

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE
FAKULTA ZÁHRADNÍCTVA A KRAJINNÉHO INŽINIERSTVA

1129480

MOŽNOSTI URČENIA ERÓZNEJ OHROZENOSTI ÚZEMIA
METÓDAMI GIS

Nitra 2010

Viktor VARGA

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

Rektor: Dr.h.c. prof. Ing. Mikuláš Látečka, PhD.

FAKULTA ZÁHRADNÍCTVA A KRAJINNÉHO INŽINIERSTVA

Dekan: doc. Ing. Karol Kalúz, CSc.

MOŽNOSTI URČENIA ERÓZNEJ OHROZENOSTI ÚZEMIA METÓDAMI GIS

BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program:	Pozemkové úpravy a GIS
Študijný odbor:	6.1.11 Krajinárstvo
Školiace pracovisko:	Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav
Školiteľ:	Ing. Jozef Halva, PhD.

Abstrakt

Bakalárska práca je zameraná na teoretické spracovanie problematiky modelovania erózie pomocou geografických informačných systémov. V práci sa zameriavam na vodnú eróziu.

V prvej časti som spracoval literatúru týkajúcu sa problematiky erózie všeobecne. Čo je to erózia a aké druhy poznáme. Ďalej je spracovaná problematika určovania intenzity vodnej erózie všeobecnou rovnicou zmyvu pôdy (USLE). Popísané sú jednotlivé faktory, ktoré vplývajú na výslednú intenzitu. V jednej časti sa zaoberám aj opatreniami proti vodnej erózie.

Tretia časť je venovaná geografickým informačným systémom. Ich všeobecnej charakteristike a následne popísanie rôznych digitálnych modelov, ktoré spracovávajú problematiku určovania vplyvu vodnej erózie na pôdnom fonde.

Kľúčové slová: vodná erózia, intenzita erózie, GIS, erózne modely

Abstract

Bachelor work is oriented for theoretical adaptation of soil erosion model task by geographic information systems. In my work I focus on water soil erosion.

In the first part, I have prepare literature about soil erosion problems in general. What it is erosion and what types of erosion we know. Then I process problematic about how to define water soil erosion with universal soil loss equation (USLE). I describe all off the factors, that influence for final effect of erosion intensity. In one part I also concern about antierosion measures.

Third part is dedicated to geographic information systems. Their general features and then I described various of digital models, that handle location of water erosion on soil fund.

Key words: soil erosion, erosion intensity, GIS, erosion models

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Viktor Varga vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému "Možnosti určenia eróznej ohrozenosti aplikáciami GIS" vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak hore uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 10. Mája 2010

Pod'akovanie

Ďakujem Ing. Jozefovi Halvovi, PhD. vedúcemu bakalárskej práce, za podnetné a odborné rady, metodické usmernenie, pomoc pri vypracovaní bakalárskej práce a trpezlivosť, ako aj za milý ľudský prístup.

V Nitre dňa 10. Mája 2010

Obsah

Úvod	6
1 Cieľ práce.....	8
2 Materiál a metódy	9
3 Štúdia o súčasnom stave riešenej problematiky	10
3.1 Erózia pôdy.....	10
3.1.1 Vodná erózia	11
3.1.2 Plošná.....	11
3.1.3 Výmoľová	14
3.1.4 Prúdová	16
3.1.5 Ladovcová erózia	16
3.1.6 Veterná erózia	16
3.1.7 Antropogénna erózia	16
3.2 Intenzita erózie	17
3.3 Výpočty intenzity erózie.....	18
3.3.1 Metódy zisťovania intenzity erózie.....	22
3.4 Opatrenia proti vodnej erózií.....	23
3.5 Definícia a obsah GIS.....	26
3.5.1 Čo je to GIS	26
3.5.2 Zložky GIS	27
3.5.3 Priestorové modely	28
3.5.4 Vektorový model	28
3.5.5 Rastrový model	29
3.5.6 Digitálny model reliéfu	31
3.5.7 Geografické informačné technológie spoločnosti ESRI.....	32
3.6 Modelovanie eróznej ohrozenosti.....	34
3.6.1 Vybrané erózne modely	35
4 Návrh na využitie výsledkov	40
Záver	41
Zoznam použitej literatúry	42
Prílohy.....	45

Úvod

Pôda je základným výrobným prostriedkom v poľnohospodárstve aj lesnom hospodárstve a je to súčasť životného prostredia, významný prírodný zdroj a bohatstvo spoločnosti, a preto je veľmi dôležité udržať jej trvalo udržateľný rozvoj. V poslednej dobe degradačné procesy pôdy dosiahli takú veľkú intenzitu, že ich musíme zaradiť medzi k vážnym problémom životného prostredia. Otázka ochrany pôdy patrí k aktuálnym environmentálnym úlohám.

Erózia pôdy je jeden z najrozšírenejších negatívnych vplyvov v životnom prostredí. Má zvláštne postavenie medzi degradačnými procesmi pôdy. Podľa údajov FAO je na svete približne 2 mld. hektárov pôd degradovaných, z toho 56% vodnou eróziou a 28% veternou. Samozrejme je to jeden z hlavných problémov poľnohospodárstva aj na Slovensku. Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy uvádza, že na Slovensku vodnou eróziou nie je ohrozených 52,3% z pozemkového pôdneho fondu, 23,6% je ale extrémne ohrozené vodnou eróziou. Veternou eróziou na Slovensku je degradovaných približne 6,2% pôdneho fondu.

Eróziu nemôžeme chápať len ako proces ohrozenia pôdy a jej produkčných vlastností. Je to celý komplex škodlivých vplyvov, ktoré je veľmi ťažko jednoznačne určiť a ohraničiť. Erózia je prirodzený a neoddeliteľný jav v krajine, ktorý ale keď prekročí určitú hranicu, ktorú by bola schopná príroda sama regulovať, nastáva rýchla strata pôdy a to má veľmi negatívny vplyv na krajinu. Má to za následok znižovanie hrúbky pôdneho profilu a znižovanie kvality pôdy. Tie vplyvy majú za následok znižovanie úrod a kvalitu pestovaných plodín. Taktiež sa tým zhoršuje vodný režim pôd, kvalita povrchových vôd a množstvo ďalších faktorov, ktoré vplývajú na životné prostredie alebo poľnohospodárstvo.

Nárast intenzity erózie vo svete je spôsobený rastom populácie v rozvojových krajinách, keďže sa rozširujú poľnohospodárske pôdy aj na nevhodné územia. V priemyselných krajinách, má skôr za následok neustále zvyšovanie nárokov obyvateľstva, čo sa prejavuje hlavne rozširovaním infraštruktúry, stále intenzívnejším využívaním krajiny a zmenami pôdneho fondu.

Na Slovensku je legislatívne protierózna ochrana zabezpečená v súvislosti z ochranou pôdy. Je zahrnutá v zákone č. 220/2004 Z.z. O ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z.z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia. Ďalej je to napr. norma STN 75 4501.

Eróziu môžeme určovať viacerými spôsobmi. Priamymi pozorovaniami v teréne, ale takéto pozorovanie môže zaberat' veľa času a keďže je potrebné hodnotiť veľké množstvo faktorov je pravdepodobnosť chyby vysoká. Rozvoj geografických informačných systémov a množstvo aplikácií, nám umožňuje využívať rôzne interaktívne metódy spracovania priestorových údajov a ich presnú lokalizáciu. Elektronickými prostriedkami sme schopný eliminovať viacero chýb a zhromažďovať väčšie množstvo údajov naraz. Dokážeme presne a rýchlo analyzovať zdroje, procesy a výsledky. Geografické informačné systémy sú jeden z najlepších aplikačných systémov na určenie a lokalizáciu problémov na pôdnom fonde nielen v poľnohospodárstve. Hlavnou výhodou je, že každý jav alebo údaj, je priradený k presnej lokácii. Aplikácie GIS, umožňujú možnosť výpočtu potencionálnej vodnej erózie univerzálnou rovnicou straty pôdy Wischmeiera - Smitha. Samozrejme spektrum využitia GIS aplikácií v životnom prostredí je rozsiahle a zasahuje takmer do všetkých prírodných, socioekonomických a technických disciplín.

1 Cieľ práce

Cieľom mojej práce je teoreticky spracovať problematiku eróznej ohrozenosti a určovanie intenzity erózie, so zameraním sa na vodnú eróziu. Porovnávaním starších literárnych zdrojov so súčasným spracovaním problematiky. Zachytiť rozdiely v určovaní intenzity erózie a s ňou spojenou eróznou ohrozenosťou. V prvej časti práce je spracovaná erózia všeobecne, rozobratie vodnej erózie a určovanie intenzity vodnej erózie všeobecnou rovnicou zmyvu a charakteristika niektorých protieróznych opatrení.

Ďalej spracovanie problematiky GIS na Slovensku a vo svete. Načrtnúť problém určovania intenzity erózie rôznymi eróznymi modelmi, ktoré využívajú modernú počítačovú techniku, ktorá nám pomáha s teoretickým a presným spracovaním problému a je schopná určiť presnú polohu výskytu problémov v krajine.

2 Materiál a metódy

Po nahlásení témy bakalárskej práce a po prvej konzultácií so školiteľom mi bolo predstretý plán metodiky práce. Bol navrhnutý stručný chronologický postup riešenia práce a bol som oboznámený so širokým okruhom odbornej a vedeckej literatúry.

V prvej etape som sa teoreticky oboznámil s riešenou problematikou. Následne na to som si nechal urobiť rešerš v univerzitnej knižnici pre danú problematiku. Po naštudovaní literatúry a konzultácií som urobil prvý základný obsah.

V druhej etape som roztriedil zozbierané zdroje a zaradil do tematických celkov. Zozbieral som niekoľko internetových zdrojov. Preložil texty českých a zahraničných autorov do slovenského jazyka. V tejto etape som aj nafotil niekoľko vhodných fotografií. Väčšina je z okolia Ružomberka. Na fotografiách zachytávam vodnú eróziu.

Následne na to som spracoval všetky zozbierané zdroje aby sa navzájom dopĺňali a poukazovali na danú problematiku, ktorú prehľadne a zrozumiteľne vysvetľujú. Po záverečnom spracovaní som odkonzultoval spísanú literatúru so školiteľom.

Pri tvorbe záverečnej práce som použil počítačový editor textových dokumentov. Texty a tabuľky boli vytvárané programom MS Office, ktorý bol taktiež použitý na gramatickú opravu.

