je vhodné uplatnit protierozní opatření. Protierozní opatření představují komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření vzájemně se doplňujících a respektujících zájmy vlastníků a uživatelů půdy, ochrany přírody, životního prostředí a tvorby krajiny (Janeček, 1992). Základním principem zajišťujícím ochranu půdy proti vodní erozi je pěstování plodin nedostatečně chránících půdu před erozí (okopanin, kukuřice a ostatních širokořádkových plodin) pouze na pozemcích rovinných nebo mírně sklonitých (do 8 %). Na orné půdě středně erozí ohrožené (se sklonem do 15 %) je nutno nedostatečný protierozně ochranný účinek širokořádkových plodin zvýšit buď střídáním vrstevnicových pásů okopanin a víceletých píceňin (okopaniny, kukuřice a víceleté pícniny ve smíšených honech), zatímco obilninami je možné osévat celé pozemky. Trvalými travními porosty by měly být chráněny plochy svahových luk a pastvin v půdních poměrech vylučujících orbu při svažitosti 25-50 %. Lesní půda by se měla vyskytovat na všech svazích se sklonem vyšším než 50 %, podle kvality půdy a stupně ohrožení erozí i na menších sklonech.

Hodnoty vypočtené průměrné dlouhodobé ztráty půdy byly na základě mezních hodnot přípustného odnosu půdy rozděleny do čtyř kategorií erozního ohrožení. Procentuální podíl ploch orné půdy a průměrné hodnoty jednotlivých faktorů v jednotlivých kategoriích jsou uvedeny v Tab.7. Průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí z celého povodí je 4,41 t.ha⁻¹.rok⁻¹, což by u středně hlubokých půd značilo už mírné překročení přípustného smyvu.

Tab.7: Průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí z pozemků s ornou půdou

kategorie erozního ohrožení	G (t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	% plochy orné půdy	prům. n.m.v.	průměr				
				K	S (%)	S (°)	L (m)	LS
neohroženo	méně jak 1,00	16,25	430,08	0,30	3,13	1,79	283,68	0,81
mírně ohroženo	1,01 - 4,00	39,32	411,65	0,32	7,97	4,56	389,20	3,22
středně ohroženo	4,01 - 10,00	32,34	434,64	0,32	14,17	8,06	410,40	7,90
výrazně ohroženo	více jak 10,01	12,10	464,34	0,34	20,45	11,56	509,12	15,73

Zdroj: vlastní výpočet

První tři kategorie ještě splňují přípustné hodnoty odnosu půdy. U kategorie středně ohroženo by se závažnost ohrožení musela srovnat s hloubkou půdy. Pokud by byla zjištěna hodnota menší než 60 cm, měla by být i těmto pozemkům věnována pozornost. Poslední kategorii by se měla věnovat pozornost největší, protože překračuje stanovené limity ztráty půdy a půda na těchto pozemcích pravděpodobně není dostatečně chráněná a měla by být zvážena možnost aplikace protierozních opatření. Účinnost protierozních opatření si lze ověřit změnou některého z faktorů univerzální rovnice a opětovným výpočtem se přesvědčit, zda navržené ochranné opatření je dostatečné a zajišťuje snížení průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí pod přípustnou mez.

S rostoucí hodnotou průměrné dlouhodobé ztráty půdy mají i hodnoty jednotlivých faktorů rostoucí tendenci (Tab.7). Vliv faktoru erodovatelnosti půdy na celkovou dlouhodobou ztrátu půdy vodní erozí není výrazný. Z rozboru grafu distribuce hodnot vyplývá, že 30 % půd spadá do skupiny 1 a 2, tedy nenáchylné a slabě náchylné HPJ k vodní erozi ($K < 0,30$); 55 % tvoří skupina 3 – středně náchylné HPJ k vodní erozi ($K 0,30-0,40$); skupina 4 – silně náchylné HPJ k vodní erozi ($K 0,40-0,50$) zabírá 15 % orné půdy a skupina 5 – nejnáchylnější HPJ k vodní erozi ($K > 0,50$) se na pozemcích s ornou půdou nevyskytuje. Vliv topografického faktoru má na výslednou průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy největší vliv. Nejsilnější působení v území modelového povodí vykazuje faktor sklonu svahu S. Do 8 % má sklon 44 % plochy orné půdy, avšak sklon větší než 15 % má 15 % plochy orné půdy!

Pro demonstraci výsledků byly vytvořeny následující tématické mapy: Tématická mapa průměrné dlouhodobé ztráty půdy na pozemcích s ornou půdou (příloha 4), která vyjadřuje intenzitu vodní eroze na pozemcích a vymezuje ohrožené pozemky. Tématická mapa rozložení hodnot K faktoru na pozemcích s ornou půdou (příloha 5), která znázorňuje erodovatelnost půd na jednotlivých pozemcích. Tématická mapa rozložení hodnot LS faktoru na pozemcích s ornou půdou (příloha 6), která znázorňuje vliv topografického faktoru na každý pozemek.

Dále byla vytvořena databáze ve formátu *.dbf, která pro každý pozemek s ornou půdou udává: plochu pozemku, minimální a maximální nadmořskou výšku pozemku a jejich rozdíl, průměrnou nadmořskou výšku pozemku, faktor S - převládající sklon pozemku, faktor L - největší nepřerušenu délku odtoku, faktor LS - celkový vliv topografického faktoru, faktor K - vážený průměr faktoru erodovatelnosti půdy a výslednou průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy G. Tabulka je uvedena v přílohách práce (příloha 1) a taktéž je ve formátu *.dbf k dispozici na příloženém CD. Podle ID (identifikačního čísla) pozemku je v softwaru ArcGIS snadno připojitelná k polygonové vrstvě pozemků s ornou půdou, která je též na příloženém CD ve formátu *.shp.

