

Česká zemědělská univerzita Praha
Fakulta životního prostředí

Ochrana zemědělské půdy před erozí



Metodika

Miloslav Janeček a kol.

Praha 2012

Tato metodika „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ byla novelizována na základě nových poznatků získaných zejména při řešení výzkumného projektu NAZV QH 72085 „Diferenciace protierozních opatření podle erodovatelnosti půd a erozivity dešťů“. Výstup byl doporučen k publikování Ústředním pozemkovým úřadem MZe, č.j. ... ze dne jako certifikovaná metodika.

Novelizovaná Metodika byla zpracovaná pod vedením prof. Ing. Miloslava Janečka, DrSc. (FŽP ČZU Praha) kolektivem autorů:

Doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál (FSv ČVUT Praha)
Ing. Jana Kozlovsky Dufková (MENDELU, Brno)
Doc. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc. (VUT Brno)
Prof. Ing. Josef Hůla, CSc. (TF, ČZU Praha)
Ing. Václav Kadlec, Ph.D. (VÚMOP, v.v.i.)
Ing. Jana Konečná (VÚMOP, v.v.i.)
prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc. (FŽP ČZU Praha)
Doc. Ing. Josef Krása, Ph.D. (FSv ČVUT Praha)
Ing. Eliška Kubátová, CSc. (FŽP ČZU Praha)
Ing. Dominika Kobzová (FŽP ČZU Praha)
Ing. Marie Kudrnáčová (FŽP ČZU Praha)
Ing. Ivan Novotný (VÚMOP, v.v.i.)
Ing. Jana Podhrázká, Ph.D. (VÚMOP, v.v.i.)
Ing. Jaroslav Pražan (ÚZEI)
Ing. Eva Procházková (FŽP ČZU Praha)
Ing. Hana Středová, Ph.D. (MENDELU, Brno)
Prof. Ing. František Toman, CSc. (MENDELU, Brno)
Ing. Jan Vopravil, Ph.D. (VÚMOP, v.v.i.)
Ing. Josef Vlasák, Ph.D. (FŽP ČZU Praha)

Recenzenti: Ing. Karel Jacko, Ph.D. (ÚPÚ MZe ČR)
Doc. Ing. Jiří Váška, CSc. (ČVUT, Praha)

© Česká zemědělská univerzita Praha 2012

ISBN

Obsah

1. Určení ohroženosti zemědělské půdy vodní erozí.....	7
1.1. Faktor erozní účinnosti přívalového deště (R)	8
1.2. Faktor erodovatelnosti půdy (K)	12
1.3. Faktory délky a sklonu svahu (L, S)	16
1.4. Faktor ochranného vlivu vegetace (C)	20
1.5. Faktor účinnosti protierozních opatření (P)	23
1.6. Přípustná ztráta půdy vodní erozí.....	24
1.7. Posouzení erozní ohroženosti.....	24
2. Hydrologické podklady pro návrh protierozních opatření.....	26
2.1. Metoda čísel odtokových křivek (CN)	26
3. Stanovení intenzity eroze z tání sněhu.....	41
4. Odhad transportu splavenin	48
5. Simulační modely erozních procesů	49
5.1. HydroCad.....	50
5.2. SMODERP.....	51
5.3. KINFIL.....	52
5.4. Erosion 2D/3D.....	52
5.5. WEPP.....	53
5.6. Metoda USLE s využitím geoinformačních technologií.....	54
6. Opatření proti vodní erozi.....	56
6.1. Organizační protierozní opatření.....	57
6.2. Agrotechnická protierozní opatření.....	60
6.3. Technická protierozní opatření.....	70
7. Větrná eroze	90
7.1. Výpočet erodovatelnosti půdy větrem.....	91
7.2. Organizační opatření proti větrné erozi.....	94
7.3. Agrotechnická opatření proti větrné erozi.....	95
7.4. Technická opatření proti větrné erozi a větrolamy.....	97
8. Ekonomické aspekty eroze půd.....	102
8.1. Možnosti ocenění interních dopadů eroze pomocí BPEJ.....	103
Závěr.....	105

Literatura	106
Základní technické normy a předpisy	108
Seznam tabulek	109
Seznam obrázků	111
Seznam použitých symbolů.....	113
PŘÍLOHY	

Úvod

Zrychlená eroze zemědělských půd vážně ohrožuje produkční a mimoprodukční funkce půd a vyvolává mnohamilionové škody v intravilánech měst a obcí. Ty jsou způsobované povrchovým odtokem a smyvem půdy zejména ze zemědělských pozemků. Přehlížet nelze ani časté škody vyvolané větrnou erozí. Eroze půdy ochuzuje zemědělské půdy o nejúrodnější část - ornici, zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozují plodiny a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv a sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumulací prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin; velké povodňové průtoky poškozují budovy, komunikace, koryta vodních toků atd. V případě větrné eroze jde především o poškozování klíčících rostlin, znečišťování ovzduší, škody navátím ornice atd.

Na území naší republiky je cca 50 % orné půdy ohroženo vodní erozí a téměř 10 % větrnou. Na převážné ploše erozí ohrožených půd není prováděna systematická ochrana, která by omezovala ztráty půdy na stanovené přípustné hodnoty, tím méně na úroveň, která by bránila dalšímu snižování mocnosti půdního profilu a ovlivňování kvality vod v důsledku pokračujícího procesu eroze.

V období transformace zemědělských družstev a privatizace zemědělství po roce 1989 se očekávaly změny v přístupu k využití a ochraně zemědělské půdy, trend k šetrnějšímu hospodaření a utváření menších výrobních a územních celků. Privatizace zemědělské výroby však očekávané zmenšení velikosti pozemků a tím zvýšení diverzity ploch polních plodin nepřinesla.

Hlavní možnosti ochrany půdy před erozí spočívají především v realizaci pozemkových úprav, zejména pak komplexních pozemkových úprav v plánu společných zařízení. Pozemkové úpravy, respektující vlastnické, ekologické, hospodářské, vodohospodářské, dopravní a další poměry, jsou základními opatřeními, při nichž lze nejlépe uplatňovat zásady protierozní ochrany. V rámci plánu společných zařízení pozemkových úprav je možné navrhovat a realizovat celou řadu protierozních opatření. Nedílnou součástí protierozní ochrany je aktivní spolupráce zemědělců hospodařících na erozí ohrožených pozemcích při respektování a uplatňování zásad správného hospodaření a při vhodné volbě pěstovaných

plodin, včetně ochoty v nezbytné míře přijímat návrhy komplexních protierozních opatření organizačního, agrotechnického a technického charakteru.

1. Určení ohroženosti zemědělské půdy vodní erozí

Vodní eroze je vyvolávána destrukční činností dešťových kapek a povrchového odtoku a následným transportem uvolněných půdních částic povrchovým odtokem. Intenzita vodní eroze je dána charakterem srážek a povrchového odtoku, půdními poměry, morfologií území (sklonem, délkou a tvarem svahů), vegetačními poměry a způsobem využití pozemků, včetně používaných agrotechnologií. Uvolňování a transport půdních částic může být vyvolán i odtokem z tajícího sněhu.

Vodní eroze se na povrchu půdy projevuje selekcí půdních částic a vznikem odtokových drah různých rozměrů (rýžek, rýh, výmolů), v místech výrazné koncentrace povrchového odtoku se mohou vytvářet strže. V depresích a na místech menšího sklonu dochází zpravidla na níže ležících plochách k ukládání půdních částic. Částice transportované za hranice pozemků se dostávají do hydrografické sítě, kde vytvářejí splaveniny. Ty sedimentují v nádržích a v úsecích toků se sníženou transportní schopností. Z hlediska objemu splavenin je jejich největším zdrojem smyv orné půdy; je však třeba počítat i s erozí ploch stavenišť, s erozí lesní půdy zejména při mechanizované těžbě dřeva, s břehovou a dnovou erozí v tocích. Tyto zdroje se mohou rovněž podstatnou měrou podílet na zvýšeném transportu splavenin.

K určování ohroženosti zemědělských půd vodní erozí a k hodnocení účinnosti navrhovaných protierozních opatření se podobně jako v jiných zemích i v České republice nejvíce používá tzv. „Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí – USLE“ dle WISCHMEIERA a SMITHE (1978) vycházející z principu přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku, jehož parametry jsou definovány a odvozeny z rozměrů standardních elementárních odtokových ploch o délce 22,13 m a sklonu 9 %, jejichž povrch je po každém přívalovém dešti mechanicky kypřen ve směru sklonu svahu jako úhor bez vegetace. Hodnota přípustné ztráty půdy slouží ke stanovení míry erozního ohrožení pozemku a je definována jako maximální velikost eroze půdy, která dovoluje dlouhodobě a ekonomicky dostupně udržovat dostatečnou úroveň úrodnosti půdy.

Ztráta půdy vodní erozí se stanoví na základě rovnice USLE takto:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad /1.1/$$

- kde: G je průměrná dlouhodobá ztráta půdy $/t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}/$,
 R faktor erozní účinnosti dešťů, vyjádřený v závislosti na kinetické energii, úhrnu a intenzitě erozně nebezpečných dešťů,
 K faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty v ornici a propustnosti půdního profilu,
 L faktor délky svahu, vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí,
 S faktor sklonu svahu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí,
 C faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu, vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice,
 P faktor účinnosti protierozních opatření.

Vypočtená hodnota představuje dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy a udává množství půdy, které se z pozemku uvolňuje vodní erozí, nezahrnuje však její ukládání na pozemku či na plochách ležících pod ním. Rovnici nelze používat pro kratší než roční období a pro zjišťování ztráty půdy erozí z jednotlivých srážek nebo z tání sněhu. Více o výpočtech a intenzitě eroze z tání sněhu uvádí kapitola 3.

1.1 Faktor erozní účinnosti přívalového deště (R)

Vztah pro faktor erozní účinnosti deště R byl v USA odvozen na základě velkého množství dat o dešťových srážkách. Data ukazují, že jsou-li ostatní faktory USLE konstantní, je ztráta půdy z obdělávaného pozemku přímo úměrná součinu celkové kinetické energie přívalového deště (E) a jeho maximální 30minutové intenzity (i_{30}):

$$R = E \cdot i_{30}/100 \quad /1.2/$$

- kde: R je faktor erozní účinnosti deště $/MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}/$,
 E celkové kinetické energie deště $/J \cdot m^{-2}/$,
 i_{30} max. 30minutová intenzita deště $/cm \cdot h^{-1}/$.

Celková kinetická energie deště E je:

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

/1.3/

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

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

/1.4/

kde: I_{si} je intenzita deště i -tého úseku $/\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}/$,

H_{si} úhrn deště v i -tém úseku $/\text{cm}/$.

Faktor erozní účinnosti srážek R tedy závisí na četnosti výskytu srážek, jejich kinetické energii, intenzitě a úhrnu.

Vznik hlubokých erozních rýh a množství usazeného sedimentu po výrazně intenzivních srážkách vedlo k závěrům, že významné erozní jevy jsou spojeny pouze s několika málo přívalovými dešti a jsou funkcí pouze jejich maximálních intenzit. Avšak více než 30-letá měření v mnoha místech USA ukázala, že toto tvrzení neplatí. Prokázalo se, že faktor deště používaný k určení průměrné roční ztráty půdy musí zahrnovat vliv jak výjimečných srážkových událostí (intenzivních přívalových dešťů), tak středně intenzivních dešťů.

Roční hodnota faktoru R se proto určuje z dlouhodobých záznamů o srážkách a představuje součet erozní účinnosti jednotlivých přívalových dešťů, které se v daném roce vyskytly, přičemž se neuvažují deště s úhrnem menším než 12,5 mm a pokud v průběhu 15 minut nespadlo alespoň 6,25 mm a musí být oddělené od ostatních dešťů dobou delší než 6 hodin.

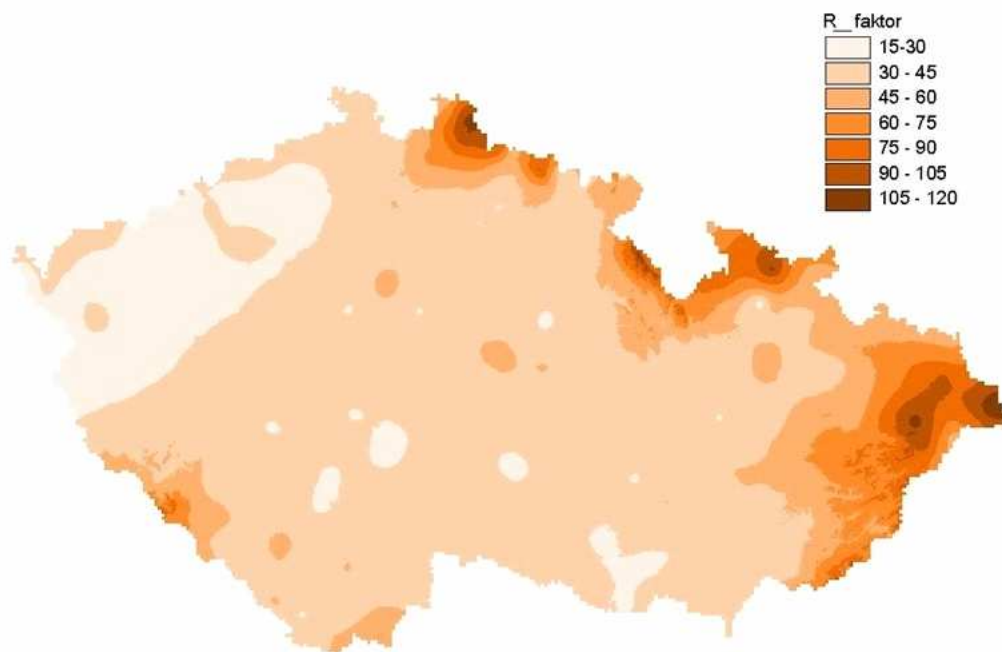
Pro Českou republiku byla původně průměrná roční hodnota faktoru erozní účinnosti deště $R = 20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ určena na základě dlouhodobé řady pozorování srážek na 3 stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ) Praha – Klementinum, Tábor a Bílá Třemešná s tím, že k výpočtu R -faktoru byly použity deště s úhrny sníženými o 12,5 mm.

Využitím nově zpracovaných dlouhodobých řad ombrografických záznamů z dalších stanic ČHMÚ viz. Tab. 1.1. a provedením důkladnějšího metodického rozboru erozní účinnosti srážek bylo možné nově stanovit R -faktor pro území České republiky. Ovlivnění průměrných hodnot R -faktoru výskytem erozně nebezpečných dešťů s velmi nízkou periodicitou opakování, které se v poslední době v některých částech ČR vyskytly, bylo omezeno použitím

upraveného tzv. „useknutého“ aritmetického průměru (bez 2 nejmenších a 2 nejvyšších hodnot) – viz. Obr. 1.1.. Jestliže neuvažujeme horské oblasti s R faktorem 60 až 120, kde zastoupení zemědělské a zejména orné půdy je velmi malé a vliv sněhové pokrývky poměrně značný, tak roční průměrná hodnota R faktoru pro převažující část zemědělsky využívaného území České republiky se pohybuje v rozmezí od 30 do 45, kromě oblastí dešťového stínu, kde je $R = 15$ až 30 a podhorských oblastí s R faktorem 45 až 60.

S ohledem na celou řadu problémů metodického a zatím ne zcela spolehlivého podkladového charakteru, které stanovení R faktoru provázejí, nezdá se být zatím účelné R faktor pro území České republiky regionalizovat, ale používat v USLE – pro naprosto převažující plochu zemědělské půdy České republiky **průměrnou roční hodnotu R faktoru** = $40 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$, tedy dvojnásobnou, oproti hodnotě dříve doporučované.