3 Štúdiá o súčasnom stave riešenej problematiky

3.1 Erózia pôdy

Eróziu pôdy, ako jeden z najrozšírenejších negatívnych vplyvov v životnom prostredí, nemožno chápať len ako proces ohrozenia pôdy a jej produkčných schopností. Ide o celý komplex škodlivých vplyvov, ktoré sa nedajú jednoznačne ohraničiť. Pritom ako proces je neoddeliteľnou súčasťou prírody a krajiny. Pokiaľ však erózia neprekročí istú hranicu, ktorú je príroda schopná kompenzovať pôdotvorným procesom, nastáva zrýchlená strata pôdy s negatívnym pôsobením na krajinu i jej hospodárske využitie. K takýmto negatívnym dôsledkom zrýchlenej vodnej erózie patrí nielen strata pôdy a zhoršovanie jej chemických vlastností, ale aj znižovanie hrúbky pôdneho profilu, znižovanie úrody a kvality pestovaných plodín, zhoršovanie vodného režimu pôd, znižovanie kvality povrchových vôd a mnoho ďalších faktorov. Škodlivosť vodnej erózie spočíva hlavne v splachovaní pôdných častíc, látok a ich odnosom ako produkty erózie. Preto na škodlivé účinky vodnej erózie nemožno prihliadať samostatne, ale z jej vzťahu na celkový ekosystém človeka a krajiny.

Erózia (z latinského slova erode, t.j. rozhlodávať) je prírodný proces, ktorý je možné definovať ako rozrušovanie povrchu pôdy určitým činiteľom s následným transportom rozrušených častíc (Antal, 1985).

Rozdelenie erózie podľa pôsobenia činiteľov (Antal, 1985):

- Vodná (akvatická)
- ľadovcová (glaciálna)
- Veterná (eolická)
- Snehová (niválna)
- Zemná (siligénna)
- Antropogénna erózia pôdy

V encyklopédií Columbia sa pod eróziou rozumie, pojem označujúci procesy, ktoré spôsobujú odstraňovanie zemského povrchu pôsobením s pravidla abrazívnej činnosti tečúcej vody, vln, ľadovcov a vetra (Encyklopedia Columbia, 1999).

3.1.1 Vodná erózia

Vodná erózia je vyvolaná kinetickou energiou dažďových kvapiek dopadajúcich na povrch pôdy a mechanickou silou povrchovo tečúcej vody. Povrchový odtok vzniká z prívalových alebo dlhotrvajúcich zrážok, zo snehových vôd pri jarnom topení snehu a tiež koncentráciou vody v prirodzenej i umelej ideografickej sieti. Stojatá voda morská, jazerná a z rybníkov spôsobuje eróziu pobrežnú, podzemné vody, najviac tejto vody je v krasových útvaroch, vyvolávajú okrem mechanickej aj chemickú eróziu (Holý, 1978).

3.1.2 Plošná

Plošná vodná erózia, charakterizuje ju rozrušovanie a zmyv pôdnej hmoty na celom území. pôsobením plošnej erózie sa reliéf zaoľňuje a zarovnáva. Jej prvým stupňom je povrchový odtok odnášajúci jemné pôdne častice a na ne naviazané chemické latky. Tento druh erózie nazývame aj selektívna. Prebieha často pozvoľne a nepozorovane. Zistiť ju možno len na základe odberov a následným rozborom pôdy v dolnej časti svahu.

Spôsobuje nerovnomerný vývoj vegetácie, rozdielny rast a kvalitu v rôznych častiach svahu. Ak je kinetická energia stekajúcej vody väčšia, dochádza k sústredeným odtokom (pohyb približne rovnomernej vrstvy vody po pôdnom povrchu) a pôdnemu zmyvu po vrstvách. Táto erózia sa nazýva vrstvomá. Pri malej kinetickej energii pohybujúcej sa vody sú vyplavované obdobne len jemné častice. Výsledkom dlhodobého pôsobenia vrstvičkovej erózie je zmena pôdnej textúry a živín v pôde (pôdy sú hrubozrnnejšie s menším obsahom živín).

Jarčekova erózia vzniká sústredením plošného povrchového odtoku do jarčiek o šírke niekoľkých centimetrov a hĺbke nie väčšej ako je hĺbka ornice. Pri obrábaní pôdy sú tieto jarčeky zahladené. Na plochách s odnosom sú odnášané aj hrubozrnnejšie frakcie. K výraznému triedeniu transportovaného materiálu dochádza k akumulácii časti svahu (Antal, 1998).

Pri zväčšovaní objemu a rýchlosti povrchovej odtekajúcej vody sa jarčeky spájajú, čím vzniká redšia sieť brázd, ide o tzv. eróziu *brázdovú* (Noskovič a kol., 2003).

Tab. 1 Triedenie plošnej erózie podľa intenzity odnosu (Antal, 1998)

Stupeň	Intenzita odnosu [m ³ .ha ⁻¹ .r ⁻¹]	Slovné hodnotenie
1	do 0,5	žiadna, nepatrná
2	0,5 - 5	slabá
3	5 - 15	stredná
4	15 - 50	silná
5	50 - 200	veľmi silná
6	nad 200	katastrofálna



Obr. 1 Splavený a naakumulovaný materiál v dolnej časti svahu po vodnej erózií (foto: Halva)



Obr. 2 Široký zerodovaný pás po vodnej erózií (foto: Halva)



Obr. 3 Erodované územie (foto: Autor)

3.1.3 Výmoľová

Výmoľová erózia vzniká postupným sústredovaním stekajúcej vody vyrývajúcej do pôdneho profilu zárezy, ktoré sa postupne prehľbujú. Kinetická energia stekajúcej vody je stále väčšia, čo spôsobuje postupné prehľbovanie a spájanie jarčiekov. Tak vzniká ryhová erózia, ktorá postupne prechádza do vyššieho stupňa a to do erózie výmoľovej a tá do nebezpečnej, územie devastujúcej erózie stržovej, ktorej výsledkom sú už hlboké výmole a strže (Antal, 2005).

Tab. 2 Triedenie ryhovej erózie podľa dĺžky rýh (Antal, 2005)

Stupeň	Dĺžka erózných rýh [km.km ⁻²]	Slovné hodnotenie
1	Pod 0,1	žiadna, nepatrná
2	0,1 - 0,5	slabá
3	0,5 - 1,0	stredná
4	1,0 - 2,0	silná
5	2,0 - 3,0	veľmi silná
6	Nad 3,0	katastrofálna



Obr. 4 Silná ryhová erózia na poľnohospodárskej pôde (foto: Halva)



Obr. 5 Veľmi silná ryhová erózia na trvalo trávnom poraste (foto: Autor)



Obr. 6 Slabá ryhová erózia v poľnohospodárskej krajine (foto: Autor)

3.1.4 Prúdová

Prúdová erózia vzniká pôsobením tečúcej vody na dno a svahy korýt vodných tokov, resp. vlnobitím na brehy morí, jazier, vodných nádrží a rybníkov. Podľa miesta výskytu prúdovej erózie rozoznávame eróziu riečnu, bystrinnú a spôsobenú vlnobitím.

Prebieha pôsobením vo vodných tokoch pôsobením vodného prúdu. Ak sa obrusuje dno pozdĺž osi vodného toku, hovoríme o dnovej erózií, ak sa obrusujú brehy kolmo na os toku, hovoríme o brehovej erózií. Najviac sa prúdová erózia prejavuje pri bystrinnom prúdení s veľkou kinetickou energiou (Antal, 1998).

3.1.5 Ľadovcová erózia

Ľadovcová erózia (glaciálna) spôsobujú ju pohybujúce sa ľadovce vplyvom vlastnej tiaže do údolia. Pri pohybe vynakladá ľadovec prevažnú časť energie na erodovanie skalného podložia, ktoré jednak obrusuje a vyhladzuje, jednak ryhuje balvanmi zamrznutými v ľade. Ľadovec strháva a unáša do nižších polôh veľké množstvo horninových zvetralín, ktoré po uložení vytvárajú morény (Holý, 1978).

3.1.6 Veterná erózia

Činnosť veternej (eolickej) erózie je založená na rozrušovaní pôdy kinetickou energiou vetra. Ten okrem premiestňovania uvoľnených častíc a ich ukladaní pri poklese energie vzdušného prúdu aj obrusuje substrát a prenášajú častice. Veterná erózia je typická v arídnych a semiarídnych oblastiach, v menšej miere postihuje aj humídne oblasti (Antal, 1985).

Podľa údajov FAO je na svete 2 mld. hektárov pôd degradovaných, z toho 56% vodnou eróziou a 28% veternou eróziou. Odhaduje sa, že v Európskej únii je ohrozených vodnou eróziou 26 miliónov hektárov pôdy a veternou približne 1 milión hektárov. Údaje OECD z roku 2000 sú o niečo optimistickejšie. Podľa nich rozloha poľnohospodárskej pôdy s vysokým alebo vážnym ohrozením vodnou alebo veternou eróziou v krajinách OECD nie je celkovo vysoká, ale v niektorých krajinách predstavuje viac ako 10 % poľnohospodárskej pôdy. (Ilavská - Jambor - Lazúr, 2005).

3.1.7 Antropogénna erózia

V našich podmienkach pôsobí človek na eróziu najmä tým, že eróziu pôdy urýchľuje a zvyšuje jej zhubný účinok. Na pôdu nepriamo pôsobí človek predovšetkým ničením prirodzenej vegetácie, jej devastáciou, pestovaním plodín s malým pôdoochraným účinkom a obnažovaním pôdy, zvyšovaním a sústredňovaním

povrchového odtoku a zmenou pôdnych vlastností, ako je zníženie obsahu humusu, zhoršenie štruktúry, zníženie obsahu živín v pôde, zníženie úrodnosti, znečistenie pôdy priemyselnými exhalátmi a popraškami a podobne. K nepriamym vplyvom možno čiastočne počítať aj pasenie zvierat. Vzhľadom na to, že sa pod eróziou rozumie len rušivá činnosť prírodných činiteľov a človek ich eróznym účinkom len nepriamo zvyšuje, nemožno antropogénnu eróziu považovať za samostatný druh a pomenovanie dostáva erózia od základného prírodného činiteľa (Zachar, 1970).

3.2 Intenzita erózie

Intenzita erózie (miera erózneho ohrozenia) sa zvyčajne vyjadruje ako strata - odnos pôdy z určitej plochy za určité časové obdobie. Pri plošnej erózií sa najčastejšie určuje vo váhových jednotkách /t, kg/ alebo objemových jednotkách /m³/ z jednotkovej plochy /m², ha/ pri jednorazovej erózií (erózia vyvolaná zrážkou). Pri dlhodobom sledovaní sa strata pôdy prepočítava na ročný priemer alebo sa udáva v celkových hodnotách za sledované obdobie. Intenzitu plošnej erózie je možné vyjadriť aj eróznou výškou, resp. výškou erózneho odnosu, čo predstavuje hrúbku odnesenej pôdnej vrstvy za časový úsek, najčastejšie za jeden rok (Zachar, 1980).

Ak poznáme objemovú hmotnosť odnesenej pôdy, je možné odnos prepočítať na hociktorú uvedenú hodnotu vyjadrenia intenzity a naopak (Šimonides, 2004).