6. Diskuse metodických postupů a výsledků

Pro model poukazující na pozemky s ornou půdou ohrožené vodní erozí navržený v softwaru ArcGIS 9.2 firmy ESRI, byla zvolena mezinárodně používaná metodika USLE upravená pro podmínky našeho státu Janečkem (1992). Jedná se o empirický model, vychází tedy ze statistické analýzy dlouhodobého experimentálního sledování vlivu jednotlivých erozních faktorů na erozi na tzv. jednotkovém/standardním pozemku, což je pozemek se sklonem 9 %, délkou svahu 22,13 m, jehož povrch je mechanicky kultivován ve směru sklonu svahu. Vyjadřuje kvantitativní účinek hlavních faktorů, ovlivňujících vodní erozi způsobovanou přívalovými dešti. Její výhody jsou relativní jednoduchost, účelnost, rychlost výpočtu a možnost využití poměrně snadno získatelných vstupních údajů, což umožňuje snadnou aplikaci rovnice v různých podmínkách. Umožňuje však pouze dlouhodobou predikci ztráty půdy, rovnici nelze použít pro zjištění ztráty půdy způsobené jednotlivými dešti nebo odtokem z tajícího sněhu, počítá pouze s plošnou a rýhovou erozí. Další nevýhodou a rozdílem od fyzikálně podložených modelů je, že nepočítá povrchový odtok a jeho transportní kapacitu a jejím výstupem tedy není množství splavenin. Jejím výsledkem je průměrná dlouhodobá ztráta půdy z pozemků vodní erozí v $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$. Je vhodná také pro vytipování kritických míst z hlediska vzniku eroze, výzkum relativní odezvy povodí na různé způsoby jeho využití a stanovení možného způsobu využití půdy (Kirkby, Morgan, 1980).

Pro aplikaci modelu bylo zvoleno modelové povodí řeky Tichávky, které spadá do geomorfologického celku Podbeskydská pahorkatina. Členitost reliéfu a geologické složení (flyš) poskytuje vhodné podmínky pro rozvoj vodní eroze půdy. Ve využívání území došlo v posledních letech k výrazné, z hlediska protierozní ochrany pozitivní, změně. Ze srovnání dat projektu Corine z let 1994/5 a 2000 (Tab.1 a Tab.2) je patrný značný úbytek v kategorii orné půdy (ze 33 % na 6,7 %) a nárůst v kategorii smíšených zemědělských porostů (z 31 % na 54,5 %).

Nástroje software ArcGIS 9.2 umožňují modelování přírodních procesů, zpracování a hlavně přípravu vstupních prostorových dat, jejich následnou analýzu a hodnocení území. Největším problémem se ukazuje shromáždění dostatečně kvalitních dat. Do modelu vstupovaly tři vrstvy vstupních dat.

Digitální model terénu byl vytvořen z výškopisu ZABAGED, který poskytl Český úřad zeměměřický a katastrální. Výškopis ZABAGED je tvořen vrstevnicemi s intervalem 2 m, v rovinnatých územích dokonce 1 m, přesto zvláště v těchto oblastech špatně aproximuje skutečný terén (Šeblová, 2003). Pro zpřesnění by bylo vhodné provést kontrolní terénní měření a jeho výsledky zahrnout do vytváření DMT. DMT slouží jako podklad pro další analýzu reliéfu, konkrétně pro nástroje Slope a Flow Direction. Nástroj Flow Direction vyžaduje vstup ve formě rastru, bylo tedy vhodné vytvořit DMT jako rastrový datový model. Toho bylo docíleno přes mezikrok vytvořením vektorového datového modelu (TIN). Každá úprava dat však může produkovat chyby a proto by bylo lepší využít nástroj Topo To Raster, který přímo převádí vektorová data (např. vrstevnice) do rastru. Ze srovnání rastru vytvořeného nástrojem Topo To Raster a rastru vytvořeného z TIN vyplývá, že největší rozdíly obou rastrů se

vyskytují v nejvyšších částech území. Pro potřeby modelování ohroženosti orné půdy, která se však nachází v nižších polohách, je použitý DMT dostatečně přesný.

Hodnoty K faktoru jsou velmi přesně určeny pro BPEJ. Pro ostatní území (lesy, nezemědělská půda) takto kvalitní data neexistují, proto byla použita data komplexního průzkumu zemědělských půd (KPZP) vyjádřená Půdní mapou ČR, tedy data mnohem méně přesná.

Poslední vstupní vrstvou je polygonová vrstva pozemků s ornou půdou. Použití dat projektu Corine 2000 nebylo možné (Obr.6), protože projekt Corine byl vytvořen pro účely menšího měřítka (1:100 000), než je měřítko grafických výstupů použité v této práci (1:45 000). Proto byla vektorizací vytvořena nová polygonová vrstva pozemků s ornou půdou na základě terénních průzkumů a ortofota s rozlišením 1m pořízeného 21.11.2005 a získaného ze serveru <http://geoportal.cenia.cz>.

Pro faktor R byla užitá hodnota 20, tedy průměrná hodnota faktoru pro území celé České republiky. Pro určení faktoru C nebylo uvažováno reálné rozmístění plodin (nebyl proveden terénní průzkum pro zjištění pěstovaných plodin a osevních postupů). Pro modelové území bylo předpokládáno pěstování obilovin, řepky a píce a jejich stejné plošné zastoupení. Hodnota C faktoru tak byla stanovena na 0,12. Pro určení faktoru P byla použita hodnota 1 pro zjištění potenciálně nejvyšší ztráty půdy. Pro volbu odlišných hodnot nebyly známy podklady (konkrétní protierozní postupy obdělávání a hospodaření na pozemcích).