V případě nutnosti určení ohroženosti půdy v horských oblastech většinou však zalesněných, či zatravněných a tudíž i relativně před erozí dobře chráněných, je možné použít hodnoty uvedené na Obr. 1.1. a nebo v Tab. 1.1. s tím, že v tabulce uvedené hodnoty jsou vyšší nebo jsou ovlivňovány hodnotami s menší pravděpodobností výskytu.



Obr. 1.1. Upravené průměrné hodnoty R-faktoru v $\text{MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$ na území ČR

Tab. 1.1. Hodnoty R-faktoru pro vyhodnocené ombrografické stanice ČHMÚ v MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹

Stanice ČHMÚ	Pozorování v letech	Počet let	Počet erozních srážek				Celkový úhrn R	Ø R z počtu let	Ø R z počtu srážek
			Celkem	Ø za rok	Min	Max			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brumov Bylnice	1961-1990	29	82	2,8	0	7	1713,2	59,1	20,9
Červená	1961-2000	40	100	2,5	0	10	1763,7	44,1	17,6
Desná	1961-2000	38	97	2,6	0	7	1686,7	44,4	17,4
Deštné	1981-2000	19	61	3,2	0	7	1423,5	74,9	23,3
Doksany	1952-2000	48	78	1,6	0	5	1509,3	31,4	19,3
Doksy	1962-2000	39	88	2,3	0	6	1602,5	41,1	18,2
Hejnice	1970-2000	31	82	2,6	0	6	1671,1	53,9	20,4
Horní Bečva	1962-2000	39	113	2,9	1	12	2622,4	67,2	23,2
Hradec Králové	1961-1994	33	72	2,2	0	7	1940,8	58,8	27,0
Cheb	1960-2000	41	69	1,7	0	6	1239,9	30,2	18,0
Churáňov	1955-2000	46	108	2,3	0	6	2376,7	51,7	22,0
Kostelní Myslová	1961-2000	40	87	2,2	0	7	1919,7	48,0	22,1
Liberec	1961-87,1991-2000	36	67	1,9	0	4	1633,6	45,4	24,4
Neumětely	1981-2000	20	39	2,0	0	5	505,0	25,3	12,9
Pohořelice	1963-2000	37	81	2,2	0	5	1509,0	40,8	18,6
Praha-Libuš	1972-2000	29	69	2,4	0	6	1228,4	42,4	17,8
Přibyslav	1965-2000	36	89	2,5	0	7	1723,9	47,9	19,4
Přimda	1957-2000	43	71	1,7	0	5	1091,9	25,4	15,4
Raškovice	1962-68, 70-85, 97-2000	27	99	3,7	1	9	1855,7	68,7	18,7
Rýmařov	1963-2000	28	79	2,8	0	5	1559,1	55,7	19,7
Svratouch	1956-2000	44	103	2,3	0	9	2184,1	49,6	21,2
Tábor	1961-1996	36	80	2,2	1	5	1450,7	40,3	18,1
Třeboň	1923-41,44-80,82-2000	74	195	2,6	0	6	4200,5	56,8	21,5
Ústí n.Orlicí	1981-2000	20	48	2,4	0	6	1006,4	50,3	21,0
Varnsdorf	1963-2000	37	75	2,0	0	6	1221,5	33,0	16,3
Velké Meziříčí	1961-1999	39	79	2,0	0	6	1888,6	48,4	23,9
Vír	1961-2000	40	99	2,5	1	9	2049,0	51,2	20,7
Vizovice	1962-1998	37	113	3,1	0	8	2186,4	59,1	19,3
Vranov	1962-2000	39	90	2,3	0	5	1754,4	45,0	19,5
Zbiroh	1963-2000	36	76	2,1	0	6	1682,3	46,7	22,1
Židlochovice	1962-2000	38	76	2,0	0	5	1552,9	40,9	20,4
Průměr		36,7	86,0	2,4			1734,0	47,7	20,0

Tab. 1.2. Průměrné rozdělení faktoru R do měsíců vegetačního období v ČR

Měsíc	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
% faktoru R	1	11	22	30	26	8	2

Dlouhodobé rozdělení průměrné roční hodnoty R – faktoru během roku je uvedeno v Tab. 1.2. Z rozdělení vyplývá, že v období červen – srpen se vyskytne téměř 80 % erozně nebezpečných dešťů a proto je ochrana půdy zejména vegetačním pokryvem v těchto měsících nejdůležitější. Hodnoty R-faktoru podle pravděpodobnosti výskytu v letech jsou uvedeny v Tab. 1.3.

Tab. 1.3. Hodnoty faktoru R jednotlivých přívalových dešťů podle četnosti jejich výskytu

Výskyt deště jednou za N-let	1	2	10	25	50
Hodnota R faktoru	18,5	42	69	82	117

1.2 Faktor erodovatelnosti půdy (K)

Vlastnosti půdy ovlivňují její infiltrační schopnost a odolnost půdních agregátů proti rozrušujícímu účinku dopadajících kapek deště a transportu povrchově odtékající vodou.

Faktor erodovatelnosti půdy K (resp. náchylnosti půdy k erozi) je v USLE definován jako ztráta půdy ze standardního pozemku vyjádřená v $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ na jednotku faktoru erozní účinnosti deště R ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$).

Faktor erodovatelnosti půdy lze stanovit:

1. podle vztahu odvozeného pro faktor K,
2. podle nomogramu sestrojeného na základě uvedeného vztahu,
3. přibližně podle hlavních půdních jednotek (HPJ) bonitační soustavy půd nebo podle půdních typů, subtypů a variet Taxonomického klasifikačního systému půd ČR.

U prvních dvou postupů stanovení je třeba mít k dispozici základní charakteristiky dané půdy, resp. výsledky rozborů přímo v terénu odebraných směsných půdních vzorků z různých míst vyšetřovaného pozemku (zpravidla nejohroženějších).

Ad 1) Pokud obsah prachu a práškového písku (0,002 - 0,1 mm) nepřekročí 70 %, lze faktor K určit ze vztahu (hodnotu faktoru K je nutno převést na jednotky SI přenásobením součinitelem 1,32):

$$100 K = 2,1M^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot (12 - a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c - 3) \quad /1.5/$$

kde: $M = (\% \text{ prachu} + \% \text{ práškového písku}) \cdot (100 - \% \text{ jílu})$.

Procentický obsah jílu je ohraničen kategorií velikosti zrn $< 0,002$ mm, procentický obsah prachu a práškového písku je ohraničen kategorií velikosti zrn $0,002 - 0,1$ mm.

a - procentuální obsah humusu ornice, pokud není již přímo stanoven laboratorně, tak se určí vynásobením celkového oxidovatelného uhlíku (C_{ox}) hodnotou 1,724.

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

Pokud nebyla třída struktury ornice stanovena dle výše uvedeného nebo se jedná o půdu bezstrukturní, lze třídu struktury stanovit přibližně podle zrnitosti ornice (% obsahu částic $< 0,01$ mm – Novákova stupnice)

půdy lehké	(p/hp 0-20%)	třída 1
půdy střední	(ph/h 20-45%)	třída 3
půdy těžké	(jh/jv/j nad 45%)	třída 4

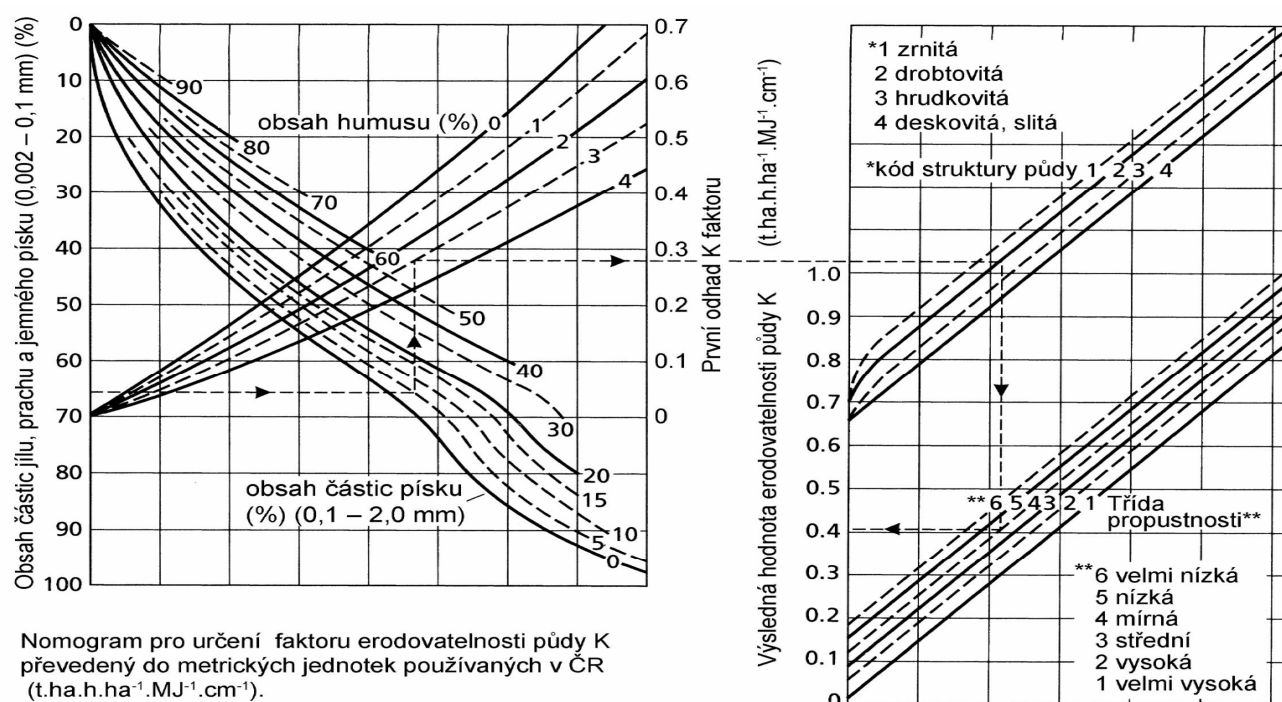
c - třída propustnosti půdního profilu; lze přibližně určit podle HPJ (Tab. 1.4.)

Tab. 1.4. Třída propustnosti půdního profilu podle HPJ

Třída propustnosti	Hlavní půdní jednotka bonitační soustavy (HPJ)
1	04, 05, 17, 21, 31, 32, 37, 40, 55
2	13, 16, 18, 22, 27, 30, 34, 38, 41
3	01, 02, 08, 09, 10, 12, 14, 15, 23, 26, 28, 29, 35, 36, 51, 56
4	03, 06, 11, 19, 24, 25, 33, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 50, 52, 58, 60
5	07, 20, 39, 47, 49, 57, 59, 62, 64, 65, 66, 75, 77, 78
6	53, 54, 61, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76

Pozn. Tabulka s rychlostí infiltrace viz. kapitola 2, tabulka 2.1. Hydrologické skupiny půd

Ad 2) Hodnoty faktoru K lze určit z nomogramu



Obr. 1.2. Hodnota faktoru K stanovená pomocí nomogramu je již v SI jednotkách.

Vstupní parametry jsou obdobné jako u předchozího stanovení, u hranice kategorií zrnitosti se navíc používá hranice procenta písku (0,1 – 2,0 mm).

Pro půdy se zrnitou a drobtovitou strukturou ornice a střední propustností půdního profilu stačí k určení K-faktoru použít levou polovinu nomogramu.

Ad 3) K přibližnému určení faktoru K podle HPJ bonitační soustavy půd (BPEJ) slouží hodnoty uvedené v Tab. 1.5.

K určení hodnoty faktoru K je nutno znát HPJ (hodnota 2 a 3 čísla kódu BPEJ). Pokud pro některou HPJ není uvedena hodnota faktoru K, je nutno k jeho stanovení použít rovnici 1.5/ nebo nomogram. HPJ, pro které nejsou v Tab.1.3. uvedeny hodnoty faktoru K se v ČR vyskytují jen v omezené míře (extrémní hydromorfní půdy, skalní výchozy, strže apod.).

Přibližně, podobně jako u HPJ, lze určit hodnotu K faktoru podle klasifikace půd – viz. tab. 1.6.

Tab. 1.5. Hodnoty faktoru *K* pro jednotlivé HPJ

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

Tab. 1.6. Vypočtené hodnoty K - faktorů pro půdní typy, subtypy a variety podle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR

Půdní typ	Subtyp	K - faktor	Půdní typ	Subtyp	K - faktor
Ranker	modální	0,26	Šedozem	modální	0,57
	kambický	0,25		luvická	0,59
	podzolový	0,24	Hnědozem	modální	0,53
Rendzina	modální	0,22		luvická	0,58
	kambická	0,30		oglejená	0,53
Pararendzina	modální	0,26	Luvizem	modální	0,60
	kambická	0,36		oglejená	0,56
	oglejená	0,24		arenická	0,31
Regozem	modální	0,22	Kambizem	modální	0,33
	psefitická	0,18		modální (eutrofní)	0,32
	arenická	0,17		luvická	0,50
	pelická	0,18		oglejená	0,34
Fluvizem	modální	0,40		dystrická	0,32
	glejová	0,42		arenická	0,20
	arenická	0,26		pelická	0,30
Smonice	modální	0,28		psefitická	0,30
Černozem	modální	0,40	Kryptopodzol	modální	0,20
	luvická	0,54	Podzol	modální	0,25
	černická	0,35		arenický	0,20
	arenická	0,16	Pseudoglej	modální	0,42
	pelická	0,28		luvický	0,54
Černice	modální	0,30		glejový	0,24
	glejová	0,34	Glej	modální	0,42
	pelická	0,32		modální (zrašeliněný)	0,46

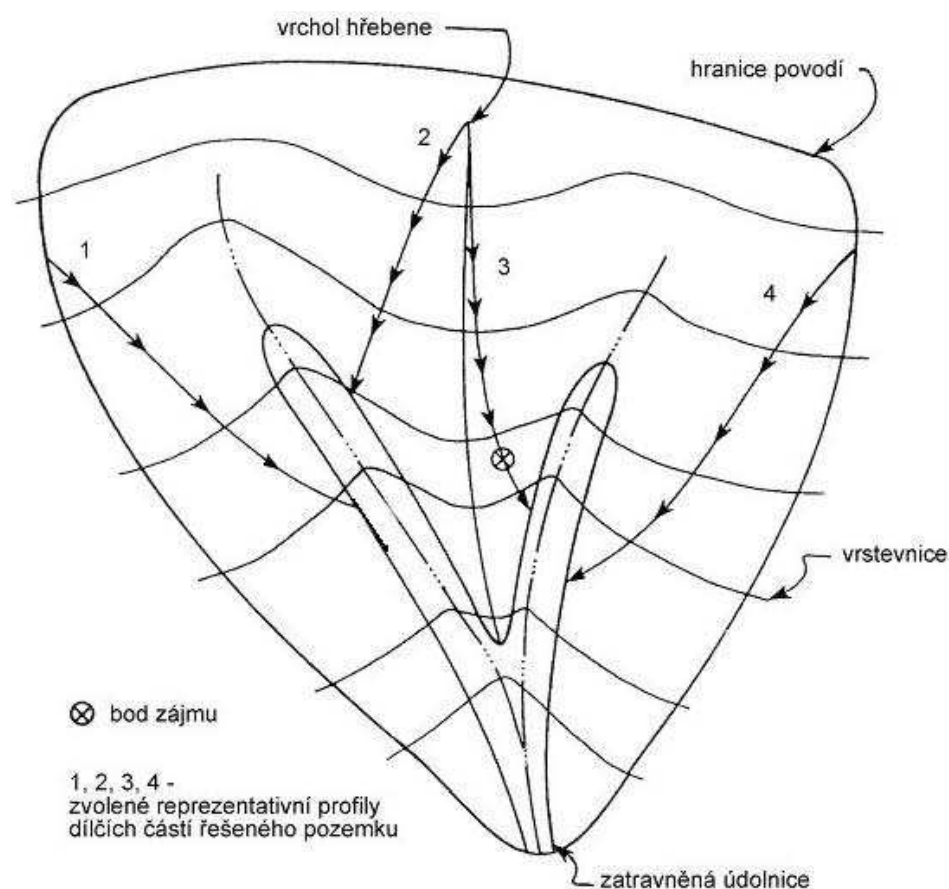
1.3 Faktory délky a sklonu svahu (L, S)

Vliv sklonu a délky svahu na intenzitu eroze je vyjádřen kombinací faktoru sklonu svahu S a faktoru délky svahu L, tzv. topografickým faktorem LS v charakteristických (reprezentativních) odtokových drahách na vyšetřovaném pozemku, který představuje poměr ztrát půdy na jednotku plochy svahu ke ztrátě půdy na standardním pozemku o délce 22,13 metrů se sklonem 9 %, L - faktor délky svahu vyjadřuje vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí, S – faktor sklonu svahu vyjadřuje vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí.

