

## Výpočet erozní ohroženosti půdy s využitím gridu

Jan Votrubec<sup>1</sup> a Josef Vlasák<sup>2</sup>

### Soil Erosion Estimation Using Grid-based Computation

Soil erosion estimation is an important part of a land consolidation process. Universal soil loss equation (USLE) was presented by Wischmeier and Smith. USLE computation uses several factors, namely R – rainfall factor, K – soil erodability, L – slope length factor, S – slope gradient factor, C – cropping management factor, and P – erosion control management factor. L and S factors are usually combined to one LS factor – Topographic factor. The single factors are determined from several sources, such as DTM (Digital Terrain Model), BPEJ – soil type map, aerial and satellite images, etc. A conventional approach to the USLE computation, which is widely used in the Czech Republic, is based on the selection of characteristic profiles for which all above-mentioned factors must be determined. The result (G – annual soil loss) of such computation is then applied for a whole area (slope) of interest.

Another approach to the USLE computation uses grids as a main data-structure. A prerequisite for a grid-based USLE computation is that each of the above-mentioned factors exists as a separate grid layer. The crucial step in this computation is a selection of appropriate grid resolution (grid cell size). A large cell size can cause an undesirable precision degradation. Too small cell size can noticeably slow down the whole computation. Provided that the cell size is derived from the source's precision, the appropriate cell size for the Czech Republic varies from 30m to 50m. In some cases, especially when new surveying was done, grid computations can be performed with higher accuracy, i.e. with a smaller grid cell size. In such case, we have proposed a new method using the two-step computation. The first step computation uses a bigger cell size and is designed to identify higher erosion spots. The second step then uses a smaller cell size but it makes the computation only the area identified in the previous step. This decomposition allows a quick computation while the precision degradation is smaller than in the one-step computation. The above-described two-step method is suitable mainly for a combination of larger areas (several cadastral areas) and high precision sources at the same time. It is evident that in present time such a combination is rather unique, which means that in most cases the one-step computation with 30m–50m cell sizes is adequate. It is expected that in the future all sources used for the determination of the factors will have a higher accuracy and, therefore, the two-step computation will be needed.

**Key words:** Erosion, grid, USLE.

### Úvod

Eroze je jev, se kterým se setkáváme velmi často. Je - li její intenzita mírná, nezpůsobuje žádné velké škody. Je-li eroze silná, je výsledkem snížení hloubky úrodné půdy na pozemku, snížení obsahu živin a humusu, poškození rostlin, dále zanášení příkopů, vodních toků a nádrží, poškození komunikací a budov a další škody.

Určit intenzitu nebo stupeň eroze je velmi důležité proto, aby bylo možné ji mírnit a předcházet škodám způsobovaným erozí. Pro snížení eroze se navrhuje a aplikují různá protierozní opatření, která jsou charakteru technického, biotechnického, agrotechnického a organizačního. Aby navržená opatření byla funkční, je nutné předem znát místa, kde se eroze projevuje a určit její množství. Pro určování množství eroze a míst, kde se vyskytuje, se používají různé empirické nebo matematické modely. Mezi nejrozšířenější empirické modely patří univerzální rovnice ztráty půdy (USLE).

Tento příspěvek ukazuje další možnost určování erozní ohroženosti výpočtem s využitím gridů. Výhodou tohoto způsobu je to, že lze určit ztrátu půdy pro libovolné místo na pozemku, a že výsledek je uložen v takové formě, která umožňuje efektivně zpracovávat další analýzy pro dané území. Použití této metody pro výpočet erozního ohrožení a navržení protierozních opatření je předvedeno v souvislostech pozemkových úprav, které se kromě scelování pozemků, řešení jejich přístupnosti, zvyšování ekologické stability, zachování a obnovy krajinného rázu zabývají také ochranou půdy a vody.

### Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE)

V praxi se pro výpočet erozní ohroženosti běžně používá postup podle univerzální rovnice ztráty půdy (USLE – Universal Soil Loss Equation) podle autorů Wischmeiera a Smithe. Rovnice je velmi jednoduchá, obsahuje několik parametrů nazývaných faktory, které vyjadřují vliv jednotlivých veličin, stavů a jevů na erozi. Výsledkem je průměrná dlouhodobá (většinou roční) ztráta půdy v jednotkách [t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>] označená jako G (v literatuře se používá také písmeno A nebo U).

$$G = R.K.L.S.C.P$$

Význam jednotlivých faktorů je následující:

<sup>1</sup> Ing. Jan Votrubec, Katedra geodézie a pozemkových úprav, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, Praha 6

<sup>2</sup> Ing. Josef Vlasák, Katedra geodézie a pozemkových úprav, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, Praha 6  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 11. 4. 2005)