Nárast intenzity erózie vo svete je spôsobený rastom populácie v rozvojových krajinách, kde rastúci dopyt po potravinách vedie k rozširovaniu poľnohospodárskej pôdy aj v oblastiach pre poľnohospodárstvo nevhodné. Nárast intenzity erózie však nepostihuje len rozvojové krajiny, ale aj priemyselné štáty, kde je počet obyvateľov pomerne stály už niekoľko desaťročí. Je to dôsledok neustáleho zvyšovania životných nárokov obyvateľstva, čo sa prejavuje hlavne na rozširovaní infraštruktúry, stále intenzívnejším využívaním krajiny, zmenami v usporiadaní krajiny, zmenou v usporiadaní pôdneho fondu a ďalšími zásahmi v krajine (Ilavská - Jambor - Lazúr, 2005).

Prípustná strata pôdy vodnou eróziou je definovaná ako maximálna hodnota straty pôdy, ktorá dovoľuje trvale a ekonomicky udržiavať úrodnosť pôdy. Dosadením príslušných hodnôt faktorov do rovnice USLE sa určí dlhodobá priemerná strata pôdy v t.ha⁻¹.rok⁻¹. Ak vypočítaná strata pôdy prekračuje hodnoty prístupnej straty stanovenej (v súčasnej dobe podľa prílohy č.1, zákona č. 220/2004 Z.z.) podľa hĺbky pôdneho

profilu, tak využívanie pozemku nezabezpečuje dostatočnú ochranu pôdy pred eróziou a v zmysle zákona č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy je potrebné začať s protieróznymi opatreniami (Ilavská - Jambor - Lazúr, 2005).

Tab. 3 Limitné hodnoty odnosu pôdy pri vodnej erózií (Príloha č. 1, Zákona č. 220/2004 Z.z.)

Hĺbka pôdy	Limitná strata v t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹
Plytké pôdy (do 0,3 m)	4
Stredne hlboké pôdy (0,3 - 0,6 m)	10
Hlboké pôdy (0,6 - 0,9 m)	30
Veľmi hlboké pôdy nad (0,9 m)	40

Okrem zákona č. 220/2004 Z.z. sa protieróznou ochranou poľnohospodárskej pôdy zaoberá aj STN 74 4501 Hydromeliorácie, kde sa na rozdiel od citovaného zákona uvádzajú "prísnejšie" prípustné (tolerované) hodnoty intenzity vodnej erózie ako limitné hodnoty odnosu pôdy pri vodnej erózií uvedené v prílohe č. 1 zákona č. 220/2004 Z.z. (Ilavská - Jambor - Lazúr, 2005).

Tab. 4 Prípustné hodnoty odnosu pôdy pri vodnej erózií (STN 75 4501)

Hĺbka pôdy (cm)	Limitná strata v (t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)
< 30 - plytké	1,0
30 - 60 stredne plytké	4,0
> 60 - hlboké	10,0

3.3 Výpočty intenzity erózie

Pre výpočet intenzity vodnej erózie treba poznať kvalifikáciu účinkov jednotlivých erózných faktorov a model spolupôsobenia vplyvu erózných faktorov na výslednú intenzitu erózneho procesu (Antal, 2005).

Kvantifikačný účinok najdôležitejších erózných faktorov na intenzitu vodnej erózie sa v súčasnosti vyjadruje univerzálnou rovnicou straty pôdy v tvare zvanú aj „všeobecná rovnica zmyvu pôdy“, (Wishermeier – Smith, 1978):

$$S_p = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

v ktorej:

S_p	je vypočítaná intenzita vodnej erózie	[t.ha ⁻¹ .r ⁻¹]
R.....	faktor eróznej účinnosti dažďa	[MJ.ha ⁻¹ .r ⁻¹]
K.....	faktor náchylnosti pôdy na vodnú eróziu	[t.MJ ⁻¹]
L.....	faktor dĺžky svahu	
S.....	faktor sklonu svahu	
C.....	faktor ochranného vplyvu vegetácie	
P.....	faktor účinnosti protieróznych opatrení	

Rovnicu nie je možné použiť na stanovenie straty pôdy pre obdobia kratšie ako 1 rok, ani pre zistenie straty pôdy eróziou spôsobenou jednotlivými dažďami alebo odtokom z roztápajúceho sa snehu (Ilavská - Jambor - Lazúr, 2005).

Z analýzy jednotlivých faktorov erózie vyplýva, že intenzita vodnej erózie je funkcia dvoch typov erózných faktorov. Prvý typ erózných faktorov, medzi ktoré patrí R a čiastočne aj K, nemôže človek svojou činnosťou ovplyvniť. Druhý typ erózných faktorov, medzi ktoré patria faktory I, P, C a čiastočne i faktory K a S, možno ľudskou činnosťou ovplyvniť. Toto pozorovanie je pri protieróznej ochrane pôdy veľmi dôležité, lebo predstavuje jedno z kritérií určujúcich zamerania ľudskej činnosti v boji proti eróziám. Ďalším kritériom, ktoré umožňuje výber najefektívnejších protieróznych opatrení, je kvantifikácia vplyvu jednotlivých faktorov v rovnici na intenzitu erózie. Kvantifikácia účinku jednotlivých erózných faktorov v rovnici na intenzitu erózie (okrem faktora R a niekedy aj faktora K) sa zisťuje na tzv. jednotkovom pozemku. Jednotkový pozemok má také charakteristiky, pri ktorých sa erózne faktory L, S, C a P rovnajú hodnote 1, tj.:

$$L=S=C=P = 1 \quad (2)$$

Erózne faktory L, S, C a P majú hodnotu 1 za týchto podmienok (ide vlastne o parametre jednotkového pozemku):

- Sklon svahu 9%
- Dĺžka svahu 22,13 m
- Vegetačný kryt povrchu pôdy čierny úhor oraný v smere sklonu svahu
- Protierózne opatrenia orba po svahu

Skutočné hodnoty faktorov L, S, C a P pre skúmaný pozemok sa určia podľa empiricky určených vzťahov, ktoré vyjadrujú účinok erózných faktorov na danom území v porovnaní s ich účinkom na jednotkovom pozemku. Tieto, viac alebo menej zložité vzťahy, grafy a tabuľky, sa neustále dopĺňajú, upravujú a spresňujú, aby čo najlepšie vyjadrovali priebeh erózneho procesu na konkrétnej lokalite, v oblasti, štáte, ba i na celom kontinente, pretože pôvodné vzťahy na výpočet erózných faktorov R, K, L, S, C a P sa odvodili pre podmienky USA. Z doposiaľ uvedeného vyplýva, že najdôležitejšou úlohou pri výpočte intenzity erózie je správne určiť hodnoty jednotlivých erózných faktorov (Antal, 2005).

Faktor eróznej účinnosti dažďa - R

Faktor eróznej účinnosti dažďa sa definuje ako súčin kinetickej energie dažďa E a jeho najväčšej 30 - minútovej intenzity b_0 (Antal, 2005). Pre konkrétny dažď sa vypočíta z rovnice:

$$R = E \times b_0 \quad (3)$$

Kinetická energia dažďa sa vypočíta podľa vzťahov:

$$E = \sum E_n, \text{ pričom } E_n = 10^{-2} (206 + \log i_{d,n}) \times H_{d,n} \quad (4)$$

- v ktorých:
- E - je celková hodnota kinetickej energie dažďa ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$)
 - E_0 - kinetická energia n - tého dažďového oddielu ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$)
 - $I_{d,n}$ - intenzita dažďa v n - tom dažďovom oddieli ($\text{cm} \cdot \text{ha}^{-1}$)
 - $H_{d,n}$ - výška zrážky n - tého dažďového oddielu (cm)

Reprezentatívna ročná hodnota sa môže vypočítať len vtedy, keď je k dispozícii minimálne 50 - ročný rad ombrografických záznamov dažďov.

Faktor náchylnosti pôdy na vodnú eróziu - K

Faktor náchylnosti pôdy na vodnú eróziu sa definuje ako intenzita erózie na jednotku pozemku, pripadajúca na jednotku faktora eróznej účinnosti dažďa R (Antal, 2005):

$$K = G \times R^{-1} \quad (5)$$

Podľa tejto rovnice možno určiť hodnotu faktora K len za predpokladu, že na skúmanej pôde existuje jednotkový pozemok, a že sú k dispozícii výsledky merania intenzity vodnej erózie i údaje zrážkomerných pozorovaní (Antal, 2005).

Hodnoty K môžeme určiť aj z 7 - miestneho kódu Bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ) z 3. a 4. miesta kódu (Ilavská - Jambor - Lazúr, 2005).

Faktor dĺžky svahu - L

Je určený ako pomer medzi intenzitou erózie na skúmanom pozemku dlhom d metrov a intenzitou erózie na pozemku dlhom 22,13 metrov (pri konštantnom pôsobení ostatných faktorov):

$$L = \frac{\textit{intenzita erózie svahu dlhom } d \textit{ (m)}}{\textit{intenzita erózie svahu dlhom } 22,13 \textit{ (m)}} \quad (6)$$

Faktor sklonu svahu - S

Definujeme ho ako pomer medzi intenzitou erózie na pozemku so sklonom $I_s\%$ a intenzitou erózie na pozemku so sklonom 9% :

$$S = \frac{\textit{intenzita erózie pri sklene svahu } I_s \textit{ (\%)}}{\textit{intenzita erózie pri sklone svahu } 9 \textit{ (\%)}} \quad (7)$$

Faktor ochranného vplyvu vegetácie - C

Faktor ochranného vplyvu sa definuje ako pomer medzi intenzitou erózie na pôde s vegetačným krytom a intenzitou erózie na obrábanom úhore (pri rovnakom pôsobení všetkých faktorov) čiže:

$$C = \frac{\textit{intenzita erózie na pôde s vegetačným krytom}}{\textit{intenzita erózie na pôde bez vegetačného krytu}} \quad (8)$$

Patrí medzi tie faktory (faktor C), ktorých hodnoty sa určujú najťažšie pretože ich ovplyvňujú viaceré spolupôsobiaci činitele. Napríklad tá istá plodina, s tou istou predplodinou a pri tej istej agrotechnike, má väčší ochranný účinok v oblastiach s výskytom takýchto zrážok prevažne na jar. Je to preto, že rastlinný kryt väčšiny poľnohospodárskych plodín sa na jar len začína vyvíjať, a preto nemôžeme poskytnúť pôde takúto ochranu v letnom období (Antal, 2005).

Faktor intenzity protieróznych opatrení - P

Je definovaný ako pomer medzi intenzitou erózie na pozemku s aplikovanými protieróznymi opatreniami a intenzitou erózie na tom istom pozemku obrábanom v smere najväčšieho sklonu, čiže:

$$P = \frac{\textit{intenzita erózie na pozemku s protieróznymi opatreniami}}{\textit{intenzita erózie na tom pozemku, obrábanom v smere najväčšieho sklonu}} \quad (9)$$

3.3.1 Metódy zisťovania intenzity erózie

Niektoré metódy zisťovania erózie (Antal, 2005):

Nivelačné metódy sú založené na zisťovaní a vyhodnocovaní výškových zmien mikroreliefu (povrchu pôdy) opakovanou mikroniveláciou siete stálych presne polohovo i výškovo fixovaných bodov (kamene, budovy, elektrické siete, a pod.) sú to priame metódy určovania erózie.