Aplikace ModelBuilder poskytuje grafické modelovací prostředí, které umožňuje modelování erozních procesů. Pro modelování byly využity nástroje ArcToolboxu, což vedlo k zjednodušení určení faktoru S (sklon svahu) pro jednotlivé pozemky s ornou půdou. Nebyl uvažován sklon pro nejstrmější odtokovou dráhu, ale převládající sklon celého pozemku. Mimo jiné řešil výpočet faktoru S ve své diplomové práci Šobra (2004). Pro výpočet využíval nástroje Arc Hydro Tools, konkrétně funkci Steepest Path, která na základě TIN vygenerovala odtokovou křivku. Nejdelší a nejstrmější variantu zvektorizoval a přiřadil pozemku. Funkce Arc Hydro Tools však nelze v aplikaci ModelBuilder využít a vrstva zvektorizovaných odtokových křivek by byla nutná jako další vstupní vrstva. Proto byl výpočet S faktoru zjednodušen na převládající sklon pozemku.

Pro povodí řeky Tichávky v současnosti neexistují údaje měření splavenin a charakteristik povrchového odtoku, která by byla potřebná pro potvrzení vypočtených hodnot. Při potvrzení výsledků je pak možné zjišťovat relativní odezvy jednotlivých pozemků na různé způsoby jejich využití a ověřovat účinnost různých protierozních opatření, která by snížila množství odnášené půdy pod současně stanovenou mez. Prozatím je model dobře využitelný pro přípravu podkladových materiálů pro terénní průzkum a pro určení pozemků nejvíce náchylných k vodní erozi.

7. Závěr

Cílem práce bylo navrzení modelu v softwaru ArcGIS 9.2, který by určoval pozemky s ornou půdou ohrožené vodní erozí, a aplikovat tento model na příkladu modelového území povodí Tichávky. Pro realizaci záměru byla zvolena mezinárodně používaná metodika USLE. Model byl vytvořen v modelovacím prostředí aplikace ModelBuilder, která s využitím nástrojů ArcToolbox umožnila určení hodnot jednotlivých faktorů dle metodiky a výpočet univerzální rovnice ztráty půdy. Výstup vytvořeného modelu tvoří jednak vypočtená průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí pro každý pozemek s ornou půdou a jednak rastr potenciální ohroženosti půdy modelového území vodní erozí. Dále byla vytvořena databáze s hodnotami jednotlivých faktorů pro každý pozemek s ornou půdou a tématické mapy prezentující hlavní výsledky. Vytvořený model je snadno aplikovatelný i pro jiná území díky standardizovaným vstupním datům.

Rastr potenciální ohroženosti půd vodní erozí poskytuje základní představu o riziku eroze **v celém modelovém území**, vyjadřuje podíl působení půdních a sklonitostních poměrů na povodí Tichávky bez vegetačního pokryvu. Rozloha a procentuální podíl ploch jednotlivých kategorií potenciální ohroženosti půdy vodní erozí uvádí Tab.5. Pro možnost srovnání podílů ploch v kategoriích potenciální ohroženosti půd vodní erozí z hlediska různého vegetačního krytu byla vypočítána rozloha a procentuální podíl ploch jednotlivých kategorií pro ornou a lesní půdu (Tab.6).

Pro **pozemky s ornou půdou** byla určována průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí. Vypočtené hodnoty byly srovnány s přípustnými hodnotami odnosu půdy (Tab.4). Průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí z celého povodí je $4,41 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, což by u středně hlubokých půd značilo už mírné překročení přípustného smyvu. Procentuální podíl ploch orné půdy a průměrné hodnoty jednotlivých faktorů v jednotlivých kategoriích erozního ohrožení jsou uvedeny v Tab.7. První kategorie obsahuje neohrožené půdy. U dalších dvou kategorií by se závažnost ohrožení musela srovnat s hloubkou půdy. Pozemky zahrnuté v poslední kategorii (12,10 % plochy orné půdy) překračují stanovené limity ztráty půdy a půda na těchto pozemcích pravděpodobně není dostatečně chráněná. V praxi je ochrana půdy možná snížením množství povrchového odtoku, čímž se docílí zeslabení intenzity erozních procesů (Holý, 1994). K tomu slouží protierozní opatření. Na pozemcích překračujících přípustné hodnoty odnosu půdy by tedy měla být zvážena možnost aplikace těchto opatření. Zda je navržené protierozní opatření dostatečně efektivní a zajišťuje snížení půdního smyvu pod přípustnou mez si lze ověřit změnou příslušného faktoru a opakovaným vypočtením univerzální rovnice. Tímto postupem lze také zjišťovat relativní odezvy jednotlivých pozemků na různé způsoby využití nebo určovat možné využití půdy a přispívat tak k optimalizaci využívání půdního fondu, ochraně půdy a vody, zvelebení krajiny a zvýšení její ekologické stability.

Pro povodí řeky Tichávky v současné době neexistují údaje měření splavenin a charakteristik povrchového odtoku, která jsou potřebná pro potvrzení vypočtených hodnot. Prozatím model určuje pozemky nejvíce ohrožené vodní erozí a poskytuje tak podkladové materiály pro další terénní průzkum. Možnosti dalšího výzkumu tedy představují měření objemu odtoku a velikosti kulminačního průtoku z přívalového deště (pro odhad množství splavenin) a množství splavenin z tohoto deště (pro srovnání). Dále by bylo možné srovnání výsledků vytvořeného modelu s výsledky některého z volně dostupných modelů doporučených pro území ČR (bylo by nutno provést přizpůsobení modelu pro modelové území). Zpřesnění samotného modelu by bylo možné určením reálných hodnot faktorů R, C a P pro jednotlivé pozemky. Dále by bylo vhodné zlepšit výpočet faktoru S, případně pro určení topografického faktoru využít model USLE2D.