Nepřerušená délka svahu je měřena od rozvodnice nebo od horní hrany pozemku (pokud se nepředpokládá povrchový odtok z vyšších partií), vždy však od prvku přerušujícího povrchový odtok (cesta s příkopem, příkop, průleh, hrázka, apod.). Změna plodiny nebo změna technologie na pozemku bez přerušujícího prvku není důvodem pro přerušování výpočtové délky. Výpočtové linie mají být stanoveny variantně v drahách předpokládaného

plošného povrchového odtoku. Příklad volby rozmístění reprezentativních drah povrchového odtoku na pozemku je uveden na Obr. 1.3. Od místa kde přechází odtok v soustředěný (údolnice, patrné stopy soustředěného odtoku apod.) nelze v další části pozemku ztrátu půdy počítat metodou USLE. Také délka by neměla překročit cca 400 metrů, neboť pro delší pozemky není metoda ověřena. Uvažuje se pouze s horizontální projekcí délky svahu, nikoli se skutečnou délkou odtokové dráhy po povrchu pozemku. Rozdíl se projevuje pouze u výrazně sklonitých pozemků.

Obr. 1.3. Schéma umístění reprezentativních drah plošného povrchového odtoku na pozemku pro určení topografického faktoru



Odlišné vztahy jsou používány pro stanovení L faktoru na krátkých svazích (kratších než 4 metry, např. násypy) na tajících a zamokřených půdách (McCool et al, 1989).

Takto stanovené hodnoty faktorů L a S však nejsou schopny popsat vlivy heterogenity sklonu po délce svahu ani změny délek a sklonů na pozemku nepravidelného tvaru. Pro řešení heterogenních svahů v komplexní morfologii je vhodnější řešení v ploše, s využitím geografických informačních systémů (GIS) a digitálních modelů terénu.

Jako orientační lze hodnoty LS faktoru bezplatně zjistit z geoportálu SOWAC GIS - Vodní a větrná eroze půd ČR (eroze.vumop.cz). Pro stanovení LS faktoru v registru evidence půdy LPIS (<http://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS>) a na geoportálu SOWAC-GIS bylo využito nástrojů GIS, kdy je LS faktor stanoven zvlášť pro každý čtverec rastrového digitálního modelu terénu (DMT). Nepřerušená délka svahu byla nahrazena zdrojovou plochou odtoku v metrech čtverečních (mikropovodím) stanovovanou samostatně pro každý bod (čtverec DMT) pozemku. Vstupními daty pro výpočet byly digitální model terénu v rozlišení odpovídajícím měřítku řešení a vrstva využití pozemků. Z těchto podkladů se určuje sklon a plocha mikropovodí nahrazující délku odtokových drah. Hodnota S faktoru je určována pro každý bod na základě jeho lokálního sklonu podle rovnice McCool (1989). Zdrojem pro vrstvu využití pozemků je kombinace vrstev vedených v rámci LPIS - hranice půdního bloku, dílu půdního bloku (PB/DPB), krajinné prvky a ZABAGED (Základní báze geografických dat České republiky) v kombinaci s vrstvou teras poskytovanou MZe. Dalšího zpřesnění bylo dosaženo implementací vrstvy realizovaných technických protierozních opatření a realizovaných opatření v rámci operačních programů MŽP. Tímto způsobem byla stanovena míra erozní ohroženosti lokálně i pro dílčí části pozemků a svahů se zahrnutím komplexní morfologie, tedy změn sklonu na pozemcích a konvergence odtoku do údolnic. Rizika lokálních chyb při využití této technologie vyplývají zejména z přesnosti vstupních podkladů, jež jsou proto kontinuálně aktualizovány.

1.3.1 Faktor délky svahu (L)

Intenzita eroze se zvyšuje s rostoucí délkou svahu, která je definována jako horizontální vzdálenost od místa vzniku povrchového odtoku k bodu, kde se sklon svahu snižuje natolik, že dochází k ukládání erodovaného materiálu nebo se plošný odtok soustředí do odtokové dráhy. Hodnota faktoru délky svahu L se stanoví ze vztahu WISCHMEIERA a SMITHE (1978) se zahrnutím přístupu použitého v tzv. RUSLE (Revidované universální rovnice ztráty půdy), (RENARD et al., 1997) ze vztahu:

$$L = (l / 22,13)^m \quad /1.6/$$

kde: 22,13 je délka standardního pozemku (m),

l horizontální projekce délky svahu (uvažuje se nepřerušená délka svahu); není to vzdálenost rovnoběžná s povrchem půdy (m),

m exponent sklonu svahu vyjadřující náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze.- viz. Tab. 1.7.

Tab. 1.7. Hodnoty exponentu sklonu svahu m v závislosti na sklonu svahu a poměru rýžkové eroze k erozi plošné (RENARD a kol., 1997)

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

Nízký poměr rýžkové eroze k plošné se vyskytuje na pastvinách a jiných ulehých půdách s vegetačním pokryvem. Střední poměr rýžkové eroze k plošné se vyskytuje na pozemcích s řádkovými plodinami nebo na středně ulehých půdách s řídkým nebo středním pokryvem. Vysoký poměr rýžkové eroze k plošné se vyskytuje na nově vytvořených antropogenních půdách a na velmi zkyplených půdách. Pokud jsou sklony svahu vyšší než 15 %, uvažuje se pouze vysoký poměr rýžkové eroze k plošné.

Hodnoty L faktoru pro $m = 0,5$ jsou uvedeny v Tab. 1.8.

Tab. 1.8. Hodnoty L faktoru

l_d /m/	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100	150
L	0,48	0,68	0,82	0,95	1,17	1,35	1,52	1,66	1,91	2,13	2,61
l_d /m/	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900
L	3,02	3,38	3,69	3,99	4,27	4,52	4,77	5,22	5,62	6,04	6,39
l_d /m/	1000	1000	1200	1300	1400	1500					
L	6,75	7,07	7,39	7,69	7,98	8,26					

1.3.2 Faktor sklonu svahu (S)

Ztráta půdy se zvyšuje se vzrůstajícím sklonem svahu, a to rychleji než je tomu u délky svahu. Hodnota faktoru sklonu svahu S se určuje pomocí vztahů (RENARD et al., 1997).

$$S = 10,8 \sin \theta + 0,03 \quad \text{pro sklon} < 9 \% \quad /1.7/$$

$$S = 16,8 \sin \theta - 0,50 \quad \text{pro sklon} \geq 9 \% \quad /1.8/$$

kde θ je úhel sklonu svahu (rad nebo m/m).

Pro vyjádření proměnného sklonu svahu, příp. k vyjádření vlivu změn půdních vlastností na svahu lze rozdělit svah na 10 stejně dlouhých úseků a faktor sklonu svahu S stanovit jako vážený průměr faktoru S dílčích úseků.

Výsledná hodnota faktoru sklonu svahu S pro svahy nepravidelného tvaru se stanoví od nejvyšší polohy S_1 po nejnižší S_{10} ze vztahu:

$$S = 0,03S_1 + 0,06S_2 + 0,07S_3 + 0,09S_4 + 0,10S_5 + 0,11S_6 + 0,12S_6 + 0,13S_7 + 0,14S_8 + 0,15S_{10} \quad /1.9/$$

kde: S_i je hodnota faktoru S pro i-tý úsek svahu, rozděleného na deset úseků stejné délky.

1.4 Faktor ochranného vlivu vegetace (C)

Vliv vegetačního pokryvu na smyv půdy se projevuje přímou ochranou povrchu půdy před destruktivním působením dopadajících dešťových kapek a zpomalováním rychlosti povrchového odtoku a nepřímo působením vegetace na půdní vlastnosti, zejména na pórovitost a propustnost, včetně omezení možnosti zanášení pórů jemnými půdními částicemi a mechanickým zpevněním půdy kořenovým systémem.

Ochranný vliv vegetace je přímo úměrný pokryvnosti a hustotě porostu v době výskytu přívalových dešťů (měsíce duben – září). Proto dokonalou protierozní ochranu představují porosty trav a jetelovin, zatímco běžným způsobem pěstované širokořádkové plodiny (kukuřice, okopaniny, sady a vinice) chrání půdu nedostatečně. Ochranný vliv vegetačního pokryvu je v USLE vyjádřen faktorem C.

Hodnoty faktoru C pro plodiny uvedené v Tab. 1.9. představují poměr smyvu na pozemku s pěstovanými plodinami ke ztrátě půdy na standardním pozemku, který je udržován jako úhor, pravidelně po každém dešti kypřený.

Tab. 1.9. Hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace a způsobu obdělávání (faktor C)

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

Pozn: 5a - sláma sklizena, 5b - sláma ponechána, O - po obilovině, K - po kukuřici, OP - setí do zorané půdy, St - setí do strniště.

Pro řešení protierozní ochrany pozemků a posouzení jejich dlouhodobé erozní ohroženosti se faktor C stanoví pro danou strukturu pěstovaných plodin podle postupu jejich střídání na pozemcích, včetně období mezi střídáním plodin a při určení nástupu a způsobu agrotechnických prací v 5-ti obdobích (WISCHMEIER a SMITH, 1978):

1. období podmínky a hrubé brázdy,
2. období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení,
3. období po dobu druhého měsíce od jarního nebo letního setí či sázení, u ozimů do 30.4.,
4. období od konce 3. období do sklizně,
5. období strniště.

Váhu hodnot C-faktoru v jednotlivých pěstebních obdobích je nutné korigovat procentuálním rozdělením R-faktoru v průběhu roku po dnech, dekadách či měsících – viz. dle Tab. 1.2. Příklad pro ozimou řepku (jako obilniny) v mírně teplé (bramborářské) oblasti, vyseté po jarním ječmeni do zorané půdy je uveden v Tab. 1.10.

Tab. 1.10. Příklad výpočtu průměrné roční hodnoty faktoru C pro ozimou řepku (jako obilnina) v mírně teplé (bramborářské) oblasti, vyseté po jarním ječmeni do zorané půdy s korekcí podle průběhu R faktoru v roce

Období vývoje plodiny	Kalendářní období	Součin faktorů USLE C * R
1. období podmínky a hrubé brázdy	od 10.8. do 31.8.	$0,65 \cdot 0,17 = 0,111$
2. období od přípravy pozemku k setí do 1. měsíce po zasetí	od 1.9. do 10.10.	$0,70 \cdot 0,09 = 0,063$
3. období od konce 2. období do 30.4.	od 11.10. do 30.4.	$0,45 \cdot 0,02 = 0,009$
4. období od konce 3. období do sklizně	od 1.5. do 31.7.	$0,08 \cdot 0,63 = 0,050$
5. období strniště	od 1.8. do 10.8.	$0,25 \cdot 0,09 = 0,023$
Roční hodnota faktoru C ozimé řepky		$\Sigma C * R = 0,26$

Pokud není možné zjistit strukturu pěstovaných plodin a jejich střídání, popř. je území, pro které se C počítá rozsáhlé, lze rámcově C faktoru určit podle průměrného zastoupení plodin v dané lokalitě s využitím hodnot C faktoru uvedených v Tab. 1.11.

Příklad průměrného zastoupení plodin - kukuřice a slunečnice 50%, obilniny a řepka 45%, vojtěška 5%, pak rámcově odhadnutá hodnota faktoru ochranného vlivu vegetace činí $C=0,32$.

Tab. 1.11. Průměrné hodnoty C faktoru pro jednotlivé plodiny

Plodina	C faktor	Plodina	C faktor
pšenice ozimá	0,12	chmelnice	0,8
žito ozimé	0,17	řepka ozimá	0,22
ječmen jarní	0,15	slunečnice	0,6
ječmen ozimý	0,17	mák	0,5
oves	0,1	ostatní olejnin	0,22
kukuřice na zrna	0,61	kukuřice na siláž	0,72
luštěniny	0,05	ostatní píceiny jednoleté	0,02
brambory rané	0,6	ostatní píceiny víceleté	0,01
brambory pozdní	0,44	zelenina	0,45
louky	0,005	sady	0,45

1.5 Faktor účinnosti protierozních opatření (P)

Hodnoty faktoru účinnosti protierozních opatření - P (dle WISCHMEIERA a SMITHE, 1978) jsou uvedeny v Tab. 1.12. Jestliže na pozemku nejsou tato opatření uplatněna nebo nelze předpokládat, že by byly dodrženy uvedené podmínky maximálních délek a počtů pásů, nelze s účinností příslušných opatření vyjádřených hodnotami faktoru P počítat a hodnota faktoru $P = 1$.

Tab. 1.12. Hodnoty faktoru protierozních opatření P

Protierozní opatření	Sklon svahu (%)			
	2-7	7-12	12-18	18-24
Maximální délka pozemku po spádnicí při konturovém obdělávání	120 m	60 m	40 m	-
	0,6	0,7	0,9	1,0
Maximální šířka a počet pásů při pásovém střídání	40 m	30 m	20 m	20 m
	6 pásů	4 pásy	4 pásy	2 pásy
- okopanin s víceletými pícninami	0,30	0,35	0,40	0,45
-okopanin s ozimými obilovinami	0,50	0,60	0,75	0,90
Hrázkování, resp. přerušované brázdování podél vrstevnic	0,25	0,30	0,40	0,45

1.6 Přípustná ztráta půdy vodní erozí

Hodnoty přípustné ztráty půdy erozí jsou stanoveny především z hlediska dlouhodobého zachování funkcí půdy a její úrodnosti. V současné době, vzhledem ke změně způsobů hospodaření a k rozsáhlému zatravňování či zalesňování orné půdy, je velmi důležité v našich podmínkách více chránit i půdy hluboké, které jsou primárně určené pro intenzivní zemědělskou výrobu. Půdy mělké (tj. s nízkou produkční schopností) pak chránit zatravněním či zalesněním. Hloubka půdy je charakterizována mocností půdního profilu, kterou omezuje skalní podklad, rozpad půdy nebo vysoká skeletovitost. Hloubka půdy se určí terénním průzkumem v místech nejsvažitější části pozemku. Orientačně lze hloubku půdy zjistit podle bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Hloubka půdy je v systému BPEJ vyjádřena 5. číslicí sdruženého kódu BPEJ pro skeletovitost a hloubku půdy. Páté číslo kódu BPEJ 7, 8, a 9 jsou určeny pro BPEJ pozemků se sklonem $> 12^{\circ}$ a pro BPEJ nevyvinutých (rankerových) půd. Pro půdy s kódem 8 a 9 je hloubku půdy nutné zjistit terénním průzkumem.