Volumetrické sú založené na priamom zisťovaní objemu eróziou vytvorených jarčiekov, brázd, strží, nánosov, návejov, a pod.

Deluometrické sú založené na zachytávaní povrchového odtoku zrážkovej vody a na zisťovaní obsahu erodovaných látok v zachytávanom objeme povrchového odtoku. Sú to nepriame metódy, pretože intenzita vodnej erózie sa určuje až nasledovným prepočtom.

Pedologické sú založené na zisťovaní zmien špecifických, eróziou ovplyvňovaných vlastností pôdy, napr. zrnitostného zloženia pôdy. Ale predovšetkým hĺbky pôdneho profilu. Sú to priame i nepriame metódy, vhodné aj pre určovanie intenzity veternej erózie.

Hydrologické sú založené na meraní mútnosti vody vo vodných tokoch. Nasledovným prepočtom sa zistí intenzita vodnej erózie v povodí príslušného toku. Sú to nepriame metódy.

Fotogrametrické sú založené na vyhodnocovaní fotografií zemského povrchu, zhotovených buď z pozemských stanovíšť, alebo z lietadiel, ale aj z družíc špeciálnymi zariadeniami a na špeciálny fotografický materiál. Intenzita erózie sa určuje priamo i nepriamo.

Výpočtové sú založené na modelovaní erózných procesov. Sú to nepriame metódy určovania intenzity erózie.

Staršie metódy zisťovania intenzity erózie (Zachar, 1970):

Zadažďovacie sú rýchlejším spôsobom výskumu erózie a to s umelým zadažďovaním ohraničených plôšok, pričom sa meria množstvo a intenzita umelých zrážok, energie dopadajúcich kvapiek a veľkosť povrchového odtoku vody. Výhodou je, že v krátkom čase a s viacnásobným opakovaním je možné skúmať širokú škálu činiteľov a podmienok ovplyvnených eróziou. Nevýhodou je pri nich dosť ťažké napodobniť erózne pôsobenie prirodzených zrážok, pri ktorých môže hrať významnú úlohou vietor.

Monolitické určovanie, jeho výhodou je, že pri dobre odobratých vzorkách sa môže ľubovoľne meniť sklon povrchu pôdy, čas trvania zrážky, jej, intenzita, veľkosť kvapiek a možno tak zistiť závislosť medzi eróziou a týmito činiteľmi, v prísne kontrolovaných podmienkach.

Morfometrické (kartografické) určovania, tieto skúmajú vlastnosti reliéfu ako významného činiteľa, podmieňujúceho aktivitu exogénnych erózných činiteľov. Ako ukazovateľ slúžia napr.: dĺžka, sklon, expozícia a tvar svahu, členitosť reliéfu, hĺbka eróznej základne a iné.

Vegetačné, nimi možno sledovať intenzitu erózie, vplyv erózie na pôdu, najmä na jej úrodnosť, ako aj ochranný účinok vegetácie v rôznych podmienkach.

Historické sa opierajú o rôzne pamätníky, mapové doklady a podobne, svedčiace o zmenách povrchu reliéfu alebo o pohybe zemín, ktorý bol zapríčinený eróziou.

3.4 Opatrenia proti vodnej erózií

Erózia pôdy je na Slovensku nielen najstarším, ale dodnes najzáväznejším pôdodegradačným procesom. Zároveň patrí aj medzi najstaršie a najzávažnejšie degradačné procesy životného prostredia ako celku. Z celej škály erózných procesov sa na Slovensku prejavuje najmä vodná erózia na orných pôdach. Preto si boj proti nej zasluhuje zvláštnu pozornosť. Žiaľ v posledných desaťročiach došlo len k obmedzenému pokroku vo vývoji protierózných opatrení. Metodicko-technologická základňa ostáva podobná ako v predošlých desaťročiach. Ešte väčším problémom ako neuspokojivé napredovanie výskumu, je pomalé, ba až väčšinou žiadne zavádzanie protierózných opatrení do praxe. Vrstevnicová orba sa od socializmu stále uplatňuje iba ojedinele. Podobná stagnácia vládne aj pri presadzovaní ostatných protierózných

opatrení a to nielen u nás, alebo v bývalých socialistických krajinách, ale aj v západných štátoch (Fulajtár – Jánsky, 2001).

Opatrenia proti vodnej erózií patria k najjednoduchším protieróznym opatreniam. Vychádzajú predovšetkým zo znalosti erózných prejavov, zákonitosti ich rozvoja a vyúsťujú do všeobecných protierózných zásad (Ilavská - Jambor - Lazúr, 2005):

- zvýšenie zastúpenia viacročných krmovín
- minimálna agrotechnika na svahu (ťažké pôdy)
- mulčovanie
- bezmotorová agrotechnika (ľahšie pôdy), zaraďovanie siatych plodín

Vlastník alebo užívateľ pôdy je povinný vykonávať trvalú a účinnú protieróznou ochranu poľnohospodárskej pôdy vykonávaním ochranných agrotechnických opatrení podľa stupňa erózie poľnohospodárskej pôdy, ktoré sú:

- a) výsadba účelovej, poľnohospodárskej a ochrannej zelene
- b) vrstevnicová agrotechnika
- c) striedanie plodín s ochranným účinkom
- d) mulčovacia medziplodina kombinovaná s bez orbovou agrotechnikou
- e) bez orbová agrotechnika
- f) oševné postupy so striedaním plodín s ochranným účinkom
- g) usporiadanie honov v smere prevládajúcich vetrov
- h) iné opatrenia, ktoré určí pôdna služba podľa stupňa erózie poľnohospodárskej pôdy.

Všetky spôsoby ochranného obrábania pôdy redukovujú straty pôdy v dôsledku erózie v závislosti od množstva rastlinných zvyškov ponechaných na povrchu pôdy. Efektívnosť ich pôsobenia je ovplyvnená smerom obrábania na svahovitých pozemkoch (Demo, 2000).

Protierózna ochrana je chápaná ako súbor opatrení slúžiacich na to, aby v procese hospodárenia na pôde nedochádzalo k jej úbytku a zhoršovaniu jej úrodotvorných vlastností. Optimálna protierózna ochrana smeruje k zachovaniu pôdneho fondu a jeho úrodnosti v plnej miere pri čo možno najintenzívnejšom obhospodarovaní pôdy. V praxi sa však prejavuje tendencia uspokojiť sa s redukovanou protieróznou ochranou, ktorej cieľom je iba čo možno najviac zmierniť degradáciu pôd pri plnom využití ich produkčného potenciálu (Fulajtár – Jánsky, 2001).

Protierózna ochrana pôdy je komplex organizačných, agrotechnických, biologických a technických opatrení, ktorých hlavným cieľom je (Antal, 2005):

- zabrániť vzniku škodlivej erózie na ohrozenej pôde
- znížiť intenzitu erózie aby neboli prekročené limity straty pôdy
- trvalo udržať existujúcu úrodnosť ohrozenej pôdy
- zabrániť degradácii ohrozenej pôdy, alebo ju aspoň znížiť
- zabezpečiť ochranu nižšie ležiacich zdrojov povrchových a podzemných vôd pred negatívnymi účinkami erodovaného materiálu

Tab. 5 Niektoré odporúčané opatrenia proti erózií, ktoré sú vhodné pre pôdno-klimatické podmienky Slovenska (www.podnemapy.sk)

Druh protieróznych opatrení	Spôsob realizácie
Organizačné opatrenia	Delimitácia pôdneho fondu Protierózne rozmiestnenie kultúr a plodín Veľkosť, tvar a usporiadanie pozemkov
Agrotechnické opatrenia	Vrstevnicová agrotechnika Pôdoochranná agrotechnika (bez orbov) agrotechnika, mulčovanie, minimálna agrotechnika, podrývanie, podmietka)
Biologické opatrenia	Pásové pestovanie plodín Stabilizujúce pásy Protierózne oševné postupy Ochranné zatrávňovanie Ochranné zalesňovanie
Technické opatrenia	Protierózne priekopy Terasy

K najjednoduchším protieróznym opatreniam patria zásahy organizačného charakteru. Vychádzajú predovšetkým zo znalosti príčin erózných prejavov. Všeobecné organizačné protierózne zásady sú: skorý termín výsevu plodín, bez orbové siatie plodín, siatie viacročných krmovín a rozmiestňovanie plodín vzhľadom na svahovitosť pozemkov. Organizačné protierózne opatrenia nemajú vplyv na plošný záber na

spoločné zariadenia a opatrenia, majú predovšetkým odporúčací charakter. Medzi základné organizačné opatrenia v pozemkových úpravách patria (Muchová - Vanek, 2009):

- tvar a veľkosť pôdných celkov resp. nových pozemkov
- delimitácia pôdneho fondu
- protierózne rozmiestnenie plodín
- protierózny smer výsadby špeciálnych druhov pozemkov
- protierózna organizácia pasenia

3.5 Definícia a obsah GIS

3.5.1 Čo je to GIS

Geografický informačný systém (GIS) je počítačový systém na zachytávanie, ukladanie, vyhľadávanie, analýzu a zobrazovanie geopriestorových dát. Tiež nazývané geograficky zmienené dáta. Geopriestorové dáta, sú dáta, ktoré opisujú tieto dve veci, lokáciu a charakteristiku priestorových rysov ako sú cesty, zemné parcely a vegetáciu nachádzajúcu sa na zemskom povrchu. Schopnosťou GIS je zaobchádzať a spracovávať geopriestorové dáta, ktoré sú odlišné od dát pre ostatné informačné systémy. Taktiež ustanovuje GISi ako technologicky dôležitú súčasť pre zaradenie do analýz výskumu trhu, environmentálneho inžinierstva, územného a regionálneho plánovania (Chang, 2008).

Geografický informačný systém je počítačový nástroj pre mapovanie a analýzu vecí a javov reálneho sveta. Technológia GIS spája bežné databázové operácie ako je zadávanie úloh a štatistické výpočty s možnosťami zobrazenia a priestorovej analýzy, ktoré poskytuje mapa. Tieto schopnosti výrazne odlišujú GIS od iných informačných systémov. Všeobecne môžu byť GISi definované na základe vykonaných úloh na dva typy informačných systémov, a to vykonávaco-procesné (transaction processing), u ktorých je ťažisko na zaznamenanie a manipuláciu s dátami a systémy pre podporu rozhodovania (decision support), u ktorých je ťažisko v manipulácií, analýze a v modelovaní pre potreby rozhodovania. Druhý typ tiež vykonáva úlohy prvého typu (Tuček, 1998).