8. Použité zdroje a literatura

BEČVÁŘ, M (2004): Využití GIS při řešení vodní eroze v krajině. ArcRevue č. 02, str. 12.

BHUYAN, S.J., KALITA, P.K., JANSSEN, K.A., BARNES, P.L. (2002): Soil loss predictions with three erosion simulation models. Environmental Modelling & Software 17, str. 137-146.

BRAVENÝ, L., ŠTYCH, P., GRILL, S. (2006): Funkční nástroje ArcGIS 9.1. Učební text pro školení v rámci projektu CITT, Praha, 65 s.

BUZEK, L. (1994): Půda – ohrožená složka ŽP. Globální problémy Země. Ateliér Milata v Ostravě, 31 s.

CÁBLÍK, J., JŮVA, K. (1963): Protierozní ochrana půdy. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. 324 s.

DOSTÁL, T. (2006): Simulační modely. 3. přednáška předmětu Protierozní ochrana. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství. http://storm.fsv.cvut.cz/123456.php?id=3on_line&polozka=peo [19.4.2007]

DÝROVÁ, E. (1984): Ochrana a organizace povodí. VÚT v Brně, SNTL, Praha, 159 s.

CHMELOVÁ, R., ŠARAPATKA, B. (2002): Současné metody ve výzkumu vodní eroze půdy. Sborník konference „Pedologické dny 2002“ na téma Degradace půdy. ČZÚ v Praze, s. 123 – 125. ISBN 80-213-1052-9

HOLÝ, M. (1994): Eroze a životní prostředí. ČVÚT, Praha, 383 s. ISBN 80-01-01078-3

JAKUBÍKOVÁ, A. (2007): Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy. Přednáškové odpoledne: „Erozní modely a využití nástrojů GIS pro zpracování projektů protierozní ochrany půdy“. Fakulta lesnická a environmentální. 17.4.2007.

JANEČEK, M. a kol. (1992): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodiky ÚVTIS, Praha, 77 s.

JANEČEK, M. a kol. (1999): Nové směry v protierozní ochraně půdy. Studijní informace – rostlinná výroba 4/98. ÚZPI Praha, 55 s. ISBN 80-86153-93-2

JANEČEK, M. a kol. (2002): Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV, Praha, 201 s. ISBN 85866-85-8

JANEČEK, M., DUMBROVSKÝ, M. (2002): Výzkum degradace půdy erozí a možnosti jejího omezení v rámci pozemkových úprav. Sborník konference „Pedologické dny 2002“ na téma Degradace půdy. ČZÚ v Praze, s. 101 – 107. ISBN 80-213-1052-9

JEDLIČKA, K., MENTLÍK, P. (2002): Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. www.pef.zcu.cz/veda/misc/mentlik/hydr_analys.pdf [19.3.2007]

KAŠPÁREK, M. (1997): Situační zpráva k sesuvu pravých údolních svahů říčky Tichávky v severozápadní části obce Tichá. 12 s.

KIRKBY, M. J., MORGAN, R. P. C. (1980): Soil Erosion. John Wiley & Sons, Ltd., Great Britain, 312 s. ISBN 0 471 27 802 5.

KUNSKÝ, J. (1974): Československo fyzicky zeměpisně. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 251 s.

PASÁK, V. a kol. (1984): Ochrana půdy před erozí. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 164 s.

STEHLÍK, O. (1975): Potenciální eroze půdy proudící vodou. Geografický ústav ČSAV v Brně, 147 s.

ŠELBOVÁ, V. EGRMAJEROVÁ, L., VONDRÁČEK, K. (2003): Využití státního mapového díla ZABAGED při simulaci povodní. ArcRevue č. 04, str.25-29.

ŠOBRA, J.(2004): Aplikace GIS při modelovém hodnocení kvality vody v povodí Berounky. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav životního prostředí, 94 s.

TOMAN, F., SANETRŇÍK, J., FILIP, J. (1993): Vliv klimatických podmínek na faktor erozní účinnosti přivalových dešťů. www.chmi.cz/meteo/CBKS/sbornik93/Toman.pdf [13.2.2007]

TOMÁŠEK, M. (2003): Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha, 68 s. ISBN 80-7075-607-1

UHLÍŘOVÁ, J. (2005): Protierozní ochrana v agroenvironmentálních programech. Sborník referátů z vědecké konference „Štvrté podeznané dny v SR“. VÚPOP Bratislava, s.250-254. ISBN: 80-89128-18-1.

VÁCLAVÍK, T., ŠARAPATKA, B., BEDNÁŘ, M. (2004): Využití půdních dat v modelování udržitelného využití území. Sborník konference „Pedologické dny 2004“ na téma Pedodiverzita. ČZÚ v Praze, s.126 –132. ISBN 80-213-1248-3

VLČEK, V. a kol. (1984): Vodní toky a nádrže. Zeměpisný lexikon ČSR. Academia Praha, 316 s.

VOPRAVIL a kol. (2004): Mapové vyjádření potenciální zranitelnosti půd degradací v modelovém území ČR. Sborník konference „Pedologické dny 2004“ na téma Pedodiverzita. str. 65-66. ISBN 80-213-1248-3

VOPRAVIL, J. (2006): Nové určení faktoru erodovatelnosti půdy K pro jednotlivé HPJ a půdy České republiky. Materiál z odborného semináře „Erozní procesy a pozemkové úpravy“. ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, 6.6.2006, 14 s.