- **Faktor R** vyjadřuje erozní účinnost deště a je odvozen z dlouhodobých pozorování na meteorologických stanicích. Optimální doba sledování je 50 let, připouští se však i kratší doba sledování 15-20 let. Hodnota faktoru závisí na četnosti výskytů, srážkovém úhrnu, intenzitě a kinetické energii přívalové srážky. To je taková srážka, která má úhrn větší než 12,5mm a intenzitu 24mm/h. Pro území České republiky je možné použít průměrnou hodnotu  $R=20$ . Na podkladě údajů ČHMÚ se zpracovává podrobnější mapa rozložení faktoru R podobně jako je tomu v sousedních a dalších zemích. Konkrétní hodnoty pro několik desítek lokalit na území Česka a Slovenska jsou uvedeny v příloze (Janeček,1992) a byly převzaty do výpočetního programu ERCN, který byl použit pro tzv. klasický výpočet. V našem příkladu jsme použili průměrnou hodnotu  $R=20$ , pokud by byly známy zpřesněné hodnoty pro konkrétní území je možné tuto hodnotu změnit. V případě proměnného faktoru R je možné použít grid faktoru R, který lze vytvořit např. převedením vektorové vrstvy faktoru R na grid. Vzhledem k předpokládaným velikostem území zpracovávaných při pozemkových úpravách, které jsou v řádu jednotek  $\text{km}^2$ , se neočekává častý případ tvorby gridu pro faktor R, ale bude stačit použít průměrnou nebo aktualizovanou hodnotu pro celý region.
- **K faktorem** je vyjádřena erodovatelnost půdy. Jeho hodnota závisí na zrnitostním složení půdy, na obsahu organických částí, na struktuře a propustnosti. Tyto půdní charakteristiky ovlivňují infiltrační schopnost půdy a odolnost půdy proti erozi z dopadajících kapek a proti erozi z povrchového odtoku. Při znalosti všech uvedených vlastností půdy je možné použít nomogram (Wischmeier-Smith,1978). Pro přibližné určení faktoru K je v (Janeček,2002) sestavena tabulka hodnot podle bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). V případě zastoupení různých hodnot faktoru K v rámci jednoho erozního profilu se určí jedna průměrná hodnota váženým průměrem podle postupu uvedeného v (Janeček,2002).
- **Faktory L a S** Vliv délky a sklonu svahu na erozi je vyjádřen topografickým faktorem LS. Závisí na délce nepřerušného svahu na pozemku a na sklonu svahu. Obě hodnoty jsou spolu navzájem propojené a pro jejich určení se používají různé podklady. Až do nedávna to byly převážně tištěné mapy v měřítku 1 : 5 000 (SMO5) nebo 1 : 10 000 (ZM10) obsahující polohopis a výškopis, nejčastěji ve formě vrstevnic. Na mapách bylo zvoleno několik charakteristických profilů v trasách plošného povrchového odtoku a určena hodnota LS. Pro pozemek či celý svah byl potom určující profil s nejvyšší hodnotou LS. V případě proměnlivého sklonu je možné určit výslednou hodnotu sklonu váženým průměrem podle (Janeček,2002), nebo použít opravné hodnoty pro svahy konkávní, konvexní a kombinované.
- **C faktor** Vliv vegetace na půdě je obsažen ve faktoru C, který se nazývá ochranný vliv vegetace. Porosty chrání povrch půdy před dopadajícími kapkami, zpomalují povrchový odtok a zlepšují půdní vlastnosti důležité z hlediska vodní eroze. Je možné říci, že čím hustší a vyšší porost se na pozemku nachází, zejména v období nejčastějšího výskytu přívalu dešťů od dubna do října, tím účinnější je ochrana půdy. Mezi plodiny nejméně chránící patří širokořádkové plodiny jako je kukuřice a okopaniny, v pořadí další je řepka, obilniny jarní a ozimé. Nejvyšší ochranu poskytují pícniny a travní porosty. Celý rok je pro každou plodinu rozdělen do pěti období v závislosti na stavu pozemku a porostu a pro tato období je dána dílčí hodnota faktoru C. Podle agrotechnických termínů v určité lokalitě se z těchto dílčích hodnot určí průměrná hodnota faktoru C pro danou plodinu a podle osevního postupu je možné určit i průměrnou dlouhodobou hodnotu pro období několika let.
- **Faktor P** Pokud jsou na pozemku na svahu aplikována některá protierozní opatření, jako je vrstevnicové obdělávání, pásové střídání plodin, hrázkování či terasování, je možné jejich vliv zahrnout do výpočtu. Podle tabulky uvedené v (Janeček,2002) se upraví hodnota faktoru P. Jinak se v obecných případech volí rovna jedné.

### Grid

Grid je jedna z forem používaných pro uchování prostorových dat. Někdy bývá také nazýván jako mříž, mřížka nebo síť, ale tyto názvy se používají také pro určité druhy vektorových dat, proto byl zvolen termín grid. Datová struktura gridu je jednoduchá a úsporná, umožňuje snadné a názorné prezentace a následné analýzy. Grid je představován pravidelnou sítí bodů (buněk), pro které je známa hodnota sledované veličiny nebo jevu, který plošně pokrývá celé území. Na podkladě hodnot uložených v gridu a jejich interpolaci lze určit hodnotu veličiny pro jakýkoliv bod v území. V tom je výhoda gridu oproti jiným datovým formátům.

Grid může obsahovat buď numerické hodnoty nebo texty, které mohou vyjadřovat např. využití území nebo pozemku, druh pěstované plodiny apod. Potom se jedná o tzv. textové nebo land-use gridy. I takový grid může být použit pro analýzy.