Požiadavky na zber, analýzu a zobrazovanie komplexných a objemových geografických dát viedlo v posledných desaťročiach k využitiu počítačov na vytvorenie

informačného systému pre ich spracovanie. Efektívne využitie rozsiahlych priestorových databáz je závislé od existencie efektívneho systému, ktorý dokáže transformovať tieto dáta do použiteľnej informácie. Geografický informačný systém, skrátene nazývaný GIS, sa stal hlavným nástrojom pre transformáciu a analýzu poznatkov o reálnom svete (Šimonides, 2004).

3.5.2 Zložky GIS

Ako každá iná informačná technológia, aj GISi vyžadujú týchto päť zložiek, aby mohli pracovať s geopriestorovými dátami (Chang, 2008):

1. Počítačový systém. Počítačový systém obsahuje počítač a operačný systém na ktorom beží GIS. Typickým výberom by bol PC s operačným systémom Windows alebo pracovná stanica (Workstation), ktorá používa UNIX alebo Linux. Ďalšia výbava by mala obsahovať monitor na zobrazovanie, digitalizátory a skenery pre vstup priestorových dát, GPS prímač a mobilné zariadenie pre prácu vonku, tlačiareň a plotter pre tlač dát.
2. GIS Software. Softvér pre GIS obsahuje program a rozhranie pre užívateľa, na riadenie hardwaru. Bežným rozhraním pre GISi sú menu, grafické ikony, príkazový riadok a skripty.
3. Ľudia. Ľudia odkazujúci sa ako GIS profesionálni a užívatelia, ktorý definujú účel a cieľ, a poskytujú zmysel a majú oprávnenie používať GISi
4. Dáta. Dáta obsahujúce rôzne druhy vstupov, ktoré systém príme a spracuje informácie.
5. Infraštruktúra. Infraštruktúra odkazuje na nevyhnutné fyzické, organizačné, administratívne a kultúrne prostredie, pre podporu operácií v GISoch. Infraštruktúra obsahuje potrebné zručnosti, dátové normy, prístupnosť dát a všeobecné organizačné schopnosti.

Počítač a periférne zariadenia sú nevyhnutným vybavením pre spracovávanie priestorových dát. Tieto zariadenia sa nazývajú hardvér. Počítačový systém nie je kompletný bez softvéru (programov), ktoré kontrolujú operácie hardvéru a ktoré uskutočňujú špeciálne úlohy podľa požiadaviek užívateľa. Obvykle rozlišujeme softvér na kontrolu hardvérových zariadení (operačný systém) a na softvér, ktorý obsahuje programy pre špeciálne úlohy (napr. aj programy GIS) (Šimonides, 2004).

3.5.3 Priestorové modely

Priestorové dáta opisujú lokáciu priestorových črt, ktoré môžu byť nespojité (rozdelené) alebo súvislé (spojené). Nespojité charakteristiky sú jednotlivito rozoznávané črty, ktoré neexistujú medzi pozorovaniami. Nespojité charakteristiky sú napr. body (prameň), čiary (cesta) a plochy (typ využívania pozemku). Súvislé charakteristiky sú také, ktoré existujú priestorovo medzi pozorovaniami. Príkladom na súvislé črty sú napr. výška alebo zrážky (Chang, 2008).

Geografické dáta v databáze GIS sú zložené v určitej štruktúre. Dátové modely používajú pre uloženie dát taký spôsob, aby vstup, načítavanie, vyhľadávanie, analýza a výstup dát bol ľahko manipulovateľný, presný a úsporný (objem pamäte, rýchlosť ukladania a hľadania dát, matematické operácie, vizualizácie). Priestorové údaje o geografických objektoch sú reprezentované v digitálnej forme v dvoch základných typoch priestorových dátových modelov:

- Vektorovom modeli
- Rastrovom modeli

Pretože oba typy modelov reprezentujú priestorové objekty, používa sa tiež termín reprezentácia vektorová alebo rastrová (Šimonides, 2004).

Sféra GIS analýz sa strieda medzi disciplínami, ktoré používajú GISi. Užívatelia GISov v hydrológií zdôrazňujú dôležitosť terénnych analýz a hydrologických modelov, zatiaľ čo GIS užívatelia, ktorý sa zaoberajú správou prírody sa budú viac zaujímať o rozdeľovanie analytických funkcií s polohami bodovými v prírode a ich vzťah k prostrediu. Toto je dôvod prečo sa GIS spoločnosti uberajú dvoma všeobecnými prístupmi k tvorbe svojich produktov. Jeden pripravuje sadu základných nástrojov používaných väčšinou užívateľov GISov, a ďalší pripravuje rozšírenie pre špecifické aplikácie, ako sú hydrologické modely (Chang, 2008).

3.5.4 Vektorový model

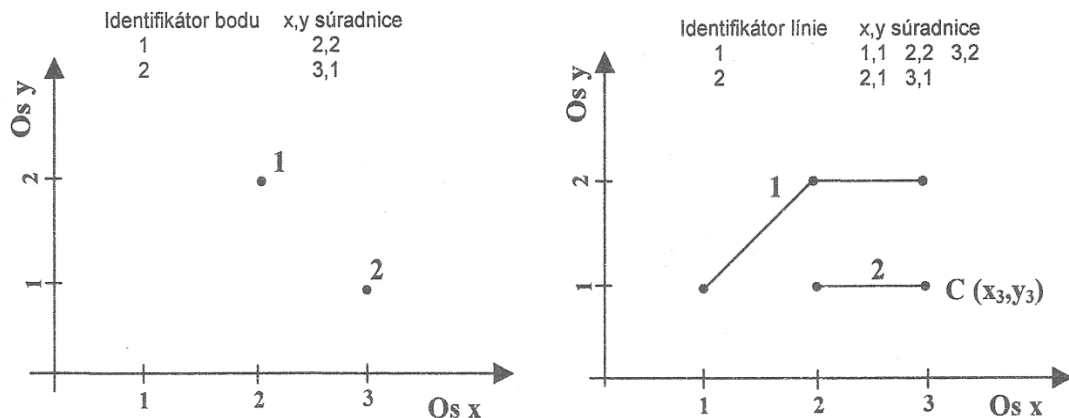
Vektorový dátový model používa body a ich x-ové a y-lónové koordináty na konštruovanie priestorových charakteristík bodov, línií a polygónov. Z toho dôvodu vektorové analýzy používajú geometrické objekty bodov, línií a polygónov. Presnosť týchto analýz, závisí na presnosti týchto objektov v podmienkach ich lokályzacie a tvarov. Pretože vektorové dáta môžu byť založené na typologických alebo nie typologických modeloch, topológia tiež môže byť faktorom niektorých analýz

vektorových dát, ako sú napr. vyrovnávanie (buffering) alebo prekladanie (overlay) (Chang, 2008).

Vektorový model používa k vyjadreniu geometrických dát varianty troch geometrických útvarov. Zatiaľ čo bod je vyjadrený bodkou, čiara je zostavená z úsečky spájajúcej body po čiare. Podobne je vytvorená aj uzavretá čiara ohraničujúca polygón. V matematicko - fyzikálnej terminológii sa priama čiara s danou veľkosťou a smerom nazýva vektor. Obdobne sa vektor nazýva aj úsečka, ktorá v digitálnej databáze prepojuje dva body s danými súradnicami (Kolář, 2003).

Topologický model zaznamenáva priestorové vzťahy medzi geografickými prvkami. Topológia je matematická metóda použitá pre definovanie priestorových vzťahov (Šimonides, 2004).

Vektorový dátový model modeluje realitu pomocou objektov, ktoré zodpovedajú entitám konceptuálneho modelu. Geometria (tvar) geografických objektov je v modeli zapísaná prostredníctvom bodov, línií a polygónov. Poloha objektov je veľmi presne zaznamenaná pomocou pravouhlého súradnicového systému XY (Karteziánsky súradnicový systém s Euklidovskou metrikou (Šimonides, 2004).



Obr. 6 Bod a línia vo vektorovom modeli (Šimonides, 2004)

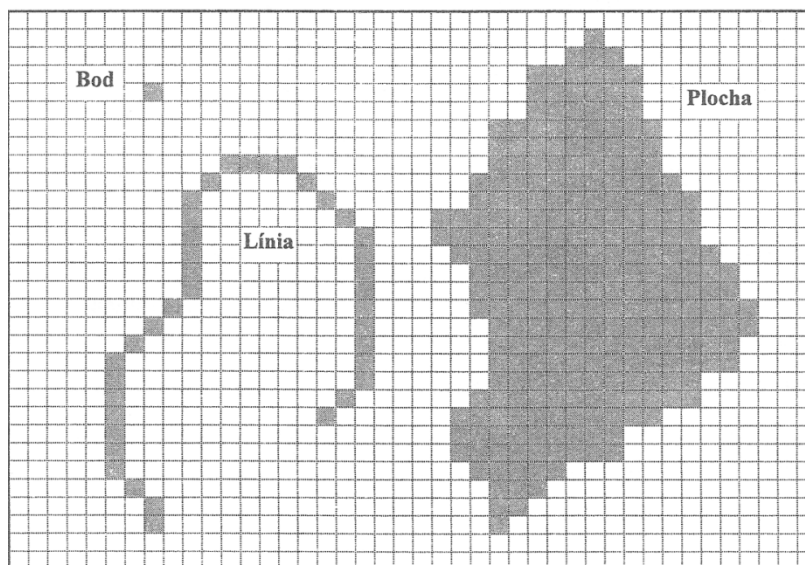
3.5.5 Rastrový model

Rastrový model dát používa pravidelnú mriežku (Grid) na krytie priestoru a hodnoty v každej bunke mriežky reprezentujú charakteristiku priestorového fenoménu na danej lokácii bunky. Táto jednoduchá štruktúra dát rastra fixuje umiestnenie buniek nie len na schopnosť výpočtu, ale aj uľahčuje veľkú variabilitu operácií z dátovými analýzami. V kontraste s vektorovými dátovými analýzami, ktoré sú založené na geometrických objektoch ako sú bod, línia a polygón, rastrové analýzy dát sú založené

na bunkách a rastroch. Analýza rastrových dát môže byť uskutočňovaná na rôznych stupňoch individuálnych buniek alebo skupiny buniek, alebo všetkých buniek celého rastra. Niektoré rastrové operácie používajú jeden jediný raster, iné zase dva alebo viacej rastrov. Dôležitým hľadiskom u analýzy rastrových dát je typ hodnoty bunky. Štatistiky ako sú priemer a štandardná odchýlka, sú navrhované pre číselné hodnoty, pričom ostatné ako napr. väčšina (najčastejšia hodnota buniek), sú navrhované pre číselné a kategorické hodnoty (Chang, 2008).