VÁŠKŮ, Z. (2002): Hodnocení vodní eroze půdy v rámci podrobného pedologického výzkumu. Sborník konference „Pedologické dny 2002“ na téma Degradace půdy. ČZÚ v Praze, s. 101 – 107. ISBN 80-213-1052-9

VRÁNA, K., VÁŠKA, J., DOSTÁL, T., STEHNO, D. (2001): Uživatelský manuál SMODERP - WinSMODERP, verze 2.20. ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Praha, 56 s. <http://storm.fsv.cvut.cz/123456.php?id=3software> [20.4.2007]

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. Agricultural Handbook 573, USDA, Washington D.C.

Internetové stránky modelů erozních procesů

AGNPS <http://www.sweb.cz/agnps/> [23.4.2007]

AGNPS <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=5199> [23.4.2007]

ANSWERS <http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/overview/answers.html> [24.4.2007]

CREAMS http://www.wiz.uni-kassel.de/model_db/mdb/creams.html [23.4.2007]

EPIC <http://www.brc.tamus.edu/epic/epfact2004.htm> [23.4.2007]

EUROSEM <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/nsri/research/erosion/eurosem.html> [24.4.2007]

SMODERP <http://storm.fsv.cvut.cz/123456.php?id=3software> [23.4.2007]

WATEM/SEDEM <http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/> [24.4.2007]

WEPP <http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/wepp.html> [24.4.2007]

Další zdroje

ARCDATA PRAHA. Internetové stránky dodavatele softwaru ESRI. <http://www.arcdata.cz/> [19.3.2007]

Česká informační agentura životního prostředí. Ortofoto 2005, Corine 2000, <http://geoportal.cenia.cz> [15.11.2006]

Český úřad zeměměřický a katastrální. Výškopis ZABAGED.

Help ArcGIS. Nápověda programu ArcGIS 9.2

Půdní mapa ČR. List 25-21 Nový Jičín. Měřítko 1:50 000. Ústřední ústav geologický, Praha, 1993.

VÚV T. G. Masaryka. Internetové stránky vodohospodářského výzkumného ústavu T. G. Masaryka. Hydroekologický informační systém. <http://heis.vuv.cz> [20.4.2007]

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Data K faktoru.

Seznam obrázků

- Obr.1: Půda jako subsystém prvků krajinné sféry
- Obr.2: Modelové prostředí USLE2D
- Obr.3: Krajina povodí Tichávky
- Obr.4: Sesuv půdy v červenci 1997
- Obr.5: Povodí řeky Tichávky
- Obr.6: Ukázka vymezení orné půdy v projektu Corine 2000
- Obr.7: Vytvoření vlastní sady nástrojů (Toolbox)
- Obr.8: Vytvoření nového modelu
- Obr.9: Schéma modelu
- Obr.10: Schéma stanovení potenciální ohroženosti půd modelového území vodní erozí
- Obr.11: Schéma stanovení dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí z pozemků s ornou půdou

Seznam tabulek

- Tab.1: Druh užívání území podle Zprávy 2005
- Tab.2: Druh užívání území podle Corine 2000
- Tab.3: Nejvýznamnější plodiny pěstované v povodí Odry
- Tab.4: Třídy erozního ohrožení
- Tab.5: Potenciální ohroženost půd povodí Tichávky vodní erozí
- Tab.6: Potenciální ohroženost orné a lesní půdy vodní erozí
- Tab.7: Průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí z pozemků s ornou půdou

Seznam zkratek

BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
C	Faktor ochranného vlivu vegetačního krytu
CORINE	Coordination of information on the environment
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DMT	Digitální model terénu
ESRI	Economic and Social Research Institute
G	Průměrná dlouhodobá ztráta půdy
GIS	Geografický informační systém
HPJ	Hlavní půdní jednotka
ID	Identifikační číslo
K	Faktor erodovatelnosti půdy
KPZP	Komplexní průzkum zemědělských půd
L	Faktor délky svahu
LS	Faktor topografický
P	Faktor účinnosti protierozních opatření
R	Faktor erozní účinnosti dešťů
S	Faktor sklonu svahu
S-JTSK	Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
TIN	Triangulated Irregular Network (vektorový datový model)
USLE	Universal Soil Loss Equation (univerzální rovnice ztráty půdy)
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
ZABAGED	Základní báze geografických dat

Seznam příloh

Příloha 1: Vybrané charakteristiky jednotlivých pozemků s ornou půdou (tabulka)

Příloha 2: Zařazení jednotlivých HPJ do skupin podle faktoru K (tabulka)

Příloha 3: Tématická mapa potenciální ohroženosti povodí Tichávky vodní erozí

Příloha 4: Tématická mapa průměrné dlouhodobé ztráty půdy na pozemcích s ornou půdou