Grid se vytváří některým typem prostorové interpolace ze vstupní množiny bodů, pro které je určena hodnota sledované veličiny či jevu (byla zjištěna např. měřením, nebo předchozími výpočty). Prostorové

interpolace se dělí na globální a lokální. U globálních se jedna nová hodnota určuje s ohledem na všechny vstupní hodnoty, u lokálních se používá pouze několik okolních bodů vybraných podle určitého pravidla. Mezi prostorové interpolace patří metoda přirozeného souseda, metoda trojúhelníková, metoda inverzní vzdálenosti, bilinéární interpolace a další.

Typickým příkladem vstupních dat je množina nepravidelně rozmístěných bodů s nadmořskou výškou. Tyto body mohou pocházet z přímého geodetického měření, z vyhodnocení leteckých snímků, nebo mohly vzniknout digitalizací vrstevnicové mapy. Před vytvářením gridu je potřebné znát jeho další účel a použití, protože tím je ovlivněna velikost gridové buňky, čili jeho rozlišení. Samozřejmě, že tato volba také závisí na vstupních datech a jejich vlastnostech. Pokud do následné analýzy bude vstupovat několik gridových vrstev, bude přesnost výsledku ovlivněna nejméně přesným gridem. Z toho vyplývá, že před vytvářením gridů je nutné znát také přesnost vstupních dat. Velikost gridové buňky se volí podle vstupních dat s nejmenší přesností. Dalším hlediskem je množství zabrané paměti, rychlost tvorby gridu a dalších výpočtů při analýzách.

V některých případech je vhodné vstupní data agregovat a grid vytvářet z již takto předzpracovaných dat. Jindy je vhodnější vytvořit grid s odpovídajícím rozlišením z originálních vstupních dat a teprve potom tzv. redukci gridu, čili změnou velikosti gridové buňky (rozlišení gridu), zrychlit následné výpočty a uspořit kapacitu paměťových médií.

Vytváření gridů, agregace vstupních dat, redukce gridů a další gridové výpočty jsou umožněny funkcemi ve všech hlavních programových systémech GIS. Pro výpočty v následujícím příkladu byl použit software Vertical Mapper, což je nadstavba GIS systému MapInfo.

### Podklady pro gridový výpočet

Ideálním podkladem jsou datové vrstvy jednotlivých faktorů, které pokrývají celé zájmové území. To je cílový stav, ke kterému směřuje i vývoj v ČR. Formát dat může být a také je různý, pro vytvoření gridů je možné použít např. bodových či liniových informací uložených ve vektorovém formátu. Vrstvy jednotlivých faktorů podle univerzální rovnice ztráty půdy zatím plošně neexistují, a proto si je musí uživatel pořídit sám. Buď zpracuje nějaký předchozí digitální podklad, nebo jej musí vytvořit z originálních dat.

### Bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ)

Jedním z podkladů, který plošně pokrývá celé území republiky a který obsahuje množství potřebných informací, jsou bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ), které hodnotí a rozčleňují zemědělské půdy z hlediska produkčního, agroekologického, půdoznaleckého i ekonomického. Základním podkladem byl komplexní průzkum zemědělských půd, který byl dále doplněn o charakteristiky klimatu, svazitosti a orientace vůči světovým stranám, hloubky půdy a obsahu skeletu. Konkrétní vlastnosti pro určitý areál zakreslený v mapě jsou vyjádřeny pětimístným kódem. Při znalosti významu jednotlivých čísel kódu je možné zpětně odvodit dílčí vlastnosti půdy a další charakteristiky daného místa.

Mapy a databázi údajů o BPEJ pro území celé České republiky spravuje Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP). Data pro určitý region je možné získat prostřednictvím katastrálních pracovišť nebo pozemkových úřadů, linie BPEJ jsou součástí digitálních katastrálních map (DKM).

Původním účelem BPEJ bylo plánování produkce, dnes se BPEJ používají pro účely daňové, pro stanovení úředních cen, pro delimitaci kultur, pro ochranu půdy a také jako podklad pro určení eroze půdy. Zejména účely spojené s finančním vyjádřením BPEJ jsou velmi citlivé na přesnost průběhu linií, kdy spolu mohou sousedit dvě oblasti s velmi výrazně odlišnou cenou za 1m<sup>2</sup>.

Při tvorbě gridu na podkladě průběhu linií BPEJ vyvstává otázka volby velikosti gridové buňky, čili rozlišení gridu. Výsledná přesnost polohy (umístění) linie BPEJ je dána jednak způsobem vyhodnocení prvotních podkladů a také grafickým zákresem do mapy. Linie BPEJ byly původně zakresleny do map v měřítku 1 : 5 000 (SMO5 – Státní mapa odvozená) a později digitalizovány. Jen použité měřítko mapy a forma zakreslení ovlivňují přesnost v řádu 5-10 m. Podstatnější vliv na přesnost průběhu linií BPEJ však měla interpolace z relativně řídké sítě sond.

Používaly se tři kategorie sond, z odebraných vzorků se laboratorním vyhodnocením zjistily vlastnosti a charakteristiky půdy. Vznikla tak síť bodů s konkrétními hodnotami a mezi těmito body byl průběh linií určen interpolací. Průměrná vzdálenost mezi základními sondami byla od 260m do 420m (mezi výběrovými sondami 835-1340m). Nejmenší vymezené oblasti BPEJ byly ve velikosti 3ha, v případě sousedních kontrastních ploch 0,5ha. Výsledná přesnost polohy linie BPEJ je 20-30m (někteří autoři uvádějí až 50m). Z toho vyplývá, že velikost gridové buňky vytvořené na základě průběhu linií BPEJ ve vektorovém formátu je možné zvolit 20-30m, v některých případech až 50m.