Použitím příslušných hodnot faktorů pro vyšetřovaný pozemek v univerzální rovnici se určí dlouhodobá průměrná ztráta půdy vodní erozí v $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ při současném či navrhovaném způsobu využívání řešeného pozemku. Pokud vypočtená ztráta půdy překročí hodnotu přípustné ztráty půdy je zřejmé, že způsob využívání pozemku nezabezpečuje dostatečnou protierozní ochranu. Proto je nutné uplatnit účinnější protierozní opatření, jejichž vliv se vyjádří změnou faktorů univerzální rovnice a opětovným výpočtem se přesvědčit, zda navržená ochranná opatření jsou dostatečná a zajišťují snížení dlouhodobé ztráty půdy erozí pod úroveň přípustné ztráty půdy.

1.7 Posouzení erozní ohroženosti

Pozemky s mělkými půdami s hloubkou do 30 cm by neměly být využívány pro polní výrobu a se doporučuje se jejich převedení do kategorie trvalých travních porostů nebo je zalesnit.

U půd středně hlubokých a hlubokých nad 30 cm je doporučeno aplikovat jednotnou hodnotu přípustné ztráty půdy ve výši 4 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) namísto původně doporučovaných 10 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) pro půdy hluboké. Důvodem snížení přípustné hodnoty pro hluboké půdy je nutnost zvýšení ochrany těch z hlediska zemědělského nejhodnotnějších hlubokých úrodných půd.

Pro posouzení ochrany vodních zdrojů je nutné postupovat individuálně a vycházet z přípustného množství přísunu produktů eroze do vodního zdroje. S ohledem na jakost vod se vliv eroze významně projevuje především přísunem fosforu, který může za příhodných podmínek působit eutrofizaci s jejími negativními projevy a důsledky ve vodním prostředí. Podle nejnovějších studií se ukazuje, že přípustné hodnoty erozního smyvu, které ještě nezpůsobují výraznější eutrofizaci vod, se pohybují v rozmezí od 0,5 do 2 t.ha⁻¹. rok⁻¹ v závislosti na půdním druhu, typu a aktuálním obsahu živin v půdě. Posouzení přípustné ztráty půdy pro konkrétní území je závislé na charakteru vodního toku jako recipientu a charakteru povodí. Proto je nutné přípustnou ztrátu půdy stanovit jako průměrnou hodnotu pro celé vyšetřované povodí zejména se zohledněním % plochy orné půdy v povodí.

2. Hydrologické podklady pro návrh protierozních opatření

Hydrologické podklady určující základní parametry by měly vycházet z dlouhodobě sledovaných průtoků v uzávěrových profilech toků. Takové údaje jsou však, zejména v malých povodích, zřídka k dispozici. Tam, kde jsou dostupné, nemusí být směrodatné, s ohledem na změny využívání půdy oproti období pozorování. Nezbyvá tedy než stanovit potřebné návrhové parametry pomocí nepřímých metod, založených na charakteristikách povodí. Z hlediska možnosti jejich využívání je nutné, aby tyto metody byly co nejjednodušší a nejpresnější s převahou objektivně stanovitelných vstupních dat. Zpravidla jsou však kompromisem mezi praktickou jednoduchostí a teoretickou přesností. Poměrně jednoduchou a dostatečně přesnou metodou je tzv. “Metoda čísel odtokových křivek – CN” (Janeček, 1982).

2.1. Metoda čísel odtokových křivek (CN)

Metoda čísel odtokových křivek (CN – Curve Number) byla odvozena v USA pro potřeby Služby na ochranu půdy (SCS – Soil Conservation Service) a publikována v roce 1972 National Engineering Handbook, Hydrolog. Section 4, SCS, USDA Washington D.S. a představuje jednoduchý srážkoodtokový model s poměrně snadno zjistitelnými vstupy, dostatečně přesný, použitelný pro stanovení objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku způsobeného návrhovým přívalovým deštěm o zvolené pravděpodobnosti výskytu v zemědělsky využívaných povodích, či jejich částech o velikosti do 10 km².

V projekční praxi může být metoda odtokových křivek použita pouze v souladu s ČSN 75 1300 “Hydrologické údaje povrchových vod” k navrhování technických protierozních opatření, jako jsou dráhy soustředěného povrchového odtoku (zatravněné údolnice), průlehy, příkopy, ochranné hrázky a pro posuzování vlivu protierozních opatření na povrchový odtok. Metodu nelze použít pro výpočet odtoku z tání sněhu.

Přímý odtok zahrnuje odtok povrchový a odtok hypodermický. Podíly tohoto typu odtoku na celkovém odtoku se stanovují pomocí tzv. čísel odtokových křivek - CN. Čím větší hodnota CN, tím je pravděpodobnější, že se jedná o povrchový odtok. Odtok vody je obecně ovlivněn množstvím srážek, infiltrací vody do půdy, vlhkostí půdy, druhem vegetačního pokryvu, nepropustnými plochami a retencí povrchu.

Základním vstupem metody odtokových křivek je srážkový úhrn návrhového deště zvolené doby opakování za předpokladu jeho rovnoměrného rozdělení na ploše povodí. Objem

(výška) srážek je transformován na objem (výšku) odtoku pomocí čísel odtokových křivek – CN. Jejich hodnoty jsou závislé na hydrologických vlastnostech půd, vegetačním pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové retenci.

2.1.1. Objem přímého odtoku

Metoda CN – křivek určuje objem přímého odtoku na základě předpokladu, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadržen. Odtok začíná po počáteční ztrátě, která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové retence. Tato počáteční ztráta byla stanovena na základě experimentálních měření na 20 % potenciální retence ($I_a = 0,2A$)

Základní vztah pro určení výšky přímého odtoku (Obr. 2.1.):

$$H_o = (H_s - 0,2A)^2 / (H_s + 0,8A) \quad \text{pro } H_s \geq 0,2A \quad /2.1/$$

kde: H_o je přímý odtok (mm)

H_s úhrn návrhového deště (mm)

A potenciální retence (mm), vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek (CN):

$$A = 25,4 (1000/CN - 10) \quad /2.2/$$

Objem přímého O_{pH} odtoku je dán vztahem

$$O_{ph} = 1000 \cdot P_p \cdot H_o \quad (\text{m}^3) \quad /2.3/$$

Kde: P_p je plocha povodí (km^2)

Návrhový dešť

O hodnotu úhrnu návrhového deště pro vyšetřovanou lokalitu je nutné požádat ČHMÚ. Rámcově lze použít hodnoty úhrnů maximálních 24-hodinových srážek s návrhovou četností výskytu pro nejbližší stanici ČHMÚ nebo dle Šamaje, Valoviče, Brázdila (JANEČEK, VÁŠKA, 2001): Hydrologické výpočty v protierozní ochraně půdy. Doporučený standard technický. IC ČKAIT Praha.

Čísla odtokových křivek

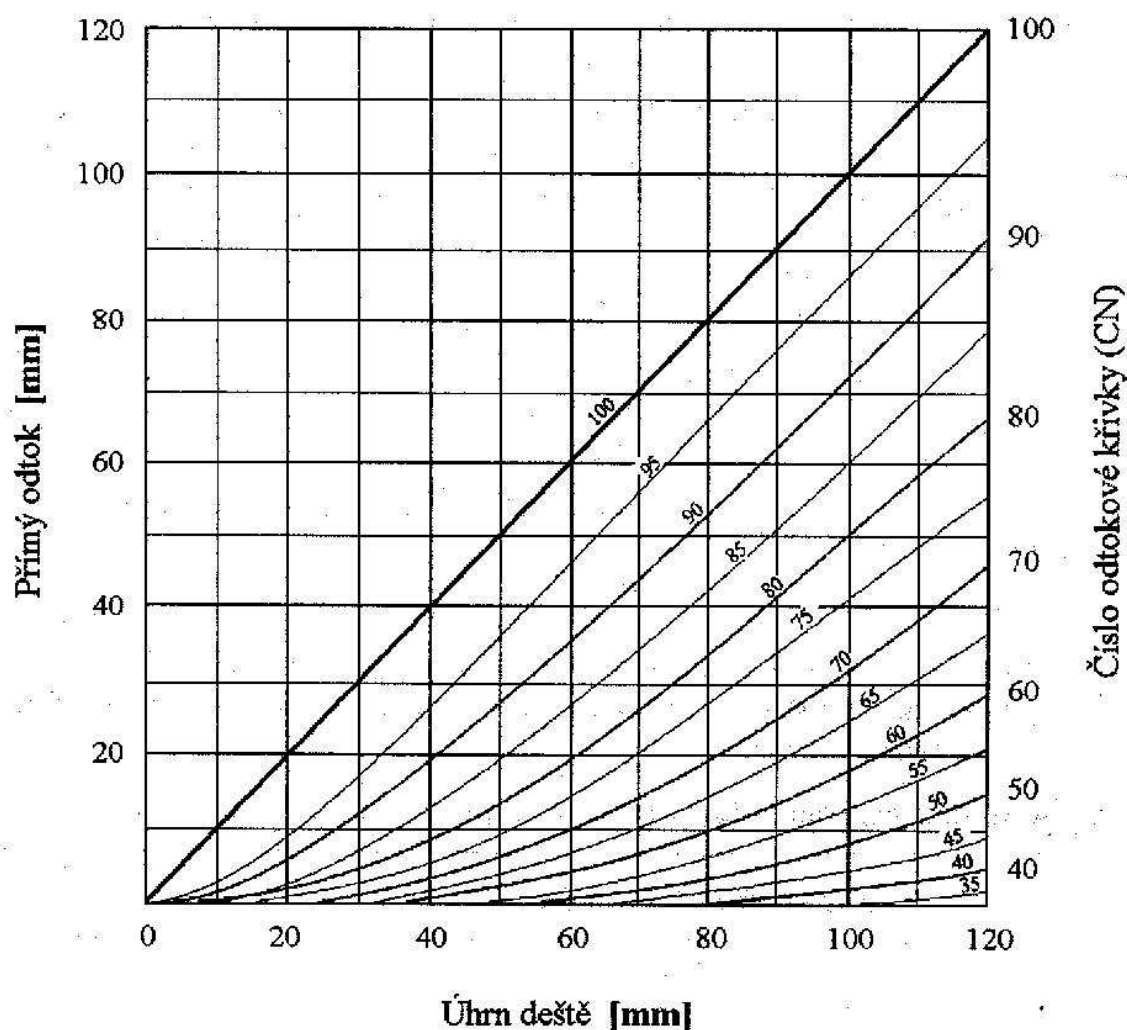
Čísla odtokových křivek (CN) jsou určena podle:

a) hydrologických vlastností půd rozdělených do 4 skupin -A, B, C, D, na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém syčení (Tab. 2.1.). Pro přibližnou orientaci při zařazování půd do hydrologických skupin je možné použít Tab. 2.2.

b) vlhkosti půdy určované na základě 5-ti denního úhrnu předcházejících srážek, resp. indexu předchozích srážek (IPS) ve 3 stupních, kdy IPS I odpovídá takovému minimálnímu obsahu vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání, při IPS III je půda přesycena vodou z předcházejících dešťů. Pro návrhové účely se uvažuje IPS II (Obr. 2.1., Obr. 2.2.) pro střední nasycení půdy vodou.

c) využití půdy, vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření (Tab. 2.3.).

Obr. 2.1. Závislost výšky přímého odtoku (H_o) na úhrnu deště (H_S) a číslech odtokových křivek (CN)



Tab. 2.1. Hydrologické skupiny půd

Hydrologická Skupina	Charakteristika hydrologických vlastností půd
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ($> 0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrné odvodněné písky nebo šterky
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace ($0,06 - 0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace ($0,02 - 0,06 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ($< 0,02 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím.

Tab. 2.2. Hydrologické skupiny zemědělských půd podle BPEJ, resp. HPJ

HPJ (2. a 3. č. BPEJ)	Hydrologická půdní skupina	HPJ (2. a 3. č. BPEJ)	Hydrologická půdní skupina	HPJ (2. a 3. č. BPEJ)	Hydrologická půdní skupina
1	B	27	B	53	D
2	B	28	B	54	D
3	C	29	B	55	A
4	A	30	B	56	B
5	A	31	A	57	C
6	C	32	A	58	C
7	D	33	B	59	D
8	B	34	B	60	B
9	B	35	B	61	D
10	B	36	B	62	C
11	B	37	B	63	D
12	B	38	B	64	C
13	B	39	C	65	C
14	B	40	B	66	D
15	B	41	B	67	D
16	B	42	B	68	D
17	A	43	B	69	D
18	B	44	C	70	D
19	B	45	C	71	D
20	D	46	C	72	D
21	A	47	C	73	D
22	B	48	C	74	D
23	C	49	D	75	C
24	B	50	C	76	D
25	B	51	C	77	C
26	B	52	C	78	C

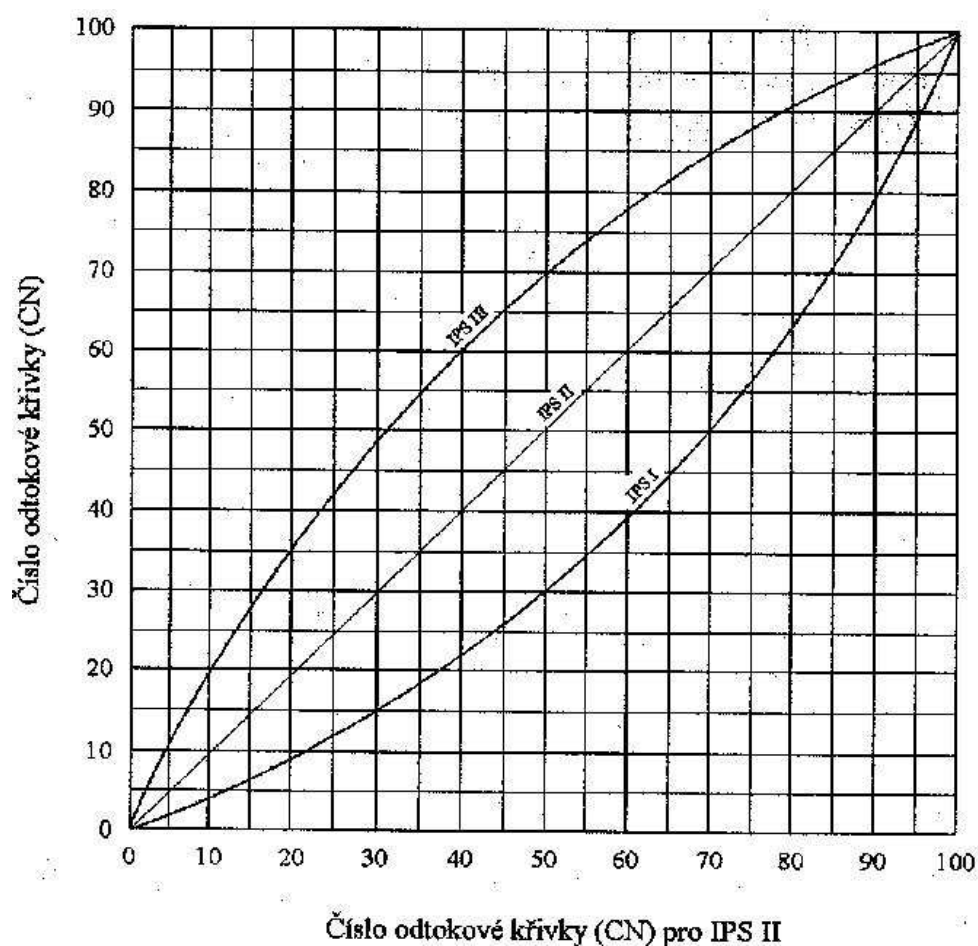
Tab. 2.3. Průměrná čísla odtokových křivek – CN pro IPS II