Příloha 5: Tématická mapa rozložení hodnot K faktoru na pozemcích s ornou půdou

Příloha 6: Tématická mapa rozložení hodnot LS faktoru na pozemcích s ornou půdou

Příloha 1: Vybrané charakteristiky jednotlivých pozemků s ornou půdou

ID	Plocha (m ²)	Minimální n.m.v.	Maximální n.m.v.	Rozdíl n.m.v.	Průměrná n.m.v.	S	L	LS	K	G
1	30 779,81	360	384	24	372,31	8,00	619,26	4,47	0,44	4,83
2	9 365,35	350	361	11	354,50	8,00	101,92	1,81	0,33	1,43
3	12 135,32	349	357	8	354,37	4,00	118,99	0,81	0,33	0,64
4	84 505,69	333	376	43	352,11	9,00	661,98	5,47	0,44	5,87
5	68 588,24	326	334	8	329,11	0,00	1 522,46	0,53	0,25	0,32
6	5 275,33	334	335	1	334,86	2,00	212,13	0,56	0,35	0,48
7	28 199,44	334	339	5	336,50	1,00	221,42	0,37	0,25	0,22
8	1 929,28	363	370	7	367,22	15,00	191,56	6,50	0,34	5,45
9	1 310,67	360	366	6	363,61	15,00	251,92	7,45	0,34	6,26
10	949,29	358	364	6	360,71	19,00	351,77	13,05	0,34	10,96
11	4 344,38	378	390	12	385,28	10,00	284,14	4,19	0,34	3,52
12	5 462,08	403	417	14	410,34	11,00	227,98	4,34	0,34	3,64
13	50 717,88	365	386	21	379,68	12,00	386,83	6,46	0,34	5,38
14	39 143,42	377	414	37	393,91	15,00	1 320,89	17,07	0,33	13,52
15	23 590,08	404	433	29	421,38	22,00	360,20	16,98	0,33	13,45
16	26 966,25	411	428	17	420,46	7,00	334,55	2,73	0,33	2,16
17	86 962,25	425	466	41	445,10	14,00	238,99	6,49	0,33	5,14
18	28 076,16	426	455	29	437,72	16,00	248,63	8,23	0,33	6,52
19	63 934,03	396	445	49	422,64	17,00	505,77	12,98	0,33	10,28
20	12 664,11	381	398	17	391,73	10,00	465,12	5,36	0,33	4,24
21	4 784,24	397	411	14	405,49	14,00	123,13	4,66	0,33	3,69
22	42 557,33	405	419	14	413,57	3,00	252,78	0,87	0,33	0,69
23	53 005,31	415	429	14	424,36	5,00	233,13	1,47	0,34	1,24
24	193 856,82	385	427	42	401,58	5,00	490,91	2,14	0,41	2,14
25	27 265,78	383	407	24	397,04	5,00	308,34	1,69	0,34	1,42
26	57 703,67	390	410	20	407,91	0,00	280,91	0,23	0,34	0,19
27	8 615,69	400	411	11	406,03	12,00	227,07	4,95	0,33	3,92
28	25 589,98	402	433	31	416,13	10,00	319,85	4,44	0,33	3,52
29	9 657,16	432	438	6	435,51	4,00	307,98	1,31	0,33	1,03
30	42 790,64	390	420	30	403,55	5,00	1 027,19	3,10	0,26	1,96
31	5 116,78	418	428	10	423,25	16,00	204,70	7,47	0,32	5,90
32	7 899,81	418	431	13	425,16	10,00	308,28	4,36	0,25	2,62
33	17 672,27	538	572	34	555,24	17,00	661,33	14,85	0,33	11,76
34	67 881,11	490	561	71	521,03	15,00	577,75	11,29	0,34	9,48
35	8 793,12	511	536	25	524,77	16,00	333,84	9,54	0,34	8,01
36	11 238,73	528	559	31	541,34	17,00	1 077,46	18,95	0,34	15,92
37	10 042,51	555	568	13	561,95	15,00	225,00	7,04	0,34	5,90
38	3 398,78	471	476	5	473,72	7,00	114,49	1,59	0,25	0,95
39	9 272,70	463	489	26	476,50	11,00	397,07	5,72	0,34	4,80
40	9 214,64	471	483	12	477,99	14,00	291,21	7,16	0,20	3,44
41	6 673,46	518	530	12	524,48	14,00	379,91	8,18	0,20	4,07
42	13 730,27	505	525	20	514,28	15,00	717,04	12,58	0,20	6,05
43	39 060,23	449	465	16	456,03	7,00	1 899,65	6,50	0,33	5,26
44	11 504,84	474	484	10	479,90	11,00	92,07	2,75	0,20	1,32
45	17 997,09	458	480	22	469,15	12,00	185,71	4,48	0,34	3,76
46	10 774,51	524	549	25	538,37	23,00	230,56	14,68	0,34	12,33
47	13 706,68	440	458	18	448,06	12,00	663,34	8,47	0,30	6,10
48	3 617,18	498	511	13	503,61	18,00	207,27	9,14	0,34	7,68
49	5 617,02	508	529	21	518,59	24,00	298,63	17,99	0,34	15,09
50	1 212,98	479	485	6	482,13	29,00	147,07	17,65	0,34	14,82
51	13 673,46	465	485	20	474,48	15,00	302,78	8,17	0,34	6,86