Přesnější průběh linií BPEJ je možné získat rebonitací, při které se odebírají nové sondy ve větší hustotě než byly sondy původní a polohy nových sond jsou určeny také s větší přesností. Výsledky odebraných vzorků se nově zpracují. Rebonitace se provádí ve spojitosti s komplexními pozemkovými úpravami a je dosti nákladná. Nedá se očekávat, že by k rebonitaci došlo plošně na celém území republiky.

Z údajů o BPEJ je možné odvozovat množství dílčích údajů, v případě vodní eroze se jedná zejména o hodnotu faktoru K (z druhého a třetího čísla kódu), hloubku půdy (z agregovaného pátého čísla kódu) a podle ní určenou přípustnou ztrátu půdy. Ze čtvrtého čísla kódu je možné odvodit i sklonitost.

### Digitální terénní model

Dalším důležitým podkladem jsou informace o terénu. V ideálním případě jsou vyjádřeny ve formě digitálního terénního modelu (DTM) a uloženy v některém standardizovaném formátu.

Podkladem pro vytvoření DTM je buď letecké snímkování, přímé měření nebo kombinace obou metod. Další možností je digitalizace starších mapových podkladů. Přesnost výsledného modelu je závislá na použitém měřítku snímkování, případně na měřítku původních map. Ve většině případů bude lepší než u BPEJ. Výsledný DTM se použije pro vytvoření gridu LS. Pokud bude DTM vytvářen prostorovou interpolací je nutné dbát na to, aby ve výsledném povrchu nevznikly některé nežádoucí efekty, např. „schodovitý“ efekt u povrchů vytvářených na podkladě vrstevnic.

### Letecké snímky

Letecké snímky mohou být použity také pro určení druhu pozemku, pro existenci a typ protierozních opatření, spolu se spektrálním vyhodnocením i pro určení pěstované plodiny. Z těchto informací by bylo možné vytvořit grid s rozložením faktoru C. Na podkladě skutečného průběhu cest, mezi a dalších viditelných rozhraní je možné určit hranice půdních bloků, v rámci nichž se bude vyhodnocovat erozní ohroženost. Tím se z výpočtu vyřadí plochy zastavěné, zalesněné a zatravněné, kde je eroze minimální, a výpočet proběhne pouze na blocích orné půdy.



Obr. 1. Bloky orné půdy (B1-B20) a erozní profily (1-20) pro klasický výpočet

Fig. 1. arable soil blocks (B1-B20) and erosion profiles (1-20) used for the classical erosion computation

V dále uvedeném příkladu jsou zpracována data ze severozápadního okolí Kutné Hory, poskytl je Pozemkový úřad v Kutné Hoře. Velikost území v příkladu je 25 km<sup>2</sup> (z toho 10,5 km<sup>2</sup> zabírají bloky půdy). Nejprve je uveden klasický výpočet pomocí erozních profilů a poté výpočet s využitím gridů.

### Klasický výpočet

Pro porovnání výsledků byl použit běžný výpočet pomocí erozních profilů. V blocích orné půdy se zvolí jedna či několik údolnic s očekávaným povrchovým odtokem (viz. Obr.1). Pro každou z nich se určí všechny faktory z rovnice ztráty půdy a vyčíslí se hodnota ztráty půdy G. Faktor R byl zvolen roven 20, faktor K byl určen podle průběhu linií a údajů o BPEJ, faktor P byl zvolen roven 1. U faktoru C byl zvolen stejný postup jako

u gridového výpočtu, kdy každý erozní profil byl vypočten několikrát, vždy s různou hodnotou faktoru C pro jednotlivé charakteristické plodiny viz. Tab.1.

Tab. 1. Průměrné roční hodnoty faktoru C pro vybrané plodiny  
Tab. 1. Average year values of C factor for selected crops

Plodina	Brambory	Řepka ozimá	Jarní obilnina	Jeteloviny
faktor C	0,50	0,30	0,16	0,02

Faktor L byl vypočten na základě délky profilu, faktor S byl určen váženým průměrem z několika dílčích hodnot spádu na profilu. Pro výpočet byl použit software ERCN z Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (VUMOP). Výsledkem jsou hodnoty ztráty půdy pro jednotlivé profily a pro jednotlivé plodiny uvedené v Tab.2. Výsledky z výpočtu erozních profilů se aplikují na celý půdní blok, ve kterém se erozní profil nachází. Výsledné hodnoty ztráty půdy se porovnají se ztrátou přípustnou, která je dána podle hloubky půdy (hloubka půdy se určí podle kódu BPEJ). V případě překročení přípustného množství ztráty půdy je nutné navrhnout pro daný blok protierozní opatření. Výsledná hodnota ztráty půdy je ovlivněna přesností vstupních veličin a podle (Švehla,1995) se pohybuje v řádu 10-30%. Proto je třeba výslednou hodnotu aplikovat se zřetelem na její přesnost a porovnat výsledky výpočtu s terénním průzkumem. I profily s menší než přípustnou ztrátou mohou být nepříznivě ovlivněny vodní erozí.