Rastrový model je tým zvláštnym prípadom spojených polygónov, vytvorených bez súvislosti s prvkami alebo javmi reálnej krajiny. V rastrovom modeli sú priestorové dáta uložené pomocou imaginárnej siete alebo rastru položiek naskladaných v pravidelnom usporiadaní do súvislej plochy. Polygóny majú v rastrovom modeli svoje vlastné označenie. Nazývajú sa bunky, pre možnosť ich obrazového vyjadrenia taktiež obrazové elementy alebo pixle. Na rozdiel od vektorového modelu, bunky nezodpovedajú svojím tvarom krajinným prvkom ktorý predstavujú. V jednoduchšej forme sú bunky štvorce alebo obdĺžniky. Pretože štvorcové alebo obdĺžnikové bunky pri zložení k sebe vytvárajú mriežkovú sieť, označuje sa niekedy tento spôsob ukladania priestorových dát ako gridový (mriežkový) model (Kolář, 2003).

Najjednoduchší zápis priestorových dát je prostredníctvom rastrového modelu. V tomto modeli sú priestorové dáta organizované v štvorcových bunkách, nazývané niekedy aj pixel (pojem prevzatý z DPZ). Tieto bunky sú základné diskkrétne jednotky, v ktorých sú zaznamenané informácie a tvoria mriežku - grid. To znamená, že na rozdiel od vektorového dátového modelu, ktorý definuje objekt a ukáže nám o ňom charakteristiky, rastrový dátový model delí realitu do jednotlivých diskrétnych plošných jednotiek - buniek. Každá bunka je objektom, ktorý reprezentuje určitú časť zemského povrchu s určitou plochou v príslušných jednotkách (km^2 , m^2 , ha^2 atď.) a s atribútom. Bunky sú usporiadané do riadkov a stĺpcov, ktoré tak tvoria súradnicový systém s celočíselnými hodnotami. Os X predstavuje stĺpce a os Y riadky. V niektorých GIS je os Y prevrátená (napr. IDRISI). Bunka má tak definovanú svoju polohu podľa stĺpca a riadku na ktorom sa nachádza, a má svoju adresu (Šimonides, 2004).



Obr. 7 Bod, línia a plocha v rastrovom modeli (Šimonides, 2004)

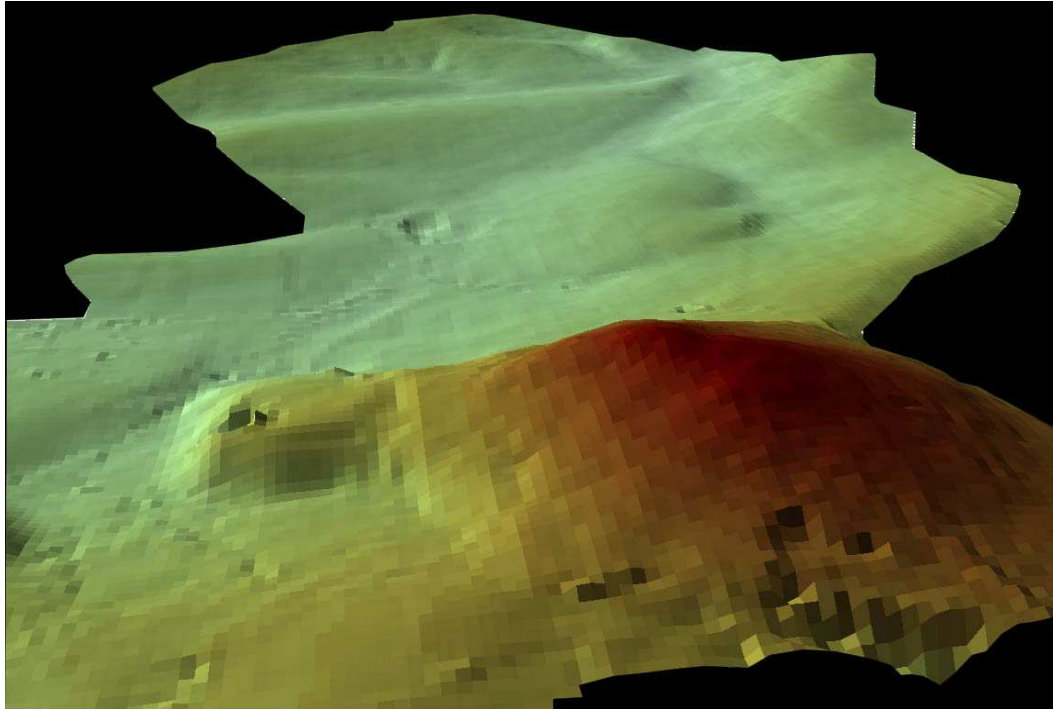
3.5.6 Digitálny model reliéfu

Povrch (surface) je matematický koncept vzťahujúci sa na generalizovanú konečnú množinu bodov, ktoré popisujú trojrozmernú realitu v dvojrozmernom priestore. Na zostrojenie modelu povrchu v digitálnej forme sa používa delenie povrchov na mozaiku pravidelnú - rastrová reprezentácia alebo nepravidelnú - nepravidelná trojuholníková sieť (TIN). Pri praktických aplikáciách sa najčastejšie modeluje zemský povrch - reliéf terénu v podobe digitálneho modelu reliéfu. Pretože uvedený model je možné využiť aj pri iných modeloch povrchu (napr. hladina podzemnej vody, hladina znečistenia), budeme hovoriť o digitálnom modeli reliéfu (Šimonides, 2004).

Digitálne výškové dátové súbory obsahujú údaje o výškopise v podobe súradníc x , y , z pokrývajúce dané územie. Sú základnou dátovou potrebou všetkých aplikácií, v nich záleží na tvare zemského povrchu. Označujú sa rôznymi názvami z nich najčastejší je digitálny model terénu (DMT), menej už digitálny terénny model (DTM), alebo digitálny elevačný model (DEM). Digitálny model terénu má široké použitie napr. v stavebníctve pre výpočet zeminy v stavbách, pri navrhovaní záplavových oblastí priehrad, v projekčných prácach napr. u pohľadových štúdií návrhu nových ciest alebo pri plánovaní optimálnych miest stavby telekomunikačných antén (Kolář, 2003).

Problematika ochrany pôdy pred negatívnymi účinkami vodnej erózie je v súčasných podmienkach poľnohospodárstva veľmi aktuálna. Z hľadiska časového pripadá priame meranie intenzity erózie v krajine reálne. V takomto procese, pri ktorom

nejde len o presné spracovanie výsledkov, ale aj o ich lokalizáciu, je vhodné aplikovať systémy postavené na informačných technológiách. Geografické informačné systémy (GIS), sú progresívny nástroj pre modelovanie prírodných procesov v krajine a ich priestorovú diferenciáciu (Halva - Kliment, 2009).



**Obr. 8 Digitálny model reliéfu k.ú. Kolíňany s rozlíšením rastra 3m.
hydrologicky korektný(z-faktor =3) (Halva - Kliment, 2005)**

3.5.7 Geografické informačné technológie spoločnosti ESRI

Spoločnosť ESRI (Environmental Systems Research Institute) založili v roku 1969 Jack a Laura Dangermond ako inžiniersku a konzultačnú firmu pre krajinné plánovanie. V roku 1982 bol vývoj v oblasti elektronického spracovania údajov a metódy z rôznych projektov zhrnuté do jedného produktu a uvedené na trh ako ArcInfo 1.0 – zrodil sa vedúci svetový geografický informačný systém. Firma je až do súčasnosti v čisto súkromnom vlastníctve a sídli v meste Redlands v Kalifornii.

V súčasnosti zamestnáva ESRI celosvetovo viac ako 3100 spolupracovníkov, z ktorých 1500 má pracovisko v Kalifornii. S viac ako 80 medzinárodnými distribútormi a užívateľmi vo viac než 200 krajinách celého sveta dnes ESRI určuje štandardy v oblasti GIS.

Ako jediná firma z tejto oblasti ponúka ESRI všetky riešenia na 100% z vlastného vývoja. Počínajúc jednoduchou Reader aplikáciou pre GIS údaje až po priestorové

databázy pre profesionálne serverové nasadenie alebo GIS pre mobilné použitie – všetky produkty sú „Made by ESRI“.

GIS pre servery: Serverový GIS poskytuje GIS funkcie v podobe služieb pre celú firmu alebo podnik. Umožňuje dodávať GIS schopnosti veľkému počtu užívateľov v sieti. Podnikoví užívatelia GIS sa môžu pripojiť na GIS servery s použitím tradičných desktop GIS aplikácií, ako aj webových prehliadačov, mobilných počítačových zariadení a digitálnych prístrojov.

Desktop GIS: Odstupňované komponenty pre moderné GIS pracovisko. Či už ide o zriadenie informačného centra, ktoré vyhodnocuje hotové mapy alebo editovacie pracovisko, do ktorého prúdia všetky informácie a zabudovávajú sa do GIS, rodina produktov ArcGIS Desktop (ArcView, ArcEditor, ArcInfo, ...) je správnu voľbou.

Rozšírenia ArcGIS: Nadstavby systému ArcGIS obsahujú funkcionality pre špecifické GIS úlohy, ktorá sa pridá k niektorému zo základných produktov skupiny ArcGIS Desktop a je potom k dispozícii z jeho užívateľského rozhrania.

Mobilný GIS: Zachytávanie a odovzdávanie geografických údajov v teréne na mobilných PC alebo PDA predstavuje v integrovaných GIS systémoch stále dôležitejšiu úlohu. Moderné širokopásmové mobilné siete ponúkajú ďalšie možnosti využitia. ESRI ponúka produkt ArcPAD, ktorý ideálne zapadá do produktového prostredia moderných GIS systémov.

Vývojové nástroje: ESRI poskytuje pre vývojárov nástroje na tvorbu GIS aplikácií pre desktop, serverové, hosťateľské a mobilné počítačové zariadenia s použitím veľkého počtu vývojových rozhraní. (<http://www.arcgeo.sk>)

3.5.7.1 ArcView

ArcView je najpoužívanejšou desktop GIS aplikáciou na svete, pretože ponúka jednoduchý prístup k využívaniu GIS údajov. Je vybavený intuitívnym užívateľským rozhraním, prepracovaným systémom kontextového návodu a obsažnou dokumentáciou, čím umožňuje jednoduchý a rýchly štart v práci s geografickými údajmi.

Vizualizácia: S ArcView môžete tvoriť príťažlivé mapy, ktoré pomôžu zviditeľniť pravidelnosti, trendy a výnimky z nich. ArcView obsahuje sprievodcov, vopred definované mapové šablóny, široký výber mapových prvkov, ktoré šetria čas a zjednodušujú tvorbu máp profesionálnej kvality. Vytvorené mapy možno tlačiť,

exportovať a vkladať do iných dokumentov a aplikácií. ArcView poskytuje aj nástroje na vizualizáciu údajov v podobe tabuliek, grafov a správ.

Priestorová analýza: ArcView poskytuje nástroje na riešenie priestorových otázok, testovanie teórií a predpovedí a skúmanie vzájomných vzťahov. Bohatý výber nástrojov na priestorové spracovanie údajov obsahuje hotové analytické nástroje pripravené na použitie ako aj schopnosti na tvorbu procesných modelov, skriptov a kompletných pracovných postupov.