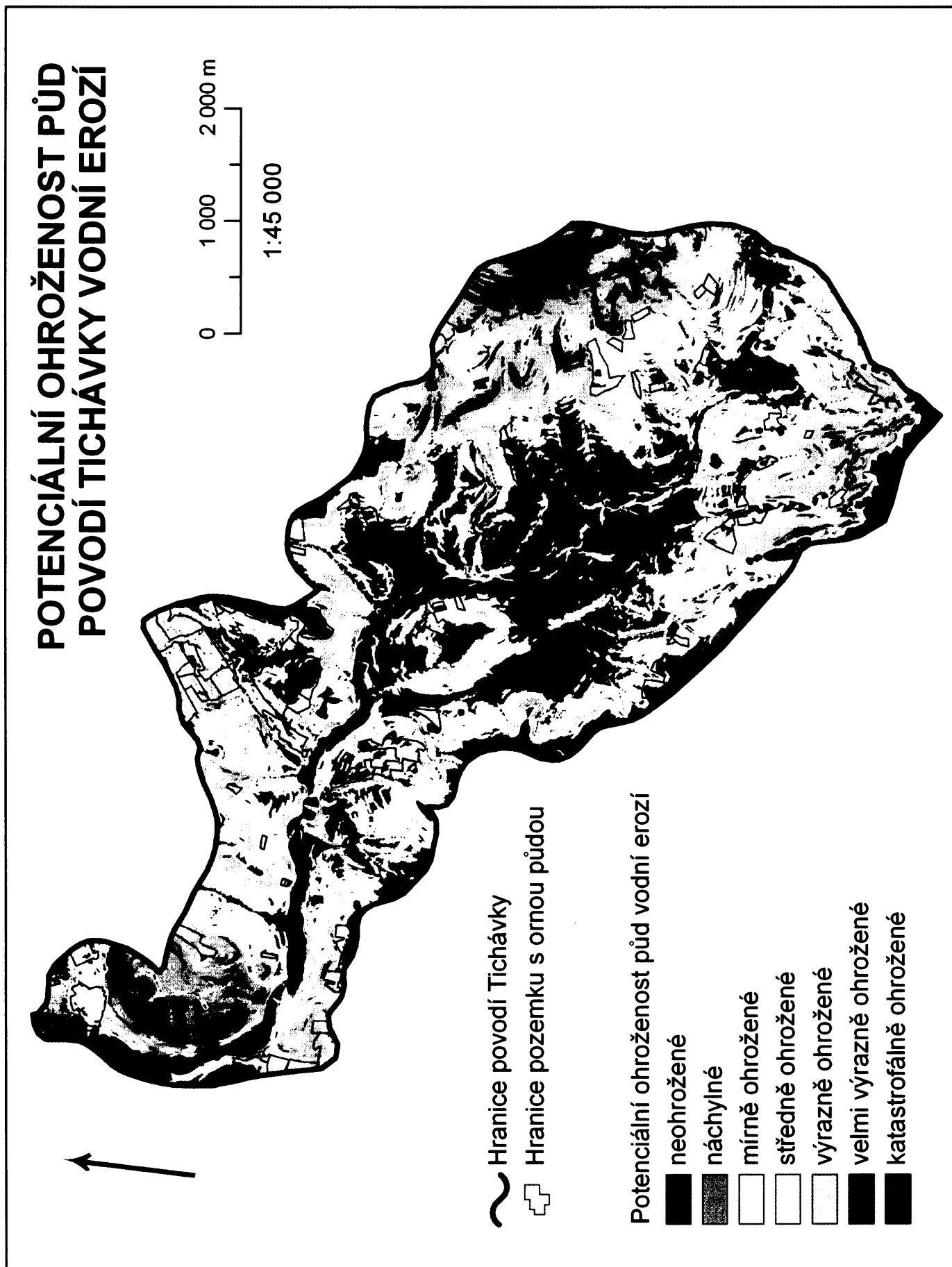
ID	Plocha (m ²)	Minimální n.m.v.	Maximální n.m.v.	Rozdíl n.m.v.	Průměrná n.m.v.	S	L	LS	K	G
52	4 724,30	564	567	3	565,48	4,00	80,35	0,66	0,20	0,32
53	2 707,26	548	553	5	550,13	4,00	63,63	0,59	0,34	0,49
54	4 670,98	545	548	3	546,95	4,00	107,07	0,77	0,32	0,59
55	10 687,30	433	447	14	440,69	11,00	241,21	4,46	0,27	2,97
56	24 707,46	431	449	18	439,53	11,00	528,99	6,61	0,25	3,96
57	50 494,30	430	475	45	448,68	12,00	525,77	7,54	0,25	4,59
58	2 100,71	409	411	2	409,86	4,00	542,98	1,74	0,34	1,46
59	1 425,18	394	397	3	394,93	6,00	244,70	1,90	0,32	1,49
60	47 513,94	379	399	20	390,45	5,00	441,83	2,03	0,27	1,32
61	4 118,11	386	394	8	389,28	7,00	280,35	2,50	0,34	2,10
62	10 115,24	390	397	7	392,74	3,00	386,06	1,08	0,34	0,91
63	14 833,85	390	396	6	393,41	3,00	1 407,40	2,07	0,35	1,75
64	7 536,82	390	398	8	393,64	4,00	1 365,32	2,75	0,34	2,31
65	5 091,04	409	416	7	412,74	9,00	289,14	3,61	0,25	2,17
66	18 253,99	400	410	10	406,39	5,00	180,00	1,29	0,31	0,97
67	3 468,92	456	460	4	457,76	7,00	173,63	1,96	0,34	1,64
68	2 226,95	425	434	9	429,91	18,00	275,56	10,54	0,28	7,10
69	8 305,72	425	448	23	435,09	15,00	415,56	9,57	0,28	6,60
70	31 871,21	431	450	19	443,91	4,00	314,20	1,32	0,30	0,98
71	51 115,65	437	456	19	449,97	3,00	337,07	1,01	0,31	0,77
72	5 831,01	444	446	2	445,54	3,00	63,63	0,44	0,34	0,37
73	19 718,65	374	396	22	384,99	14,00	206,77	6,04	0,34	5,07
74	13 786,02	373	379	6	375,12	7,00	714,55	3,99	0,36	3,48
75	32 099,14	376	419	43	400,95	12,00	510,62	7,43	0,25	4,52
76	1 857,06	393	398	5	395,12	16,00	289,91	8,89	0,25	5,47
77	3 965,79	384	392	8	387,64	15,00	330,26	8,53	0,32	6,56
78	9 304,03	380	399	19	387,36	4,00	428,13	1,54	0,34	1,29
79	127 604,42	377	426	49	402,02	9,00	487,90	4,70	0,30	3,42
80	53 827,67	399	422	23	411,58	7,00	208,99	2,15	0,26	1,36
81	19 936,87	377	414	37	397,68	20,00	190,20	10,47	0,31	7,85
82	15 964,27	419	447	28	433,48	20,00	169,85	9,90	0,34	8,16
83	44 337,27	420	460	40	445,69	22,00	208,63	12,92	0,34	10,84
84	22 783,26	388	436	48	410,08	14,00	218,99	6,21	0,29	4,44
85	3 630,87	356	367	11	362,85	10,00	183,13	3,36	0,42	3,39
86	25 068,84	364	393	29	377,69	16,00	205,91	7,49	0,33	5,99
87	39 959,10	406	444	38	427,79	20,00	438,05	15,90	0,34	13,35
88	4 582,13	360	372	12	366,49	9,00	182,27	2,87	0,34	2,41
89	47 442,50	428	466	38	444,34	7,00	259,49	2,40	0,34	2,01