Tab. 2. Ztráta půdy G pro klasický výpočet (erozní profily) a pro gridový výpočet  
Tab. 2. Soil loss G for the classic computation (erosion profiles) and for the grid computation

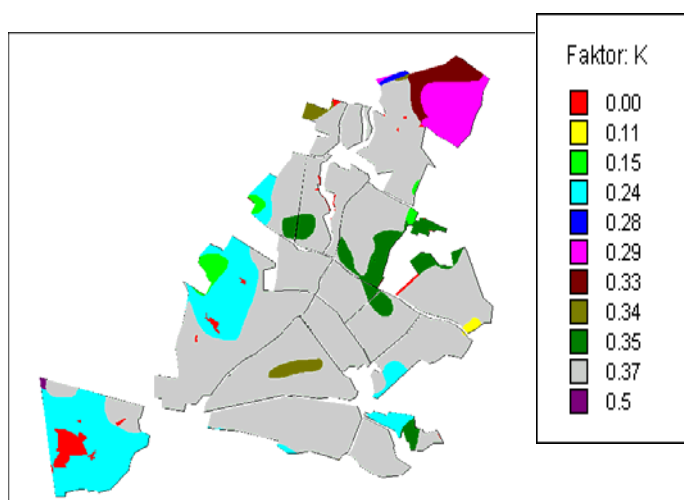
G [t.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> ]									
Blok půdy	Erozní profil	C = 0,5		C = 0,3		C = 0,16		C = 0,02	
		klas. výp.	grid	klas. výp.	grid	klas. výp.	grid	klas. výp.	grid
B1	18	6,2	9,9	3,7	5,9	2,0	3,2	0,2	0,4
B1	19	2,9	9,9	1,7	5,9	0,9	3,2	0,1	0,4
B2	1	8,3	7,5	5,0	4,5	2,7	2,4	0,3	0,3
B2	2	10,4	7,5	6,2	4,5	3,3	2,4	0,4	0,3
B3	3	11,7	14,3	7,0	8,6	3,7	4,6	0,5	0,6
B3	4	10,0	14,3	6,0	8,6	3,2	4,6	0,4	0,6
B4	21	5,3	16,4	3,2	9,9	1,7	5,3	0,2	0,7
B5	5	12,7	13,0	7,6	7,8	4,1	4,2	0,5	0,5
B5	6	11,7	13,0	7,0	7,8	3,7	4,2	0,5	0,5
B6	7	7,6	11,3	4,6	6,8	2,4	3,6	0,3	0,5
B6	8	13,3	11,3	8,0	6,8	4,3	3,6	0,5	0,5
B6	9	18,1	11,3	10,9	6,8	5,8	3,6	0,7	0,5
B7	10	6,8	9,9	4,1	5,9	2,2	3,2	0,3	0,4
B7	11	10,3	9,9	6,2	5,9	3,3	3,2	0,4	0,4
B8	12	16,7	15,5	10,0	9,3	5,4	5,0	0,7	0,6
B8	13	9,4	15,5	5,6	9,3	3,0	5,0	0,4	0,6
B9	14	7,3	10,3	4,4	6,2	2,3	3,3	0,3	0,4
B10	15	12,2	9,5	7,3	5,7	3,9	3,0	0,5	0,4
B11	22	2,0	3,0	1,2	1,8	0,6	1,0	0,1	0,1
B12	16	2,9	6,3	1,7	3,8	0,9	2,0	0,1	0,3
B13	17	10,7	14,2	6,4	8,5	3,4	4,6	0,4	0,6
B14	20	11,0	8,2	6,6	4,9	3,5	2,6	0,4	0,3
B15	23	5,3	5,0	3,2	3,0	1,7	1,6	0,2	0,2
B16	24	5,6	10,6	3,4	6,4	1,8	3,4	0,2	0,4
B17	25	19,5	11,4	11,7	5,9	6,3	2,7	0,8	0,5
B17	26	19,7	11,4	11,8	6,9	6,3	3,7	0,8	0,5
B18	27	8,4	10,1	5,0	6,1	2,7	3,2	0,3	0,4
B19	28	2,8	7,1	1,7	4,3	0,9	2,3	0,1	0,3
B20	29	7,6	14,5	4,6	8,7	2,4	4,6	0,3	0,6

### Gridový výpočet

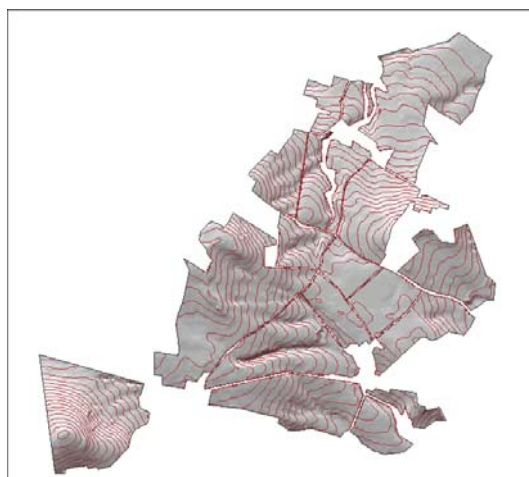
Při výpočtu s použitím gridů je nutné vytvořit gridové vrstvy s hodnotami jednotlivých faktorů. Před jejich tvorbou je nutné zvolit velikost gridové buňky podle podkladu s nejmenší přesností. V našem příkladu to byly linie BPEJ. S ohledem na velikost dotčeného území byla velikost buňky zvolena 5m.