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla odtokových křivek – CN podle hydrologických skupin půd			
			A	B	C	D
Úhor, čerstvě kypřený	Pz	Šp	77	86	91	94
		Dp	76	85	90	93
			74	83	88	90
Širokořádkové plodiny (okopaniny)	Př	Šp	72	81	88	91
	Př	Db	67	78	85	89
	Př + Pz	Šp	71	80	87	90
	Př + Pz	Db	64	75	82	85
	Vř	Šp	70	79	84	88
	Vř	Db	65	75	82	86
	Vř + Pz	Šp	69	78	83	87
	Vř + Pz	Db	64	74	81	85
	Vř + Pr	Sp	66	74	80	82
	Vř + Pr	Db	62	71	78	81
	Vř + Pr + Pz	Šp	65	73	79	81
	Vř + Pr + Pz	Db	61	70	77	80
Úzkořádkové plodiny (obilniny)	Př	Šp	65	76	84	88
	Př	Db	63	75	83	87
	Př + Pz	Šp	64	75	83	86
	Př + Pz	Db	60	72	80	84
	Vř	Šp	63	74	82	85
	Vř	Db	61	73	81	84
	Vř + Pz	Šp	62	73	81	84
	Vř + Pz	Db	60	72	80	83
	Vř + Pr	Sp	61	72	79	82
	Vř + Pr	Db	59	70	78	81
	Vř + Pr + Pz	Šp	60	71	78	81
	Vř + Pr + Pz	Db	58	69	77	80
Víceleté píce, luštěniny	Př	Šp	66	77	85	89
	Př	Db	58	72	81	85
	Vř	Šp	64	75	83	85
	Vř	Db	55	69	78	83
	Vř + Pz	Šp	63	73	80	83
	Vř + Pz	Db	51	67	76	80
Pastviny s pokryvem	< 50 %	-	68	79	86	89
	50 - 75 %	-	49	69	79	84
	> 75 %	-	39	61	74	80
Louky	Sklizené	-	30	58	71	78
Křoviny s pokryvem	< 50 %	-	48	67	77	83
	50 - 75 %	-	35	56	70	77
	> 75 %	-	30	48	65	73
Sady se zatravněným meziřadím		Šp	57	73	82	86
		Stř.	43	65	76	82
		Db	32	58	72	79
Lesy		Šp	45	66	77	83
		Stř.	36	60	73	79
		Db	30	55	70	77
Zemědělské dvory		-	59	74	82	86
Komunikace s příkopy	dlážděné, živičné, makadamové, šterkové,		83	89	92	93
	nezpevněné, hliněné		76	85	89	91
			72	82	87	89
Nepropustné plochy			98	98	98	98

Poznámka:

- Pz* posklizňové zbytky nejméně na 5 % povrchu po celý rok.
- Př* přímé řádky vedené bez ohledu na sklon pozemku, tedy i po spádnici.
- Vř* vrstevnicové řádky vedené přesně ve směru vrstevnic – konturově, při sklonu pozemku menším než 2 % je obdělávání napříč svahu v přímých řádcích rovnocenně vrstevnicovému.
- Pr* pásové pěstované plodiny a příčně situované průlehy na pozemku.
- Db* dobré hydrologické podmínky zvyšující infiltraci a snižující odtok, kdy je více než 20 % povrchu pokryto zbytky rostlin, tj. více než $850 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ u širokořádkových plodin nebo $350 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ u úzkořádkových plodin.
- Stř* střední hydrologické podmínky.
- Šp* špatné hydrologické podmínky omezující infiltraci vody do půdy a zvyšující odtok, s menším množstvím posklizňových zbytků než při *Db*.

Obr. 2.2. Vliv obsahu vody v půdě (IPS I – suchá, IPS II – střední, IPS III – nasycená) na změnu čísla odtokové křivky (CN)



Dobré nebo špatné hydrologické podmínky zemědělských půd závisí především na hustotě zapojení porostu během roku, procentuálním zastoupení jetelotrav v osevním postupu, množství posklizňových zbytků na povrchu půdy ($> 20 \% \text{ Db}$) a na drsnosti povrchu. V lesích špatné hydrologické podmínky znamenají, že lesní hrabanka, stromy a keře jsou nedostatečně zastoupeny nebo poškozeny; dobré podmínky znamenají, že hrabanka nebo bylinné patro dobře kryje půdu.

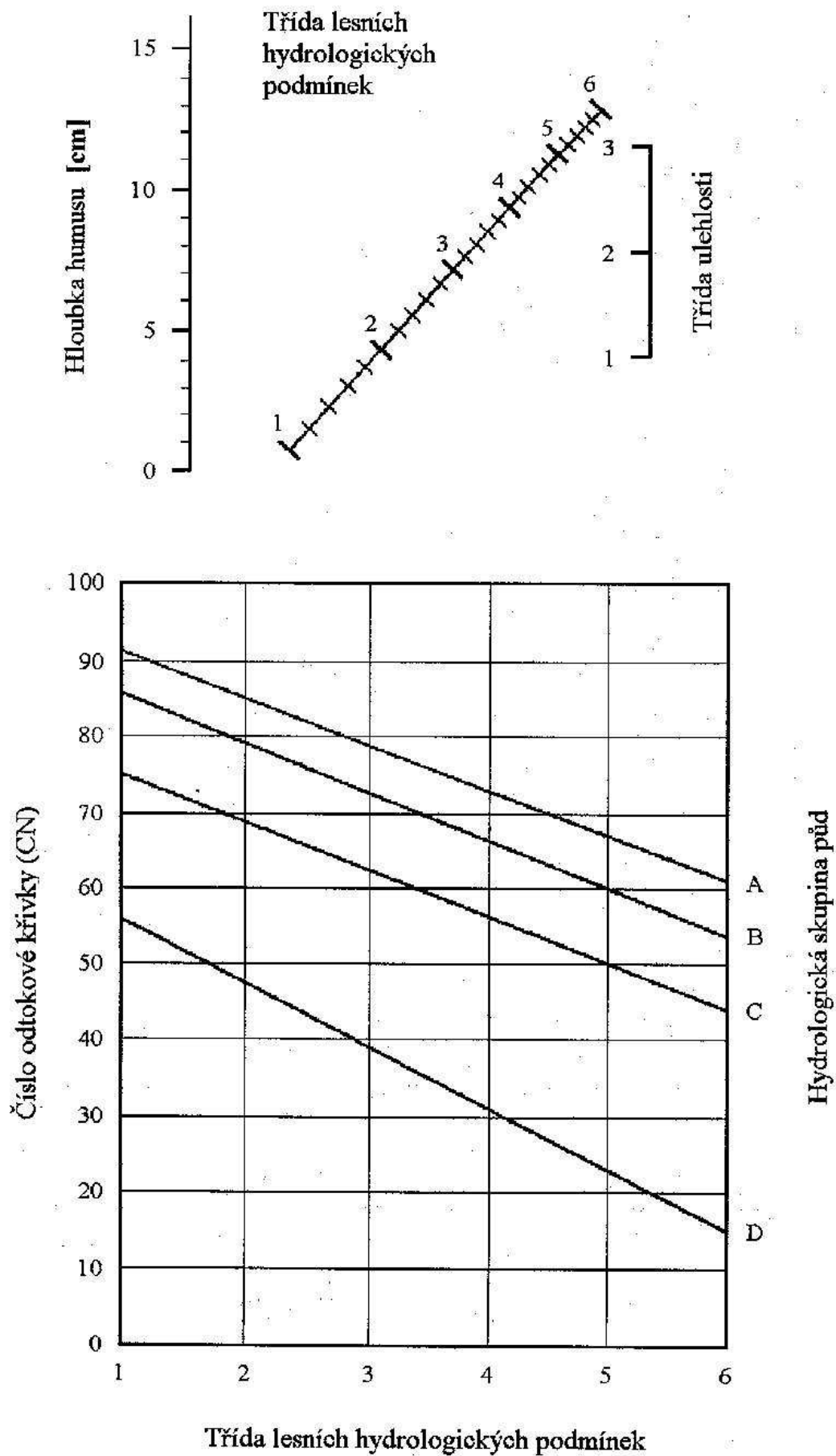
Průměrná čísla křivek odtoku – CN (Tab. 2.3.) odpovídají průměrným hospodářským podmínkám během vegetačního období. Sezónní změny CN lze vyjadřovat tak, že pro období orání a setí (sázení) CN odpovídá úhoru. Mezi výsevem (výsadbou) a před vrcholovým růstem odpovídají CN průměrům. V období vrcholového růstu, zpravidla před sklizní, je $\text{CN} = 2 \text{ CN}_\emptyset - \text{CN úhor}$. Po sklizni závisí CN na zakrytí povrchu půdy rostlinnými zbytky. Pokud jsou $2/3$ povrchu půdy bez pokryvu, pak CN odpovídá úhoru, pokud je $1/3$ bez pokryvu, odpovídá průměrnému CN.

Hydrologické podmínky lesních porostů jsou závislé především na hustotě pokryvu, vegetace, hrabanky apod. Nerozložené listí, jehličí, větévky, kůra a jiné zbytky vegetace na lesní půdě tvoří hrabanku, ze které vzniká vrstva nadložního humusu. Nadložní humus se podle metody CN – křivek hodnotí podle Tab. 2.4. Při dobrém obhospodařování je nadložní humus pórovitý a má velkou vsakovací a akumulační schopnost. Pro určení hydrologických podmínek lesa je zpravidla nutné pomocí sond zjistit skupinu půdy, hloubku hrabanky, typ a hloubku humusu a z Obr. 2.3. odečíst příslušné číslo křivky CN. Je-li vrstva hrabanky menší než 1 cm, pak se nadložní humus považuje za nechránící a třída hydrologických podmínek se redukuje koeficientem 0,5. Při kombinovaném využití území (plochy propustné, nepropustné) se hodnota odtokové křivky stanoví jako vážený průměr z čísel odtokových křivek jednotlivých ploch.

Tab. 2.4. Hodnocení nadložního humusu podle metody CN – křivek

Humus	Třída ulehlosti
zcela slehlý	1
málo slehlý	2
kyprý a sypký	3

Obr. 2.3. Nomogramy pro určení čísla odtokové křivky (CN) v závislosti na skupině půd a lesních hydrologických podmínkách



2.1.2. Kulminační průtok

Určení kulminačního (vrcholového) průtoku Q_{pH} je obtížnou částí nepřímých hydrologických metod. Povodí s podstatně rozdílnými čísly CN a dobou koncentrace povrchového odtoku v důsledku různé sklonitosti svahů, půd a způsobů jejich využití je nutné rozdělit na dílčí povodí.

Při výpočtu kulminačního průtoku se v metodě odtokových křivek používá poměru počáteční akumulace k jednodennímu maximálnímu srážkovému úhrnu I_a/H_s (Obr. 2.4.). Pro poměr I_a/H_s se podle doby koncentrace určí jednotkový kulminační průtok q_{pH} z nomogramu (Obr. 2.5.). Kulminační průtok se stanoví ze vztahu

$$Q = 0,00043 \cdot q_{pH} \cdot P_p \cdot H_o \cdot f \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad /2.4/$$

kde: q_{pH} je jednotkový kulminační průtok

P_p plocha v povodí (km^2)

H_o výška odtoku (mm)

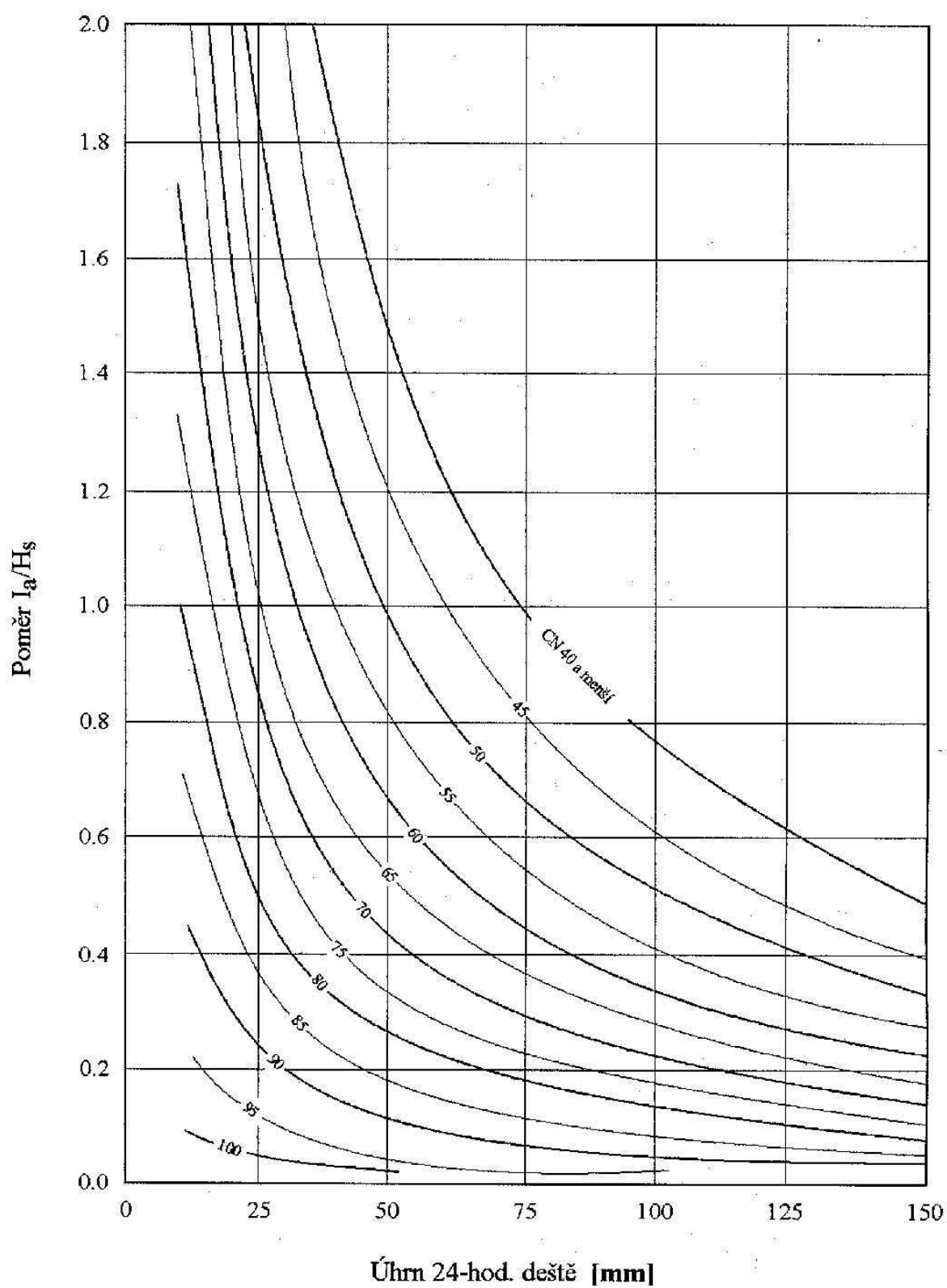
f opravný součinitel pro rybníky a mokřady (Tab. 2.5.).