Správa údajov: ArcView zjednodušuje integráciu rôznych dátových formátov a ich využitie na vizualizáciu a analýzu. Obsahuje nástroje na tvorbu, spracovanie a organizovanie geografických, tabuľkových údajov a metadát a podporuje široký výber dátových formátov - demografické údaje, údaje o zariadeniach, CAD údaje, rastrový obraz, webové služby a multimédiá. Do ArcView môžete priamo načítať alebo importovať viac než 70 rôznych dátových formátov. (<http://www.arcgeo.sk>)

3.6 Modelovanie eróznej ohrozenosti

Krajina ako objekt geografického výskumu predstavuje zložitý, hybridný, časovo-priestorový a látkovo-energetický systém (geosystém) skladajúci sa z abiotických, biotických a socioekonomických prvkov. Jej odborným štúdiom je možné získať rozsiahly súbor geografických informácií, ktoré charakterizujú (Tremboš - Minár, 1994):

- vlastnosti jednotlivých prvkov krajiny - geosystém (reliéf, pôda, vody, ovzdušia, bioty, ...)
- vzťahy medzi jednotlivými prvkami geosystému
- systémové vlastnosti geosystémov, ich priestorová a funkčná štruktúra, metabolizmus, aut regulácia a podobné

Modelovanie erózných procesov zahŕňa najčastejšie zostavovanie matematicky formulovaných modelov, ktoré využívajú poznatky o procese erózie pôdy ako prírodnom jave. Preto sa vytvárajú modely rôznych druhov:

- deterministické modely (analyticko fyzikálne poznatky)
- konceptuálne modely (napr. vplyv topografie na eróziu a akumulácie materiálu)
- empirické štatistické modely (laboratórne metódy stanovenia)

Napojenie niektorých modelov na technológie GIS umožňuje zároveň ich zabudovanie do rozsiahlych optimalizačných modelov (metodík), hlavne vo vzťahu k priestorovej optimalizácii krajinnej štruktúry. Efektívnosť týchto modelov môže zvýšiť i ich prepojenie (v rámci GIS) s modelmi ďalších geomorfologických procesov, ktoré sú s vodnou eróziou v interakcii (napr. soliflukcia) (Voženílek-Demek, 2000).

V poslednom období je možné prípadné procesy vodnej erózie modelovo zobrazit' aj prostredníctvom geografických informačných systémov (GIS) v trojrozmernom priestore. Klasickou metódou výpočtu ročnej straty pôdy, ktorá bola prevzatá aj od spomínaných systémov GIS je Wischmeier - Smithova rovnica (USLE) v pôvodnom stave. Rovnica bola zostavená s veľkého počtu empirických meraní USA a jej modifikované formy pre iné klimatické, pôdne a vegetačné oblasti sa používajú na všetkých svetadieloch. Pre naše podmienky rovnice upravuje Metodika č.5/1992 "Ochrana zemédeľskej pudy před erozí" (Janeček a kol. 1992).

V tejto rovnici jednotlivé faktory spĺňajú funkcionálnu závislosť od klimatických, pôdnych, morfologických podmienok, organizačných a protieróznych opatrení (Demo a kol., 1998).

V období posledných 15 rokov sa v značnej miere rozvinulo modelovanie erózných procesov. Spočiatku bolo založené na definovaní erózných činiteľov a na určení ich vplyvu na erózne procesy pri použití výsledkov pozorovaní, meraní, experimentov a štatistických metód. Boli prevažne zamerané na zisťovanie, alebo prognózu straty pôdy. V súčasnej dobe sa rozmohla hlbšia analýza erózných procesov, najmä pokiaľ ide o rozdelenie procesu na fázu uvoľnenia pôdnych častíc a chemických látok a na fázu ich transportu (Fulajtár - Janský, 2001).

3.6.1 Vybrané erózne modely

Stanovenie intenzity erózie je možné uskutočniť viacerými metódami. Tieto metódy môžeme deliť na priame a nepriame podľa toho či intenzitu erózie zisťujú priamo na stanovišti (deluometrické, nivelačné a pod.) - priame metódy, alebo nepriame metódy, ktoré určujú intenzitu erózie na základe vyhodnotenia podkladov z terénu (napr. mapy pri morfometrickej metóde, družicové a letecké snímky z DPZ). V súčasnom období nepriame metódy plnia úlohu vstupných údajov pre modelovanie erózných procesov (hlavne morfometrické analýzy) alebo sú priamym výstupom pre stanovenie intenzity vodnej erózie. Jednou z nevýhod nepriamych metód je obtiažnosť kvantifikácie získaných výsledkov. Ku kvantifikácii je už nutné použiť matematické

vzťahy (napr. model Wischmeier - Smitha, koncepčné metódy) (Ilavská - Jambor - Lazúr, 2005).

Účel pre ktorý má model slúžiť, určuje spôsob, akým treba k modelovaniu pristupovať. Dôležité je, či sa požaduje kvantifikácia erózných procesov, alebo prognóza, ďalej v akom časovom horizonte sa prognóza vyžaduje. Tiež musí byť určená mierka modelovania. Jednotlivé modely možno roztriediť do viacerých typov (Fulajtár - Janský, 2001):

- fyzikálno-technické - zmenšené modely obyčajne vytvorené v laboratóriu, vyžadujú dynamické merítka modelu voči skutočnosti
- analógové - používajú mechanické, alebo elektrické systémy, umožňujúce analógiu vzhľadom k skúmaným systémom, napr. tok elektrického prúdu
- digitálne - sú založené na použití počítačov, aby bolo možné spracovať veľké množstvo údajov (Fulajtár - Janský, 2001)

Digitálne modely, môžeme podľa stupňa exaktnosti rozoznávať na tri typy (Fulajtár - Janský, 2001):

1. Fyzikálno-matematické - sú založené na matematických rovniciach, popisujú procesy zahrnuté do modelu, pričom berú do úvahy zákony o zachovaní hmoty a pohybu
2. Stochastické - sú založené na generovaní syntetických sekvencií údajov potrebných pre generovanie vstupných sekvencií pre fyzikálne podložené, alebo empirické modely, kde sú k dispozícii údaje (len pre krátke obdobia pozorovania)
3. Empirické - sú založené na báze identifikácie štatisticky významných vzťahov medzi premennými pri existencii dostatočnej údajovej základne.

Podľa vyjadrenia štruktúry procesov rozoznáваме tri subtypy:

- čierna skrinka - študované sú len hlavné vstupy a výstupy
- šedá skrinka - čiastočne je známe vnútorné fungovanie systému
- biela skrinka - známe je celé fungovanie systému

Pri empirických modeloch sa erózne procesy vyjadrujú vzťahom medzi jeho výslednou intenzitou a eróznymi činiteľmi. Najrozšírenejším empirickým modelom je **všeobecná rovnica zmyvu pôdy (VRZP)** (pozri kapitolu 3.3).

V súčasnej dobe je snaha univerzálnu rovnicu erózneho odnosu (USLE) nahradiť kvalitatívne vyššími metódami. Je to dané hlavne súčasnou úrovňou znalostí v oboroch, ktoré sa zaoberajú vzťahmi spôsobujúcimi eróziu, rozvojom výpočtovej techniky, vrátane GIS, ale hlavne zmenou v prioritách protieróznej ochrany, keď je erózia posudzovaná nielen vo vzťahu k ochrane pôdy ale aj ostatným ekologickým dopadom. Vzniklo množstvo simulačných modelov, ktoré riešia eróziu na základe fyzikálnych popisov jednotlivých procesov ako sú uvoľňovanie a premiestňovanie pôdných častíc dažďom a povrchovým odtokom (Ilavská - Jambor - Lazúr, 2005).

Z množstva simulačných modelov erózných a transportných procesov sa pri praktickej aplikácii významnejšie uplatnili nasledujúce modely (Fulajtár - Janský, 2001):

CREAMS (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management system): Model bol odvodený v USA ako prvý komplexný model riešenia hydrologických a erózných procesov a transportu vybraných chemických látok (N, P, pesticídy) na plochách s homogénnymi pôdnymi podmienkami, jednotným využitím a rovnomerným zasiahnutím plochy zrážkou. Umožňuje vyhodnotiť vplyv jednotlivého dažďa na transport látok, alebo rieši pohyb látok v dlhšom časovom období. Maximálna veľkosť skúmanej plochy je závislá na homogenite územia a môže teda dosiahnuť niekoľko desiatok hektárov. Creams dobre rieši hydrologické, erózne a chemické transportné procesy, v rámci daných obmedzujúcich podmienok, pre ktoré bol odvodený. Jeho využitie je taktiež možné v európskych podmienkach, vyžaduje však úpravu a rozšírenie v hydrologickej časti modelu. Ako prognostický model Creams nedáva absolútne presné výstupy, ale umožňuje vyhodnotenie vplyvu alternatívnych spôsobov využitia území na transport látok. Je možné ho použiť bez kalibrácie, pre európske podmienky je potrebné overenie empirických súčiniteľov. Je pre homogénne územie, ale je ho možné použiť aj pre regionálne štúdie, alebo ako súčasť modelov pre väčšie povodia.

SWRRB (Simulator for Water Resource in Rural Basis) bol zostavený pre simuláciu hydrologických procesov a transportu splavenín v poľnohospodársky využívaných povodiach bez priamych pozorovaní do veľkosti cca 100 km² a pre vyhodnotenie vplyvu zmeny systému hospodárenia na tieto procesy. Povodie je schematizované charakteristickými profilmi plošného povrchového odtoku a charakteristickými profilmi sústredeného odtoku. Je to kontinuálny model, ktorého

hydrologická časť vychádza z hodnoty denného zrážkového úhrnu a využíva pre stanovenie charakteristík povrchového odtoku metódu povrchových číselných odtokových kriviek (CN) a erózna časť využíva princíp všeobecnej rovnice zmyvu pôdy (VRZP).

ANSWERS (Areal Nonpoint source Watershed Enviroment Respons Simulation) je dynamický model, ktorý rieši hydrologické procesy a transport splavenín z nehomogénnych povodí o veľkosti do cca 100 km². Povodie je nahradené systémom štvorcových homogénnych elementov. Každý štvorec tvorí samostatnú hydrologickú jednotku, na ktorej prebiehajú hydrologické a erózne procesy, ktorých výsledky sa prenášajú do susedných elementov. Model je určený pre riešenie odozvy povodia na jednotlivú zrážku s časovo premennou intenzitou. Charakteristiky povrchového odtoku sú riešené hydrologickým modelom, zostavenom na fyzikálnom základe a erózna časť modelu využíva jednoduché empirické závislosti pre definovanie uvoľnenia a transportu pôdných častíc procesmi vodnej erózie.

EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) je určený pre vyhodnotenie vplyvu erózných procesov (odnosu pôdy) na zmenu pôdných vlastností a na úrodnosť pôdy. Model podrobne simuluje vývoj plodiny v závislosti od klimatických a hydrologických podmienok a od prebiehajúcich erózných procesov. Taktiež je zahrnutý vplyv pesticídov a podzemného drenážneho systému. Skúmané územie je charakterizované prvkom sústredeného a plošného odtoku. Model je určený pre homogénne plochy do veľkosti cca 1,0 ha. Model, ako doposiaľ jediný, zvažuje aj vplyv veternej erózie na úrodnosť pôdy, ktorý je zvyčajne zanedbaný.