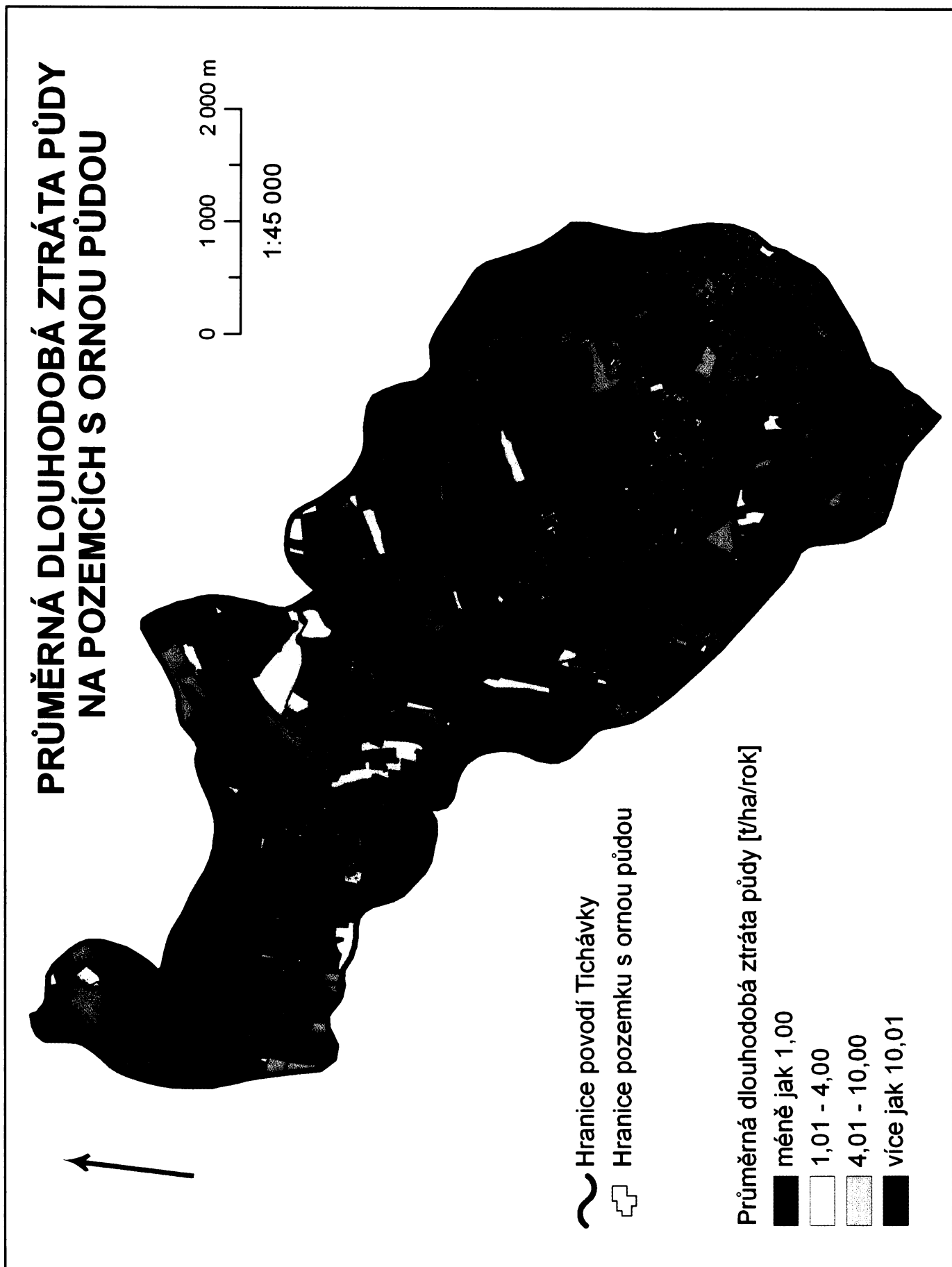
Zdroj: vlastní výpočet

Příloha 2: Zařazení jednotlivých HPJ do skupin podle faktoru K

Skupina	HPJ	K faktor
1	04, 21, 31, 32, 37	do 0,20
2	05, 07, 18, 20, 22, 23, 28, 30, 34, 36, 40, 51, 55	0,21 - 0,30
3	03, 06, 19, 24, 27, 29, 33, 35, 38, 41, 49, 50, 52, 53, 54, 59, 60, 61, 62, 63, 64	0,31 - 0,40
4	01, 02, 08, 12, 17, 2, 26, 46, 47, 48, 56, 57, 58, 67, 68, 70, 71, 72, 73	0,41 - 0,50
5	09, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 42, 43, 44, 45	nad 0,50
6	39, 65, 66, 69, 74, 75, 76, 77, 78	nedostatek dat

Zdroj: Vopravil (2006)





ROZLOŽENÍ HODNOT K FAKTORU NA POZEMCÍCH S ORNOU PŮDOU