Tab. 2.5. Opravný součinitel (f) pro nádrže, rybníky a mokřady

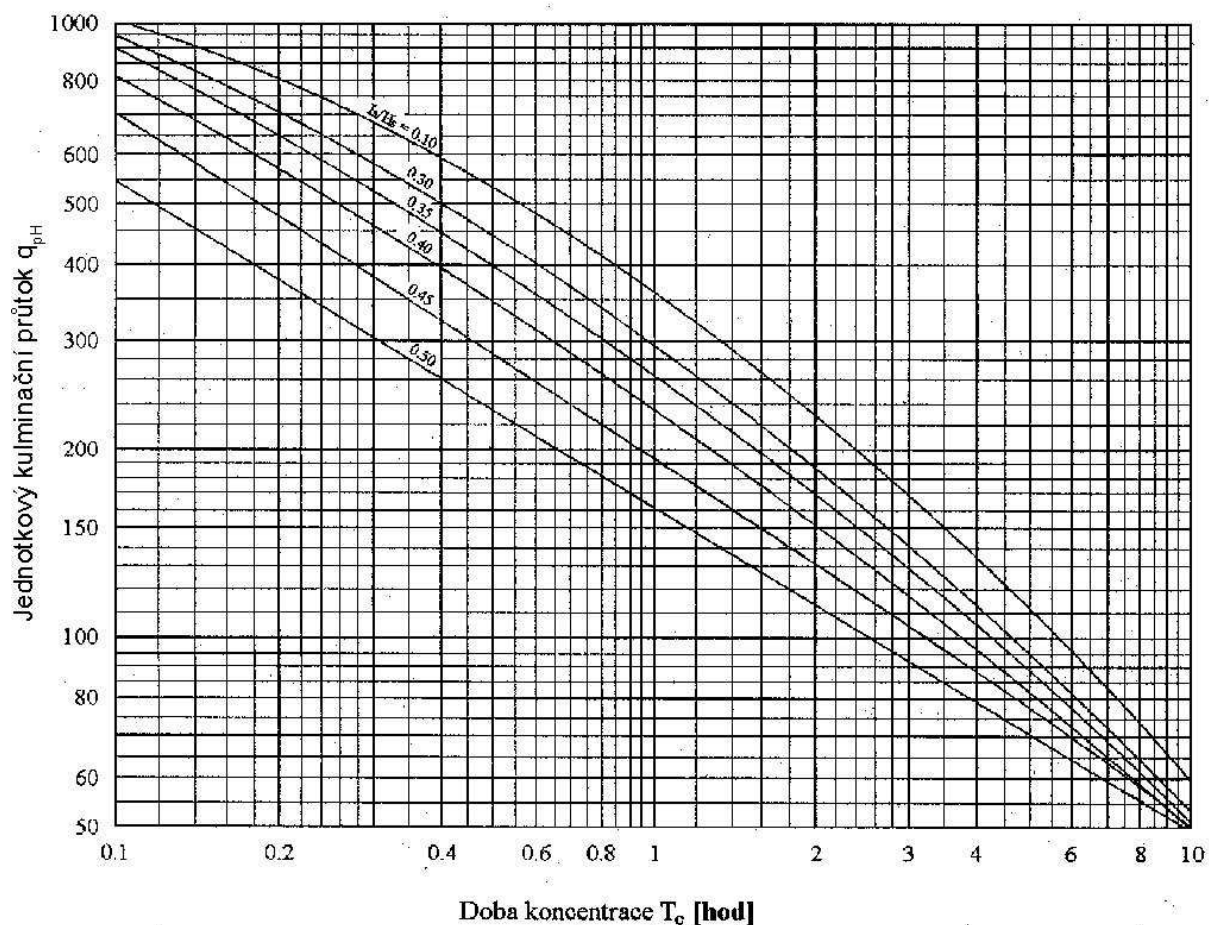
Procento ploch nádrží, rybníků a mokřadů v povodí	Opravný součinitel (f)
0,0	1,00
0,2	0,97
1,0	0,87
3,0	0,75
5,0	0,72

Poznámka: Opravný součinitel (f) se používá, jestliže se v povodí vyskytují nádrže, rybníky a mokřady mimo hydraulickou dráhu povrchového odtoku, takže s nimi není počítáno při určování doby doběhu, resp. doby koncentrace.

Obr. 2.4. Nomogram k určení I_a / H_s z 24-hod. úhrnu deště pro různá čísla odtokových křivek (CN)



Obr. 2.5. Nomogram pro zjištění jednotkového kulminačního průtoku (q_{pH}) z doby koncentrace (T_c) a poměru (I_a/H_s)



Doba doběhu a doba koncentrace

Doba doběhu (T_t) je čas, který potřebuje voda k přemístění z jednoho místa povodí na jiné. Je to část doby koncentrace (T_c), jež je časem, který je potřebný pro odtok z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu v povodí do uzávěrového profilu povodí; počítá se jako součet dílčích dob doběhu ve zvolené odtokové dráze. Doba koncentrace ovlivňuje tvar a kulminaci hydrogramu odtoku. Intenzifikace zemědělského využití pozemků v krajině obvykle zkracuje dobu koncentrace, čímž se zvyšuje vrcholový průtok.

Plošný povrchový odtok

Voda z povodí stéká z horních částí jako plošný (svahový) povrchový odtok, přechází v soustředěný odtok o malé hloubce a končí soustředěným odtokem v otevřeném korytě.

Pro plošný (svahový) povrchový odtok kratší než 100 m lze použít pro výpočet doby doběhu T_{ta} Manningovu kinematickou rovnici. Hodnoty Manningova součinitele drsnosti n

pro plošný odtok o maximální hloubce do 3 cm, pro různé druhy povrchů, včetně vlivu dopadu dešťových kapek, odporu povrchu (překážek v podobě posklizňových řádků) a transportu sedimentů udává Tab. 2.6.

$$T_{ta} = 0,007 (n \cdot l / 0,3048)^{0,8} / [(H_{s2} / 25,4)^{0,5} \cdot s^{0,4}] \quad /2.5/$$

kde: T_{ta} je doba doběhu (h)
 n Manningův součinitel drsnosti (Tab. 2.6)
 l délka proudění (m)
 H_{s2} úhrn 24 hod. deště s dobou opakování 2 roky (mm)
 s hydraulický sklon povrchu ($m \cdot m^{-1}$).

Tab. 2.6. Manningův součinitel drsnosti (n) pro plošný povrchový odtok

Popis povrchu	Manningův součinitel drsnosti pro plošný povrchový odtok (n)		
Hladký povrch (beton, asfalt, štěrk, holá půda)	0,011		
Úhor bez posklizňových zbytků	0,05		
Obdělávaná půda s posklizňovými zbytky pokrývajících: < 20 % povrchu > 20 % povrchu	0,06	0,17	
Travní porost: nízký, středně vysoký, hustý	0,15	0,24	0,41
Les s bylinným porostem – povrchový odtok do 3 cm: porost řídký porost hustý	0,40	0,80	

Tento zjednodušený tvar Manningova kinematického řešení je založený na předpokladu ustáleného proudění v tenké vrstvě, konstantní intenzitě efektivního deště v době trvání 24 hodin a malém vlivu rychlosti infiltrace na dobu doběhu.

Soustředěný odtok o malé hloubce

Po cca 100 m se plošný odtok zpravidla mění na soustředěný odtok o malé hloubce. Doba doběhu (T_{tb}) je dána podílem délky proudění a jeho rychlosti:

$$T_{tb} = l / 3600 \cdot v \quad /2.6/$$

kde: T_{tb} je doba doběhu (h)
 l délka proudění (m)
 v průměrná rychlost ($m \cdot s^{-1}$).

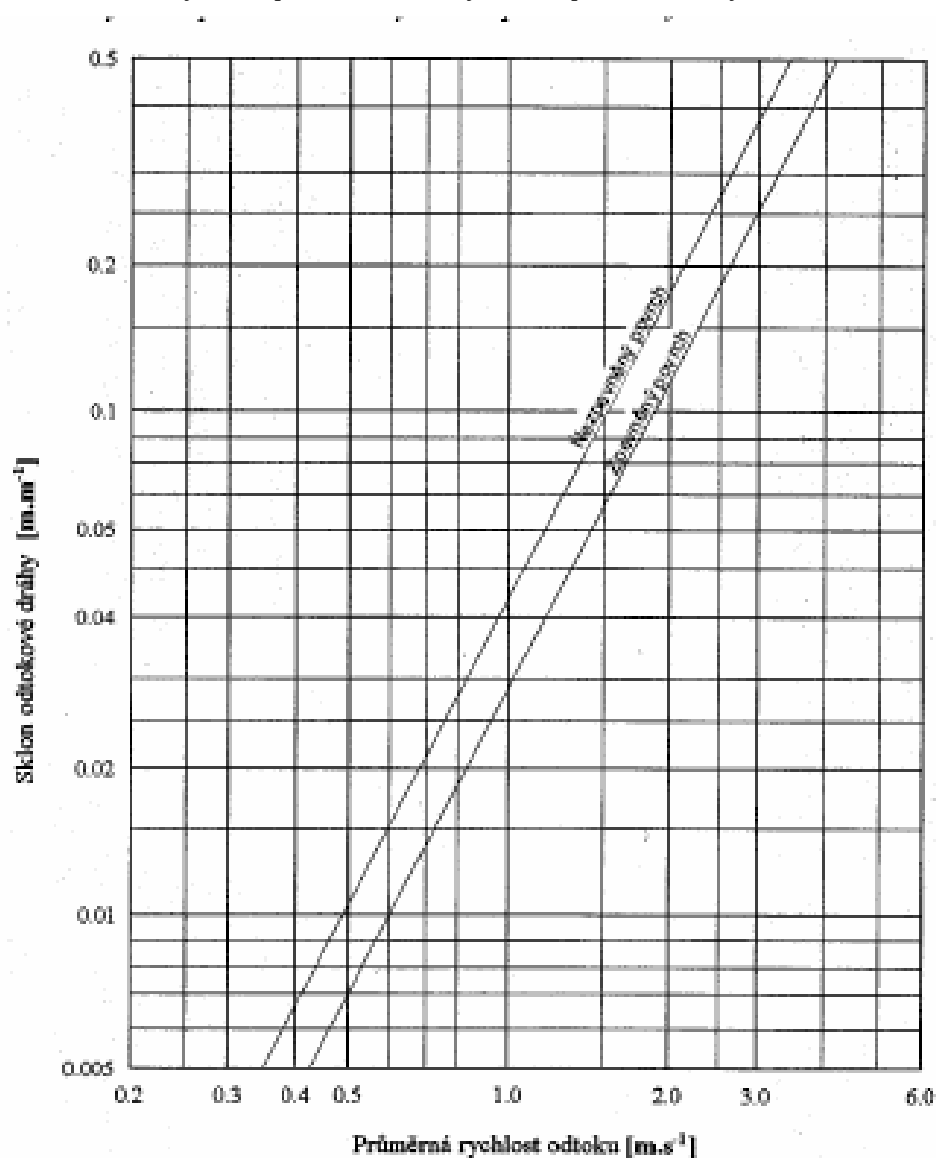
Průměrnou rychlost lze určit z Obr. 2.6. pro zpevněný a nezpevněný povrch. Pro sklony menší než 0,005 lze užít vztahy založené na řešení Manningovy rovnice pro nezpevněný povrch s Manningovým součinitelem drsnosti $n = 0,05$ a hydraulickým poloměrem $R = 0,12$ m, pro zpevněný povrch pro $n = 0,025$ a $R = 0,06$ m.

$$\text{pro nezpevněný povrch} \quad v = 4,918 \cdot s^{0,5} \quad /2.7/$$

$$\text{pro zpevněný povrch} \quad v = 6,196 \cdot s^{0,5} \quad /2.8/$$

kde: v je průměrná rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 s sklon odtokového prvku ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$).

Obr. 2.6. Průměrné rychlosti pro stanovení doby doběhu pro soustředěný odtok o malé hloubce



Otevřená koryta

Otevřená koryta začínají tam, kde lze zaměřit příčný profil nebo kde jsou zakreslena na mapách. Průměrná rychlost proudění se obvykle stanoví pro průtok otevřeným korytem podle rovnice Manninga:

$$v = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot s^{1/2} \quad /2.9/$$

kde: v je průměrná rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

R hydraulický poloměr (m) $R = F/O$

F plocha příčného profilu (m^2)

O omočený obvod (m)

s sklon koryta toku ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$)

n Manningův součinitel drsnosti pro průtok otevřeným korytem (Tab. 2.7).

Tab. 2.7. Manningův součinitel drsnosti (n) pro otevřená koryta

Charakteristika koryta	Manningův součinitel drsnosti pro otevřená koryta (n)
Betonové tvárnice spárované	0,012
Betonové tvárnice	0,013
Struskobetonové tvárnice "Klas"	0,014
Kamenná dlažba spárovaná	0,022
Polovegetační tvárnice	0,025
Zemní koryto pravidelné, kosené	0,025
Kamenná dlažba na sucho, hrubá	0,029
Kamenná rovnanina	0,032
Polovegetační tvárnice, vzrostlý drn	0,033
Zemní koryto pravidelné, nekosené	0,033

Doba doběhu (T_{tc}) se vypočte podle vztahu

$$T_{tc} = l / 3600 \cdot v \quad (\text{h}) \quad /2.10/$$

Doba koncentrace povrchového odtoku (T_c) je součtem doby doběhu (T_t) pro různé po sobě následující úseky proudění

$$T_c = T_{ta} + T_{tb} + T_{tc} \quad (\text{h}) \quad /2.11/$$

Pro malá povodí je obvykle nejnebezpečnější srážkou přívalový déšť, jehož intenzita dosahuje intenzity návrhového deště s opakováním 1 x N let ($N=1,2,5,10,20,50,100$ let) a dobou trvání obdobnou době koncentrace na povodí. Řešení časové redukce 1 – denního deště N – leté doby opakování bylo zpracováno na Katedře biotechnických úprav krajiny FŽP ČZU v Praze na základě tabulek Šamaj – Brázdil – Valovič pro přívalové deště 1900 – 1980 (1983) a software je volně dostupný na <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software>.

3. Stanovení intenzity eroze z tání sněhu

Pro stanovení intenzity eroze z tání sněhu je možno použít empirický vzorec dle Zachara (1981):

$$Es = m \cdot h \cdot k \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot K$$

kde:

Es – intenzita eroze [$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]

m – rychlost tání sněhu [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$]

h – množství vody vzniklé táním sněhu během dvacetidenního období [cm]

k – faktor odtoku vody násobený číslem 1,5 až 3 (dle stavu promrznutí půdy)

LS – topografický faktor

C – faktor ochranného vlivu vegetace v období erozně nebezpečného tání sněhu

P – faktor protierozních opatření

K – faktor erodovatelnosti půdy

Postup stanovení faktorů K, LS a P je shodný jako při výpočtu ztráty půdy v důsledku erozního působení přívalových srážek. Hodnotu C faktoru je nutno stanovit pro období výskytu erozně nebezpečného tání sněhu. Metodický postup stanovení jednotlivých faktorů, jejichž hodnoty se liší od hodnot stanovených pro období výskytu erozně nebezpečných dešťů je uveden v následujícím textu.

Množství vody, vzniklé během období tání (h)

Množství vody, vzniklé během období tání (h) se určuje na základě dat ČHMÚ dle vodní hodnoty sněhu (SVH). SVH se měří, pokud existuje souvislá sněhová pokrývka alespoň 4 cm, každé pondělí v pozorovacím termínu 7:00 SMSČ (střední místní sluneční čas) po ukončení ostatních měření a pozorování. Vodní hodnota nesouvislé sněhové pokrývky se neměří. Vodní hodnotou celkové sněhové pokrývky se rozumí množství vody obsažené ve sněhové pokrývce, které vznikne jejím úplným rozpuštěním a udává se v milimetrech vodního sloupce. K měření vodní hodnoty sněhu se používá velká srážko-měrná nádoba a skleněná odměrka.

Na vybraných stanicích (převážně s vysokou sněhovou pokrývkou) se používá váhový sněhoměr.

Rychlost tání v mm.den⁻¹ (m)

Určuje se jako množství vody v cm vodního sloupce, které vzniklo během období tání (h) děleno počtem dní, kdy došlo k nejintenzivnějšímu tání násobeno 10 (přepočet z cm vodního sloupce na mm.den⁻¹).

Erozní potenciál sněhové pokrývky

Množství vody vzniklé táním sněhu (h) a rychlost tání sněhu (m) je možno souhrnně označit jako erozní potenciál vody akumulované ve sněhové pokrývce, který ve Wischmeier-Smithově rovnici nahrazují R - faktor erozní účinnosti dešťů.