Pro faktor R byla použita průměrná hodnota pro Českou republiku a to  $R=20$ , takže do výpočtu vstupuje jako konstanta pro celé zpracovávané území. V budoucnosti, až bude k dispozici mapa rozložení hodnot faktoru R, bude možné použít grid i pro tento faktor.

Pro vytvoření gridu faktoru K (viz. Obr.2) byla použita vektorová mapa BPEJ. Kódy BPEJ byly převedeny na hodnoty faktoru K a vektorová vrstva byla převedena na grid.



Obr. 2. Grid faktoru K podle linií BPEJ  
Fig. 2. K factor grid was created from BPEJ information

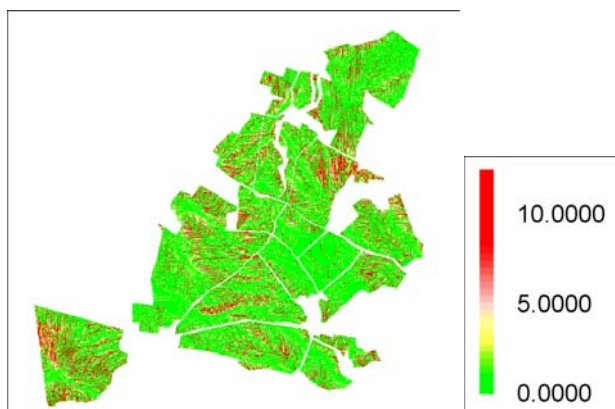


Obr. 3. Grid digitálního terénního modelu (DTM) s vrstevnicemi  
Fig. 3. DTM grid with elevation contours

### Faktor LS

Tvorba gridu obsahujícího hodnoty topografického faktoru LS je pro celý výpočet erozní ohroženosti klíčová (Mitasova,1998). Vstupními daty je podle (Hickey,2001) digitální terénní model (DTM) nebo digitální model převýšení (DEM – digital elevation model). Pro převod gridu DTM na grid LS existuje několik postupů (Dunn et al.,1998). Podkladem pro tvorbu gridu LS byly zvektorizované vrstevnice z mapy v měřítku 1 : 10 000. Z vektorů vrstevnic byl vytvořen seznam souřadnic s výškami, dále grid DTM (Obr. 3) a na jeho podkladě grid LS (Obr. 4).

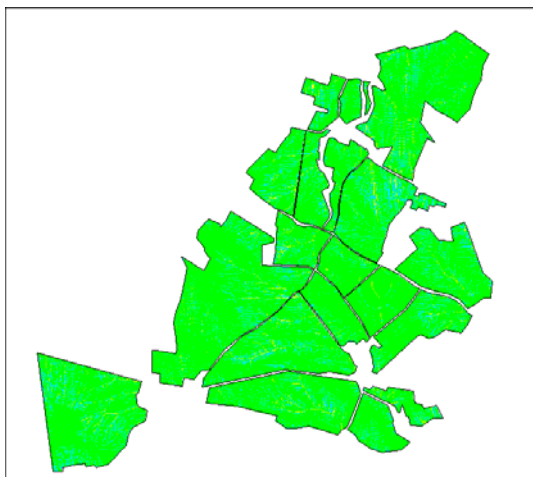
V případě faktoru C nebylo uvažováno reálné rozmístění plodin v konkrétním čase. To by bylo možné vyhodnotit z leteckých snímků a terénním průzkumem, potom vytvořit mapu rozložení plodin či osevního postupu a tuto vrstvu převést na grid. Výsledkem by byl odhad eroze pro konkrétní rozmístění plodin. V našem příkladu byl zvolen postup takový, že výpočet byl proveden najednou pro celé území pro několik charakteristických plodin. Pro každou plodinu byla zvolena průměrná roční hodnota viz. Tab. 1.



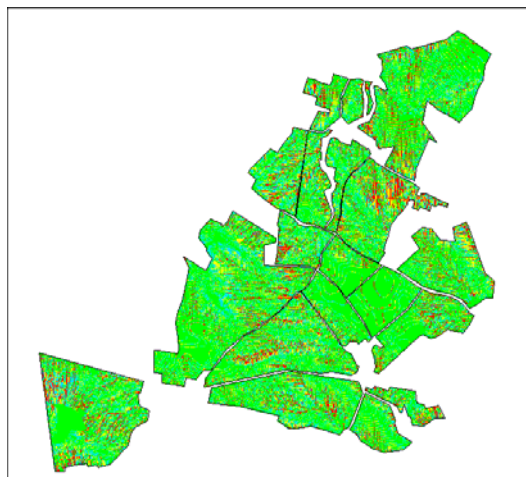
Obr. 4. Grid topografického faktoru LS  
Fig. 4. Topographic LS factor grid

Faktor P byl zvolen roven jedné. Pro volbu odlišných hodnot nebyly známy podklady. Jednak nebyly známy konkrétní protierozní postupy obdělávání a hospodaření na jednotlivých pozemcích a také jejich důslednost a systematičnost závisí pouze na vůli hospodáře, nelze se na ni vždy plně spolehnout a jejich aplikaci je nutné ověřit terénním průzkumem. Při znalosti existence těchto protierozních opatření je možné vytvořit mapu rozložení hodnot faktoru P, tu převést na grid a použít do výpočtu.