Z uvedených modelov nie je žiaden univerzálne použiteľný, nakoľko nepracuje vyhovujúcim spôsobom vo všetkých porovnávaných zrážkovo-odtokových situáciách. Modely CREAMS a SWRRB poskytovali dosť často výsledky porovnateľné s meranými údajmi. Model EPIC dobre simuloval charakteristiky odtoku, ale výsledky simulácie erózneho procesu neboli uspokojivé. Najhoršie boli výsledky simulácie s modelom ANSWERS i napriek zmenám parametrov modelu v závislosti na čase (Fulajtár - Janský, 2001).

Snaha zvýšiť univerzálnosť modelov a postupne nahradiť viac než 20 rokov používané empirické postupy v oblasti ochrany pôdy a vodných zdrojov viedla v USA k založeniu programu **WEPP** (Water Erosion Prediction Projekt). Cieľom projektu je

vyvinúť súbor simulačných modelov pre riešenie hydrologických, erózných a transportných procesov v troch priestorových jednotkách (Fulajtár - Janský, 2001):

- na ploche svahu - procesy plošnej erózie
- v jednoduchom povodí reprezentovanom profilom plošného povrchového odtoku plošnej erózie a profilom sústredeného odtoku - procesy ryhovej erózie
- v zložitom nehomogénnom povodí, reprezentovanom sieťou homogénnych elementov - procesy plošnej a ryhovej erózie.

V európskom meradle je významný model **EUROSEM** (European Soil Erosion Model), ktorého základom je model **SEM** (Soil Erosion Model) a zahŕňa procesy uvoľnenia pôdných častíc a transport povrchovým odtokom v tenkej vrstve. Rozšírená verzia modelu SEM zahŕňa ďalej aj procesy ryhovej erózie, ktorá je simulovaná na základe mechanizmu tvorby eróznej ryhy. (Ilavská - Jambor - Lazúr, 2005).

Jeden z najnovších modelov na stanovenie výšky erózneho zmyvu pôdy a na simuláciu povrchového odtoku a transportu splavenín je **CALSITE**. Keďže využíva GIS, umožňuje mapovať a kalibrovať splaveniny (Fulajtár - Janský, 2001).

4 Návrh na využitie výsledkov

Spracované teoretické poznatky môžu slúžiť k lepšiemu pochopeniu problematiky určenia eróznej ohrozenosti pôdy hlavne vodnou eróziou. Správne porozumenie problému je základom pre dobré riešenia. Vďaka správne spracovaniu erózie, môžeme dobre postupovať pri oševných postupoch, ako aj pri návrhu novej organizácií využívania územia poľnohospodárskymi podnikmi, ktorá by zohľadňovala eróznú ohrozenosť pôdy. Samozrejme postupy určovania erózie je možné použiť aj pri hodnotení škôd spôsobených eróziou, ďalej v riešení projektu pozemkových úprav, vo vodohospodárstve, pri ochrane pred zanášaním hydrotechnických diel, ako aj pri posudzovaní vplyvov na životné prostredie.

Spracovávanie eróznej ohrozenosti počítačovými aplikáciami ako sú geografické informačné systémy môže dopomôcť k unifikovaniu určovania erózie a zjednodušiť postupy určovania. Počítačová technika nám pomáha, zľahčuje a spresňuje našu robotu a tým sa dajú dosiahnuť presné výsledky. Práca s GISmi nám dokáže nielen presne určiť intenzitu erózie, ale čo je najhlavnejšie, zároveň určujú presnú polohu v krajine. Preto je používanie geografických informačných systémov efektívnejšie ako staršie empirické metódy.

Záver

Pôda je jedna z najdôležitejších priestorových jednotiek krajinného priestoru, je základným stanovišťom existencie, funkčnosti a zachovania ekosystému v krajine. Ochrana pôdy je preto existenčnou podmienkou ochrany prírody a ochrany životného prostredia človeka, ale aj podmienkou pre ekonomický a sociálny rozvoj spoločnosti. Povrchový odtok zrážkových vôd vyvoláva eróziu pôdy a tým ohrozuje a znehodnocuje približne polovicu výmery pôdy Slovenskej republiky a vedie k jej degradácií.

Empirický model Wischmeier - Smith pre výpočty straty pôdy eróznym zmyvom je možné GISmi presne špecifikovať polohu miesta v záujmovom území a navrhnúť protierózne opatrenia. Samozrejme treba digitalizovať a kvantifikovať všetky erózne faktory vo všeobecnej rovnici zmyvu pôdy. Príkladom pre využitie analýzy modelovania reliéfu v prostredí GIS je modelovanie vodnej erózie. Keďže reliéf ovplyvňuje rozličné javy a procesy a preto má zásadný význam pre dosiahnutie dostatočne presných výsledkov, modelov a analýz.

GIS ako aplikácia, ktorá umožňuje dosiahnutie výsledkov presne, rýchlo a aktuálne, poskytuje čo najvhodnejšie a najpresnejšie prostredie pre modelovanie erózných procesov na pôde a tým nám pomáha v environmentálnych a priestorových analýzach. Preto je dôležité zakomponovať moderné prvky techniky do starších, zaužívaných a často zdĺhavých metód ochrany pôdy.

Zoznam použitej literatúry

1. ANTAL, J. - FÍDLER, J A KOL. 1989. *Poľnohospodárske meliorácie*. Bratislava: Príroda, 1989. 464 s.
2. ANTAL, J. 1985. *Ochrana pôdy a lesotechnické meliorácie II. Návody na cvičenia*. Bratislava: Príroda, 1985. 208 s.
3. ANTAL, J. 1998. *Hodnotenie vodnej erózie*. In: Trvalo udržateľná úrodnosť pôdy a protierózna ochrana. Zborník konferencie Nitra 98. Nitra, 1998. s. 249-252.
4. ANTAL, J. 2005. *Protierózna ochrana pôdy*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2005 79 s. ISBN 80-8069-572-5
5. *Spoločnosť ESRI 2010* [online][cit. 2010-16-4]. Dostupné na internete <http://www.arcgeo.sk/cms/front_content.php?idcat=150>
6. *ArcView je najpoužívanejšou 2010* [online][cit. 2010-16-4]. Dostupné na internete <http://www.arcgeo.sk/cms/front_content.php?client=1&lang=1&idcat=153&idart=287&m=&s=>
7. COLUMBIA UNIVERZITY PRESS, 1999. *Encyklopedia Columbia*, New York 1999.
8. DEMO, M. A KOL. 1998. *Usporiadanie a vyžívanie pôdy v poľnohospodárskej krajine*. Nitra, 1998. 302s. ISBN 80-7137-525-X

-
9. FULAJTÁR, E. - JANSKÝ, L. 2001. *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2001. 308 s. ISBN 80-713 -732-5
 10. HALVA, J. - KLIMENT, M. 2009. *Vplyv presnosti digitálneho modelu reliéfu na modelovanie eróznej ohrozenosti*. In: GIS Ostrava 2009
 11. HALVA, J. KLIMENT, M. 2004. *Možnosti geovizualizácie v krajinnom prostredí*. In: Environmentálne informácie : enviro-i-forum : odborné fórum o dostupnosti environmentálnych informácií a využívaní informačných technológií pri ich spracovaní : 1. ročník konferencie, 15. - 17. 6. 2005, Zvolen, Technická univerzita [elektronický zdroj]. Banská Bystrica : Slovenská agentúra životného prostredia, 2005. S. 281-282
 12. HOLÝ, M. 1978. *Protierózna ochrana*. Praha: SNTL, 1978. 288 s.
 13. CHANG, K. 2008 *Intorduction to geographic information systems*. New York: McGraw-Hill, 2008. 450s ISBN 978 - 007 - 125920 - 0
 14. ILAVSKÁ, B. - JAMBOR, P. - LAZÚR, R. 2005. *Identifikácia ohrozenia kvality pôdy vodnou a veternou eróziou a návrhy opatrení*. Bratislava: VÚPOP, 2005. 52 s. ISBN 80 - 89128 - 22 - X
 15. JANEČEK, M. A KOL. 1992. *Ochrana zemědělské pudy před erozí*. Praha: Ústav védeckotechnických informácií pro zemědělství., 1993. 110 s. ISSN 0231 - 9470
 16. KOLÁŘ, J. 2003. *Geografické informační systémy 10*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2003. 161s. ISBN 80 - 10 - 02687 - 6
 17. MUCHOVÁ, Z. – VANEK, J. 2009. *Metodické štandardy projektovania pozemkových úprav*. Nitra : SPU, 2009. 397 s. ISBN 978-8-552-0267-9.
-

-
18. NOSKOVIČ, J. 2003. *Ochrana a tvorba životného prostredia*. SPU Nitra, 2003. 140s. ISBN 80 - 8068 - 263 - 7
19. *Vodná erózia pôdy v pôdno-klimatických podmienkach Slovenska 2010* [online][cit. 2010-16-4]. Dostupné na internete <<http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/erozia/vod/vod.aspx>
20. SKLENÁR, Š. *Teoretické riešenie ochranných opatrení proti účinkom vodnej erózie* (habilitačná práca). Nitra, 1996. 120 s.
21. STN 75 45 01. 2000. *Hydromeliorácie. Proti erózna ochrana poľnohospodárskej pôdy. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo*. 2000
22. ŠIMONIDES, I. 2004. *Základy geografických informačných systémov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2004. 109s. ISBN 80 - 7137 - 740 - 6
23. TREMBOŠ, P. – MINÁR, J. 1994. *Geografické informácie*. Geoinfo 1, 1994. 25s.
24. TUČEK, J. 1998. *Geografické informačné systémy: princípy a prax*. Praha: Computer press Praha, 1998. 424 s.
25. VOŽENÍLEK, V. - DEMEK, J. 2000. *Modelování erózných procesů. Experimentální studie TRKMANKA*. Geoinfo, 2000. č.1, 19-21 s.
26. WISCHMEIER, W. H. - SMITH, D. D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses*, Maryland: SEA USDA Hyatsville, 1978. 58 s. ISBN 001 - 000 - 03903 - 2
27. ZACHAR, D. 1970. *Erózia pôdy*. Bratislava: SAV, 1970. 528 s.

Prílohy



Obr. 9 zerodované trvalo trávne porasty v katastri obce Liptovská Sielnica (foto: Autor)



Obr. 10 Ryhová vodná erózia, kataster obce Štiavnička (foto: Autor)



Obr. 11 Pôsobenie erózie na veľkej ploche poľnohospodárskej pôdy (foto: Halva)



**Obr. 12 Názorný odnos pôdy po prívalovom daždi, kataster obce Partizánska
Lupča (foto: Autor)**