Pro rajonizaci erozního ohrožení půd v období tání sněhu podle klimatických podmínek byla použita data z 50 vybraných meteorologických (klimatologických, srážkoměrných) stanic ČHMÚ. Stanice byly vybrány na základě dostupnosti požadovaných dat za třicetileté období, zejména podle jejich reprezentativnosti, homogenity a jejich polohy s ohledem na jejich rovnoměrné zastoupení v různých nadmořských výškách a odlišných klimatických podmínkách, vyjádřených prostřednictvím klimatického regionu z bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Hlavním úkolem bylo, aby v rámci možností a podle výše uvedených kritérií byly vybrány takové stanice, které by rovnoměrně pokryly území České republiky.

Z databáze o údajích SVH (vodní hodnota sněhu) a SCE (celková výška sněhové pokrývky) byl spočítán erozní potenciál pro vybrané klimatologické a srážko-měrné stanice v jednotlivých chladných obdobích za období 1980/1981 až 2009/2010. Z těchto dat byly vypočítány průměrné hodnoty za třicetileté období a výsledky byly podkladem pro zpracování mapy na Obr. 3.1. Pro vyjádření erozního potenciálu na zemědělské, resp. orné půdě nebyla k dispozici přesná mapa zemědělsky využívaných pozemků. Na úrovni jednotlivých katastrálních území je mapa půdních bloků dostupná v databázi LPIS. Z důvodu příliš podrobného prostorového rozlišení těchto podkladů byly oblasti s předpokládaným výskytem orné půdy určeny vyřazením lesů, sídel, pozemků se sklonem nad 12° a oblastí s nadmořskou výškou nad 700 m. Jedná se tedy pouze o určitý odborný odhad a od skutečnosti se může lišit (maximální hodnoty erozního potenciálu na orné půdě jsou pravděpodobně nižší). Obdobný

postup pro přibližný odhad výskytu zemědělské půdy není možný z důvodu problematického stanovení maximální nadmořské výšky pro výskyt TTP.

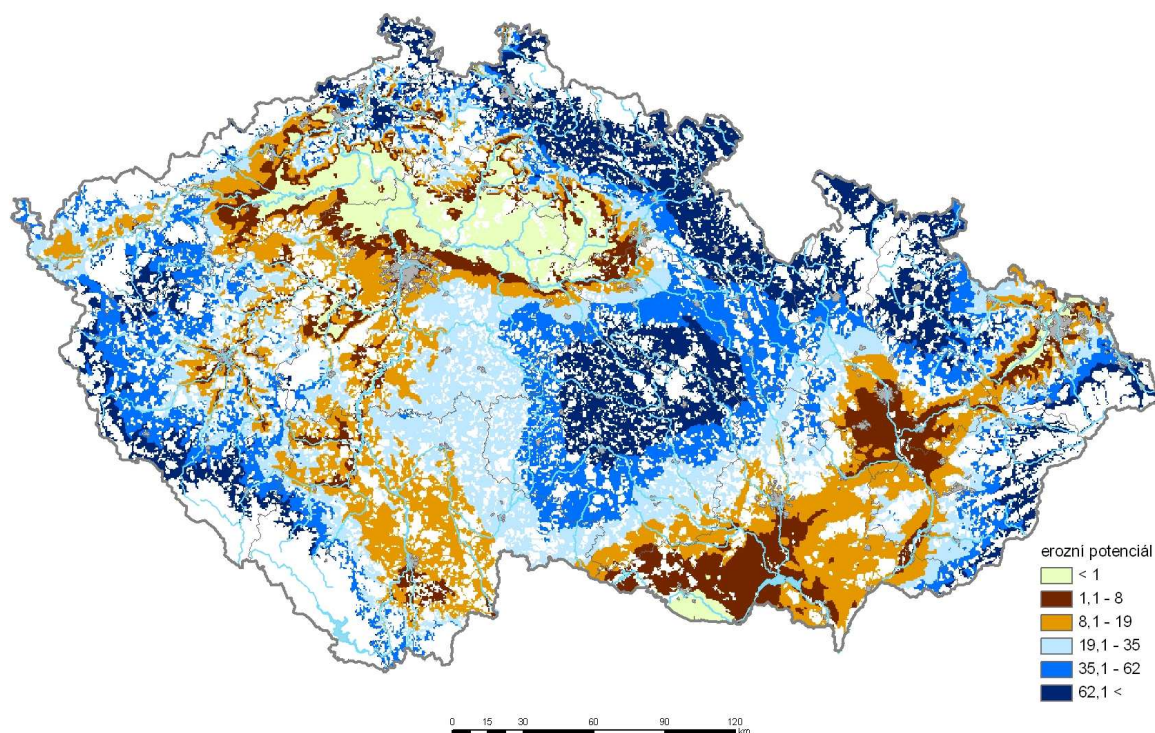
Za oblasti erozí z tání sněhu neohrožené je možno považovat oblasti s hodnotou erozního potenciálu od 0 do 1 (zejména nížinné a rovinné oblasti Polabí a Podyjí) – v mapě označeny světle zelenou barvou. Pro tyto lokality není nutné intenzitu eroze z tání sněhu stanovovat. Pro ostatní kategorie se pro výpočet použije průměrná hodnota odpovídající příslušnému intervalu tj.

Kat. 1	1,1 až 8	4,5
Kat. 2	8,1 až 19	13,5
Kat. 3	19,1 až 35	27
Kat. 4	35,1 až 62	48,5
Kat. 5	Pro kategorii nad 62,1 se použije právě tato hodnota tedy 62,1.	

Hranice jednotlivých intervalů byly stanoveny jako kvantilové hodnoty resp. hodnoty kvintilů $Q_{0,2}$, $Q_{0,4}$, $Q_{0,6}$, $Q_{0,8}$.

Odtokový koeficient (k)

Hodnota odtokového koeficientu v období tání sněhu, kdy je půda nasycena vodou je rovna 0,5. Hodnota k byla násobena číslem z intervalu 1,5 až 3 podle promrznutí půdy z ohledem na možnost infiltrace vody do půdy a náchylnosti půdy k erozi. Pokud byla půda v období tání sněhu nepromrzlá, byla zvolena hodnota 1,5, v případě plně promrzlé půdy byla zvolena hodnota 2. Stav, kdy se nad promrzlou vrstvou půdy nachází rozmrzlá vrstva odpovídá hodnota 3. Určení tohoto parametru je pouze orientační a v případě, kdy nejsou k dispozici údaje o promrzání půdy je možno použít střední hodnotu součinitele pro zamrzlou půdu 2.



Obr. 3.1. Mapa erozního potenciálu vody akumulované ve sněhové pokrývce v ČR (odhad pro ornou půdu)

Faktor ochranného vlivu vegetace v období erozně nebezpečného tání sněhu (C)

Při stanovení C faktoru v období erozně nebezpečného tání sněhu se nebere v úvahu vliv přívalových dešťů. C faktor pro jednotlivé plodiny byl určen pouze podle pěti pěstebních období. Vztah mezi hodnotou C faktoru v období výskytu přívalových srážek a v období výskytu erozně nebezpečného tání sněhu udávají následující grafy (Obr. 3.2. a 3.3.). Závislosti byly odvozeny na základě zastoupení plodin ve 22 okresech ČR (zdroj dat ČSÚ).

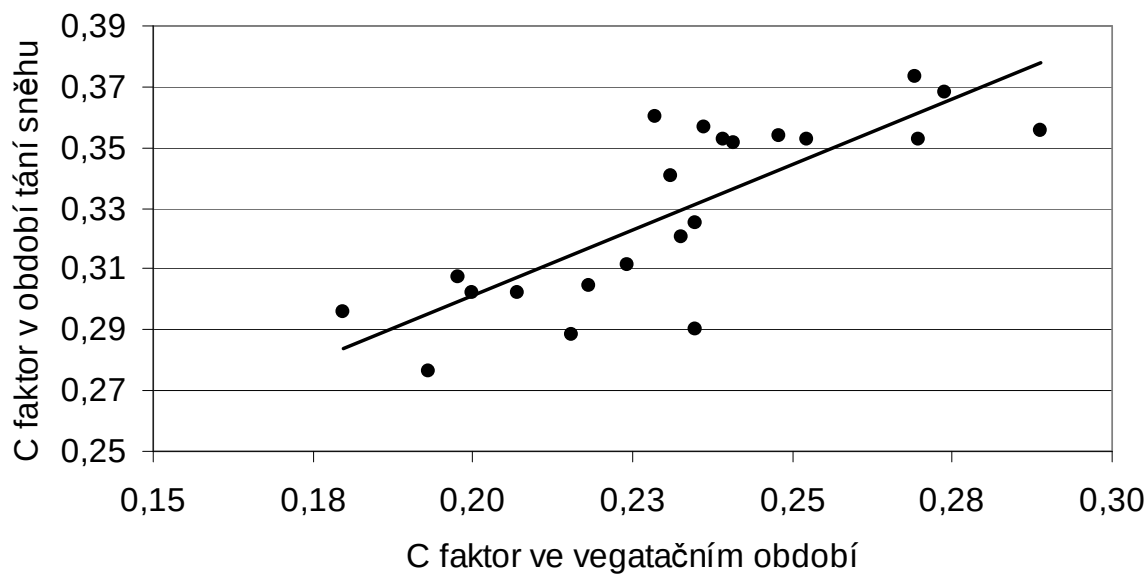
Obr. 3.2. prezentuje závislost C faktoru v období tání sněhu na hodnotě C faktoru ve vegetačním období ($r = 0.802^{**}$, $\alpha=0.01$), tato závislost je vyjádřena rovnicí:

$$C_{NO} = 0,8656C_{VO} + 0,128$$

Kde:

C_{NO} – C faktor v období tání sněhu

C_{VO} – C faktor ve vegetačním období



Obr. 3.2. Závislost mezi hodnotou C faktoru v období výskytu přívaleových srážek a v období výskytu erozně nebezpečného tání sněhu – orná půda

Obr. 3.3. prezentuje závislost C faktoru v období tání sněhu na klimatickém regionu ($r = 0.790^{**}$, $\alpha=0.01$), tato závislost je vyjádřena rovnicí:

$$C_{NO} = -0,0113 KR + 0.3848$$

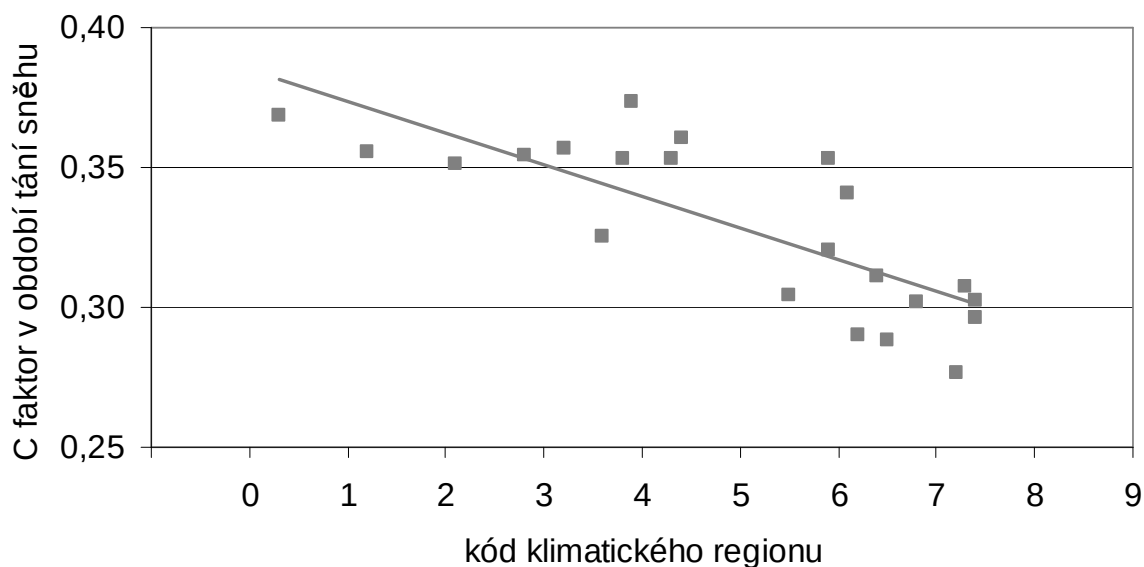
C_{NO} – C faktor v období tání sněhu

KR – kód klimatického regionu

Na základě této závislosti lze pro výpočet použít přímo vypočtené hodnoty C faktoru v období tání sněhu, které udává Tab. 3.1.

Tab. 3.1. Hodnoty C faktoru v období tání sněhu pro jednotlivé klimatické regiony

Kód KR	C_{NO}	Kód KR	C_{NO}
0	0,385	5	0,328
1	0,374	6	0,317
2	0,362	7	0,306
3	0,351	8	0,294
4	0,240	9	0,283



Obr. 3.3. Závislost mezi klimatickým regionem a hodnotou C faktoru v období výskytu erozně nebezpečného tání sněhu – orná půda

Příklad výpočtu:

Dle mapy erozního potenciálu se určí hodnota erozního potenciálu (v rovnici X se jedná o součin faktorů $m \cdot h$). Lokalita spadá do kategorie 3, která odpovídá hodnotě erozního potenciálu od 19,1 do 35. Pro dosažení do vzorce se použije střední hodnota intervalu tj. 27.

$$h \cdot m = 27$$

Hodnotu koeficientu k upravenou koeficientem od 1,5 do 3 je možno s určitým zobecněním pro celou oblast ČR považovat za konstantní a do výpočtu se dosadí hodnota 1.

$$k = 0,5 \cdot 2 = 1$$

Hodnota C faktoru (se primárně určí na základě velikosti C faktoru ve vegetačním období dle rovnice:

$$C_{NO} = 0,8656C_{VO} + 0,128$$

C_{NO} – C faktor v období tání sněhu

C_{VO} – C faktor ve vegetačním období

Po dosažení hodnoty c faktoru ve vegetačním období 0,28:

$$C_{NO} = 0,8656 \cdot 0,28 + 0,128$$

$$C_{NO} = 0,37$$

Pokud není k dispozici hodnota C faktoru ve vegetačním období, hodnota C faktoru v období tání sněhu se stanoví dle příslušnosti oblasti ke klimatickému regionu dle BPEJ podle rovnice:

$$C_{NO} = -0,0113 KR + 0.3848$$

C_{NO} – C faktor v období tání sněhu

KR – kód klimatického regionu

Po dosažení kódu klimatického regionu 7:

$$C_{NO} = -0,0113 \cdot 7 + 0.3848$$

$$C_{NO} = 0,31$$

Hodnota faktoru **LS**, **K** a **P** se určí analogickým postupem jako v případě vyjádření intenzity eroze působením přívalových dešťů.

$$LS = 3,43$$

$$Es = m \cdot h \cdot k \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot K$$

$$K = 0,5$$

$$Es = 27 \cdot 1 \cdot 3,43 \cdot 0,37 \cdot 1 \cdot 0,5$$

$$P = 1$$

$$\mathbf{Es = 17,1 \, t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}}$$

4. Odhad transportu splavenin

Půdní částice uvolněné vodní erozí na pozemcích se částečně usazují v depresích a v místech se zmenšeným sklonem, část z nich pozemek opouští, přechází do hydrografické sítě a tvoří splaveniny. Jestliže množství splavenin je větší než transportní schopnost toku, splaveniny se usazují v tocích a nádržích, kde způsobují řadu problémů jako je zanášení a přísun chemických látek, vázaných na povrchu splavenin i rozpuštěných v povrchovém odtoku.