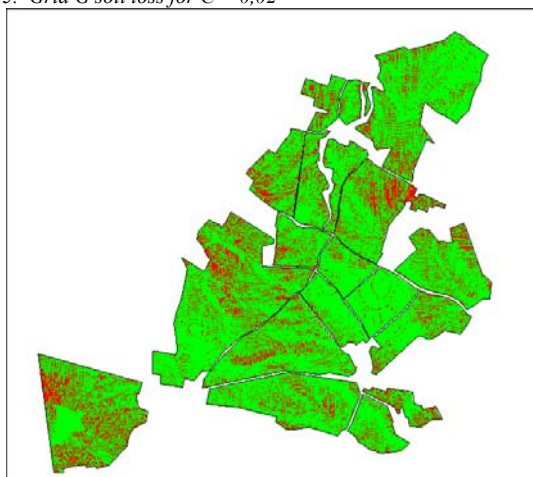
Výsledkem jsou gridy ztráty půdy pro jednotlivé vybrané plodiny (obr. 5, 6, 7, 8).



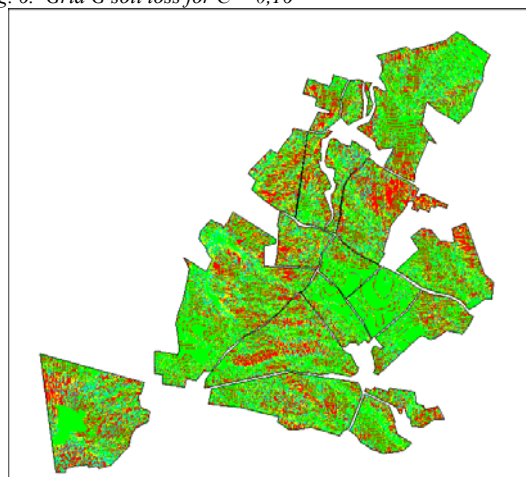
Obr. 5. Grid ztráty půdy G pro  $C = 0,02$   
Fig. 5. Grid G soil loss for  $C = 0,02$



Obr. 6. Grid ztráty půdy G pro  $C = 0,16$   
Fig. 6. Grid G soil loss for  $C = 0,16$



Obr. 7. Grid ztráty půdy G pro  $C = 0,3$   
Fig. 7. Grid G soil loss for  $C = 0,3$



Obr. 8. Grid ztráty půdy G pro  $C = 0,5$   
Fig. 8. Grid G soil loss for  $C = 0,5$

### Srovnání obou metod

Ze srovnání výsledných hodnot ztrát půdy G pro jednotlivé bloky (viz. Tab.1) vyplývá, že obě metody jsou srovnatelné. U většiny bloků jsou výsledky v rámci očekávané přesnosti. Některé větší rozdíly jsou způsobené nedetailním průběhem digitálního terénního modelu, který se promítá do hodnot topografického faktoru LS a ovlivňuje i výslednou hodnotu ztráty půdy. Tyto nepřesnosti je možné odstranit zpřesněním průběhu DTM v problematických místech.

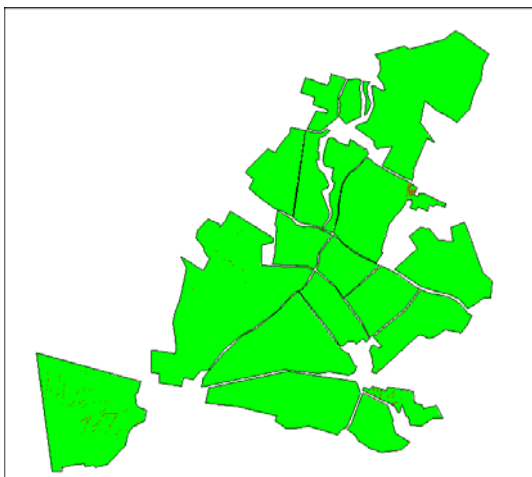
Metoda s využitím gridů má výhodu v tom, že výsledkem není jen jedno číslo pro velké území, ale množina dat, která umožňuje další analýzy.

Na obr. 5, 6, 7, 8, je vidět rozložení intenzity ztráty půdy v rámci jednotlivých bloků, tedy místa, kde pro jednotlivé zástupce plodin dochází k největšímu (červené plochy) a nejmenšímu odnosu půdy (zelené plochy). Porovnáním vypočtené ztráty půdy se ztrátou přípustnou se získají místa a pozemky ohrožené.

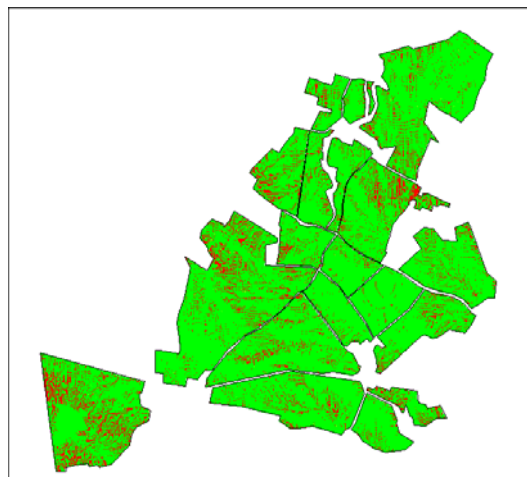
Na obr. 9, 10, 11, 12 jsou vidět místa, která jsou pro danou plodinu vhodná (zelené plochy) a naopak místa, kde je pěstování určité plodiny z hlediska vodní eroze nežádoucí (červené plochy), protože bude docházet k překračování přípustné ztráty půdy. Na první pohled je tedy zřejmé, že víceleté pícniny ( $C=0,02$ ) je možné zde pěstovat bez omezení. Tento výsledek byl očekáván a tato plodina byla zvolena spíše pro ilustraci výsledků. U dalších zástupců plodin se začínají objevovat různě veliké oblasti, které jsou pro jejich nasazení nevhodné.

Podle toho je možné ovlivnit rotaci plodin v rámci osevního postupu, nebo na označených místech navrhnout a aplikovat některá protierozní opatření. Výsledek na obr. 10 až 13 souhlasí i s terénním průzkumem, kde právě v těchto místech dochází k erozi. Vzhledem k tomu, že se jedná většinou o údolnice se soustředěným povrchovým odtokem, je vhodné navrhnout jejich zatravnění.

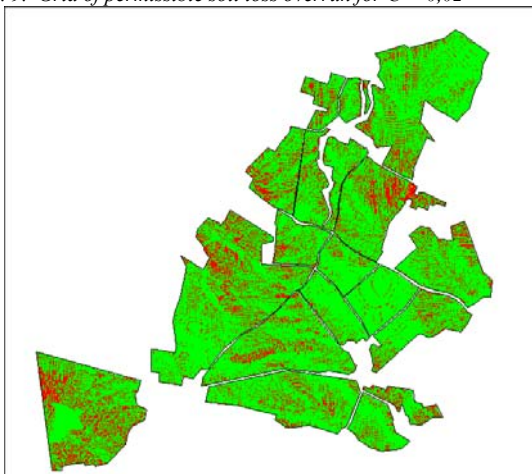
V dalších krocích je možné do výpočtu zařadit grid faktoru P, který bude zahrnovat některá protierozní opatření.



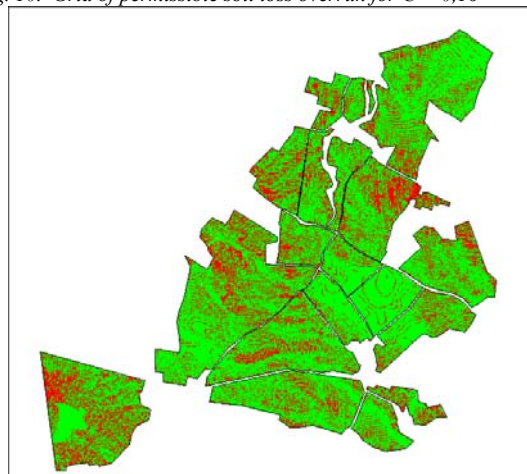
Obr. 9. Grid překročené  $G_{př}$  pro  $C = 0,02$   
Fig. 9. Grid of permissible soil loss overrun for  $C = 0,02$



Obr. 10. Grid překročené  $G_{př}$  pro  $C = 0,16$   
Fig. 10. Grid of permissible soil loss overrun for  $C = 0,16$



Obr. 11. Grid překročené  $G_{př}$  pro  $C = 0,3$   
Fig. 11. Grid of permissible soil loss overrun for  $C = 0,3$



Obr. 12. Grid překročené  $G_{př}$  pro  $C = 0,5$   
Fig. 12. Grid of permissible soil loss overrun for  $C = 0,5$

### Závěr

Uvedená metoda určení ztráty půdy s využitím gridů je použitelná a dává srovnatelné výsledky s klasickým výpočtem s erozními profily. Nejnáročnější fází gridového výpočtu je vytvoření jednotlivých vrstev, protože zatím nejsou plošně k dispozici. Pokud zařadíme určení erozní ohroženosti do kontextu pozemkových úprav, tak v rámci prací na pozemkových úpravách se provádí řada prací, jejichž výsledky jsou využitelné jako podklady pro tvorbu gridů a tuto metodu lze použít.

Článek vznikl v rámci výzkumného záměru  
MSM21000007 „Komplexní inovace technologií  
v geodézii a kartografii“.



### Literatura – References

- Dunn, M., Hickey, R.: The effect of slope algorithms on slope estimates within a GIS. *Cartography*, vol. 27. No1, pp. 9-15. 1998
- Hickey, R.: Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography*, vol. 29, no. 1, pp. 1-8. 2000
- Janeček, M. a kolektiv: Metodika 5/1992 – Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, ÚVTIZ, 1992
- Janeček, M. a kolektiv: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, ISV nakladatelství, 2002
- Mitasova, H., Mitas, L., Brown, W. M., Johnston, D.: Multidimensional Soil Erosion/deposition Modeling and visualization using GIS. *Final report for USA CERL. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL. 1998* (<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/erhome.html>)
- Švehla, F., Vaňous, M.: Pozemkové úpravy. Praha, ČVUT, 1995
- Wischmeier, W. H., Smith, D. D.: Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Agr.Handbook No.537, U.S.Dept.of Agriculture, Washington,D.C., 1978