K odhadu průměrného ročního množství splavenin v určitému profilu povodí lze použít metodu tzv. poměru odnosu (SDR), který je definován jako poměr ročního množství splavenin v tomto profilu k celkové erozi v povodí. Celková eroze v povodí je nejen eroze ze zemědělské a příp. lesní půdy, ale i z dalších možných zdrojů nerozpuštěných látek v povodí, jako jsou aktivní strže, velká staveniště, zemní tělesa liniových dopravních staveb, proudová eroze v tocích apod. Poměr odnosu může nabývat hodnoty 1 v případě transportu veškerých částic uvolněných erozí z povodí a hodnoty 0 při zachycení veškerých částic v rámci povodí.

Pro stanovení poměru odnosu je možné orientačně použít vztah WILLIAMSE (1977):

$$SDR = 1,366 \cdot 10^{-11} A^{-0,0998} s_r^{0,3629} \cdot CN^{5,444} \quad /4.1/$$

kde: SDR je poměr odnosu,
 A plocha povodí (km^2),
 s_r reliéfový poměr ($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$),
 CN číslo odtokové křivky.

Vztah byl odvozen a testován pro povodí o velikosti 30 - 100 km^2 . Průměrné roční množství splavenin ve vyšetřovaném profilu povodí se stanoví redukcí hodnoty celkové roční eroze v povodí poměrem odnosu SDR. Celkovou roční erozi v povodí tvoří ztráta půdy erozí ze zemědělské a lesní půdy (určená pomocí Univerzální rovnice). Ztráty půdy z ostatních významných zdrojů eroze v povodí se stanoví odborným odhadem.

Pro odhad transportu splavenin z jednotlivého přívalového deště lze použít i modifikovanou rovnici WILLIAMS, BERNDT (1972), kde je hodnota R-faktoru nahrazena součinem objemu a kulminačního průtoku a ostatní faktory jsou vyjádřeny průměrnými hodnotami faktorů USLE pro povodí.

5. Simulační modely erozních procesů

Simulační modely vodní eroze a transportu půdních částic jsou založeny na zjednodušeném matematickém popisu fyzikálních procesů. Erozní proces se skládá ze tří navazujících dílčích procesů. Jde o uvolnění a transport půdních částic deštěm a povrchovým odtokem a o následné ukládání transportovaných částic při poklesu transportní kapacity povrchového odtoku.

Aplikace simulačních modelů je v současné době spojována s prostředky GIS pro vyjádření plošné heterogenity podmínek eroze a erozních činitelů. Za hlavní přednosti simulačních modelů erozního procesu se ve srovnání s empirickými modely považují (VÁŠKA, 2000):

- fyzikální základ popisu vytváření povrchového odtoku, vzniku a průběhu procesu eroze, tj. uvolňování, transportu a ukládání půdních částic.
- reálná analýza erozního procesu s rozdělením na procesy plošné, mezirýžkové a rýžkové (rýhové).
- zahrnutí procesu eroze způsobené soustředěným odtokem, tj. výmolové a proudové eroze.
- zahrnutí procesu sedimentace transportovaných částic a určení jeho intenzity.
- řešení jednotlivých významných srážko-odtokových případů návrhového charakteru s respektováním ekologických důsledků erozních procesů pro návrh ochranných opatření v povodí.

Základním vztahem všech simulačních modelů erozního procesu jsou rovnice kontinuity a rovnice pohybová, uvádějící procesy proudění vody, infiltrační procesy a pohyb splavenin. Simulace plošného povrchového odtoku v těchto modelech využívá většinou princip pohybu kinematické vlny. Hydrologická koncepce přitom vychází z vytváření povrchového odtoku na zdrojových plochách s rozlišením proudění vody a transportu půdních částic na ploše a v síti rýžek a rýh. Přitom je odtok v rýžkách doplňován bočním přítokem z mezirýžkových ploch, tj. z plošného odtoku. Podle stejné koncepce probíhá rovněž pohyb uvolněných půdních částic, kdy množství půdních částic vzniklých erozním procesem v rýžkách je zvětšováno bočním přísunem půdních částic z mezirýžkových ploch. Proto je společnou koncepcí téměř všech simulačních modelů vodní eroze respektování tří dílčích procesů založených na fyzikálním základu:

- procesu plošné mezirýžkové eroze na ploše proudění vody v tenké vrstvě.
- procesu rýžkové (rýhové) eroze, kdy se povrchový odtok soustřeďuje do plošně se vytvářející sítě drobných rýžek (rýh).
- procesu výmolné a proudové eroze, které jsou výsledkem povrchového odtoku soustředěného v hydrologické síti.

Na základě těchto principů bylo koncipováno a aplikováno velké množství modelů, řada z nich byla testována i pro podmínky ČR (HOLÝ, VÁŠKA, VRÁNA, 1988), později i s rozlišením úrovně aplikace v rámci řešení globálního, regionálního a lokálního. Velmi dobrý přehled simulačních modelů vodní eroze poskytuje odborná literatura (např. SCHMIDT 2000, MORGAN, NEARING, 2011). Některé z nich, u nás používané, jsou krátce zmíněny v následujícím textu.

5.1. HydroCAD

HydroCAD je hydrologický model založený na principu CN-křivek, který lze využít pro simulaci významných srážkoodtokových epizod na malém povodí, včetně výsledného hydrografu. Uživatel může verifikovat, zda odtokový systém povodí (říční síť) je kapacitně dostatečný, předpovídat výskyt povodňových, příp. erozních událostí, vyhodnotit různé alternativy návrhu řešení hydraulických objektů (jezů, propustků, potrubí) a vybrat nejvhodnější z hlediska bezpečnosti, ochrany životního prostředí a finanční náročnosti. Řešené povodí se transformuje následujícími komponenty:

Subpovodí, vodní tok a nádrž, mezi kterými slouží spojky, které umožňují import vstupních hydrografů do komponent a uzly, které řeší výstupní hydrografy z jednotlivých komponent směrem dolů po toku.

Výsledky vypočtené modelem je možné pro všechny uzly odtokového schématu zobrazit ve formě hydrografů a tabulek ve formátu Txt nebo Jpg. Základní informace pro práci s programem HydroCAD uvádí nápověda a instrukce k použití (tutoriál), které se instalují zároveň s programem. Podrobné informace, návod i zkušební verze programu se nacházejí na webových stránkách Applied Microcomputer Syst - <http://www.hydrocad.net> firmy ems .

5.2. SMODERP

Model SMODERP umožňuje stanovit míru erozního ohrožení pozemků, určit přípustnou délku pozemku a odtokové charakteristiky plošného povrchového odtoku (objem odtoku, kulminační průtok) pro návrhový dešť různé pravděpodobnosti výskytu.

Výstupy modelu SMODERP dávají podklady pro návrh prvků protierozní ochrany na jednotlivém pozemku o velikosti do cca 100 ha s nehomogenními morfologickými, půdními a vegetačními poměry.

Model lze využít pro stanovení:

- přípustné délky svahu (pozemku) na základě krajního nevymílacího tečného napětí a krajní nevymílací rychlosti plošného povrchového odtoku,
- charakteristik povrchového odtoku (objem odtoku, kulminační průtok, hloubka, rychlost a tangenciální napětí plošného povrchového odtoku) ve zvolených profilech vyšetřovaného svahu a ve zvolených časových intervalech od počátku deště.
- pro simulaci je vyšetřovaný svah rozdělen na morfologicky, půdně a vegetačně homogenní úseky. Maximální délka i šířka vyšetřovaného svahu je 1000 m.

Základní vstupní údaje pro každý úsek vyšetřovaného svahu tvoří:

- morfologické údaje (délka a šířka úseku, sklon),
- pedologické údaje (půdní druh, součinitel nasycené hydraulické vodivosti, sorptivita, drsnost půdního povrchu a jeho retenční schopnost),
- vegetační poměry (druh vegetačního krytu, poměrná listová plocha, potenciální intercepce, Manningův součinitel drsnosti pro plošný povrchový odtok, faktor ochranného vlivu vegetace a způsobu obdělávání C-faktor USLE).

Hodnoty vstupních údajů, pokud nejsou známy z terénního průzkumu, jsou uvedeny jako doporučené hodnoty v uživatelském manuálu modelu. V manuálu jsou rovněž uvedeny hodnoty návrhových dešťů pro různou pravděpodobnost výskytu.

SMODERP byl odvozen na katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT Praha a jeho program je volně přístupný na adrese <http://storm.fsv.cvut.cz>. V současné době probíhá aktualizace modelu včetně úpravy uživatelského prostředí.

5.3. KINFIL

Model KINFIL je původně hydrologický model, který byl v nedávné době doplněn o řešení limitních podmínek vodní eroze (KOVÁŘ, VAŠŠOVÁ, 2010). Je založen na kombinaci teorie infiltrace (INFIL) a transformace povrchového odtoku kinematickou vlnou (KIN). Je fyzikálně založený (3D) a používá fyzikálně-geometrické, hydraulické, hydrologické parametry malého povodí a je přednostně určen pro stanovení návrhových průtoků pro různé „scénářové“ situace, ale i podmínky začátku erozního procesu. Jeho současná verze vyžaduje kombinaci s GIS, založené na fragmentaci povodí dle říční sítě a její členění na subpovodí ve formě kaskád odtokových ploch.

Infiltrační část modelu využívá řešení podle MOREL-SEYTOUXE (1982) s Mein-Larsonovou rovnicí výtopy k odvození postupu infiltrace z proměnného deště, ve kterém vstupují jako parametry: součinitel nasycené hydraulické vodivosti, sorptivita a doba výtopy. K simulaci transformačního procesu je možno využít buď různé možnosti konvoluce jednotkového hydrogramu (CN-JH, Geomorfologický JH aj.), nebo již zmíněnou kinematickou vlnu, která vyžaduje digitální model reliéfu terénu (např. PCI Geomatica). Tato část modelu používá různé geometrické tvary prvků kaskády (obdélníky, rovnoběžníky, segmenty aj.). Pokud jsou simulovány pouze hydrogramy odtoku, model v této fázi využívá opět kinematickou aproximaci pomocí metody Muskingum-Cunge. Pro řešení vodní eroze model poskytuje hodnoty hloubek, rychlostí a tangenciálních napětí v systému 3D. Hodnoty hydraulických tangenciálních napětí jsou pak porovnávány s jejich krajními hodnotami, při kterých již začíná docházet k pohybu půdních částic (<http://fzp.czu.cz/vyzkum>).

5.4. EROSION 2D/3D

Modely EROSION 2D a 3D (SCHMIDT et al. 1999) byly koncipovány pro podmínky střední Evropy. Obě verze mají stejný teoretický základ. Verze 2D simuluje povrchový odtok a erozi z jednotlivého svahu děleného na homogenní elementy, verze 3D z celého povodí ze srážky proměnné intenzity s plochou povodí dělenou pravidelnou čtvercovou sítí. Oba modely

jsou fyzikálně založené, uživatelsky příjemné, pracují s minimálním počtem vstupních parametrů a jsou kompatibilní s běžnými systémy GIS. Lze je využít i pro simulaci vlivů různých způsobů obdělávání pozemků, změn ochranných opatření na ztráty půdy a odhad množství kontaminantů vázaných na půdní částice. Modely jsou epizodní, ale lze je využít i pro řešení odtoku a eroze v krátkém období s několika srážkami. Výpočetní program je rozdělen na dvě části, první část slouží k přípravě vstupních dat, která umožní uživateli vlastní fázi výpočtu eroze ve druhé části. Tato druhá část výpočtu provádí simulaci eroze a její grafické výstupy v plošném a prostorovém zobrazení. Trojrozměrné zobrazení nabízí pohled na řešené území s barevným rozlišením intenzity eroze a ukládání erodovaného materiálu. Podrobný popis modelu, vstupních dat a výstupních informací je k dispozici na webové stránce Technické univerzity ve Freibergu (Německo) (<http://tu-freiberg.de>).

5.5. WEPP

Představitelem simulačního modelu nové technologie pro řešení odtoku a eroze na jednotlivém svahu a v malém zemědělsko-lesním povodí je projekt WEPP (Water Erosion Prediction Project, USA). Model je založen na moderních principech soudobé hydrologie, hydrauliky a erodologie a je určen pro simulace předpovědi povrchového odtoku, ztrát půdy a ukládání sedimentů v malých povodí na svazích a údolnicích pozemků a v korytech drobných vodních toků. Model používá měřené deště nebo syntetické návrhové deště, včetně dešťů vytvořených stochastickým generátorem, který současně poskytuje informace i o ostatních denních meteorologických údajích. Řešení infiltrace je založeno na metodě Green-Ampt, povrchový odtok je simulován kinematickou vlnou, dále model řeší evapotranspiraci a denní hydrologickou bilanci, denní přírůstek plodiny a zahrnuje i závlahovou bilanci vody. Model WEPP poskytuje informace o polohovém a časovém rozložení ztrát půdy o její depozici, včetně přesné lokalizace s vyznačením místa a doby výskytu na povodí. Simulace procesu eroze rozlišuje kinetické rozrušování půdy dešťovými kapkami, plošnou a rýžkovou erozi i erozi rýhovou vyvolanou soustředěným odtokem. Popis projektu, programy jednotlivých submodelů a uživatelskou dokumentaci lze získat na internetové adrese: <http://topsoil.nserl.purdue.edu/userlweb> a další <http://www.soilerosion.net>.

Řadu příkladů využití simulačních modelů WEPP i dalších modelů lze najít v odborné literatuře (MORGAN, NEARING, 2011). Informace o dalších simulačních modelech je

možno nalézt I na <http://www.soilerosion.net> , na Links této adresy je odkaz na Erosion Models, které jsou používány USDA (U.S. Department of Agriculture).

5.6. Metoda USLE s využitím geoinformačních technologií

V současné době je v inženýrské praxi stále více využíváno geoinformačních technologií (GIS) pro řešení výpočtů potřebných k určení smyvu a návrhu protierozních opatření. Tyto metody více nebo méně automatizují celý výpočet, zejména však mohou přinést jeho výrazné zpřesnění. Následně jsou popsány pouze základní postupy práce v GIS pro určení ohroženosti půdy erozí. Detailní informace uvádí KRÁSA, 2004 a 2010, KRÁSA et al., 2006.

Obvyklým principem všech metod je, že veškerá podkladová data pro výpočet a všechny faktory rovnice USLE jsou převedeny do podoby informačních mapových vrstev geografických informačních systémů (GIS) a následně do formy rastrových vrstev v požadovaném rozlišení (obvykle jednotky až desítky metrů). Základní analýza probíhá nejčastěji na bázi rastru. Klíčovou vrstvou je výškopis v podobě digitálního modelu terénu (DMT).

Je třeba zdůraznit, že neexistuje jedna verze metody USLE pro implementaci v rastrovém GIS. V současné době je k dispozici celá řada modelů využívajících robustnost metody USLE. A téměř všechny tyto modely jsou schopny pracovat s daty v několika rozlišeních (ač vždy vykazují vůči rozlišení rastru jistou citlivost) a lze jimi řešit i rozsáhlá území. Modely se liší (kromě nativní provázanosti s konkrétními platformami GIS) zejména přístupem ke stanovení topografického faktoru LS a dále dle toho, zda:

- (i) vyčíslují pouze mezirýhovou erozi (tedy plošný smyv v souladu s původním odvozením metody USLE;
- (ii) vyčíslují mezirýhovou i rýhovou erozi (zohledněním velikosti odtokové plochy v každém bodě);
- (iii) vyčíslují rýhovou a mezirýhovou erozi, ale i depozici na základě komplexního vyhodnocení morfologie a stanovení transportní kapacity povrchu (bilanční modely).

Ostatní faktory Univerzální rovnice se takřka ve všech modelech určují i při využití GIS klasickými postupy uvedenými v této metodice.

Cílem této kapitoly je pouze uvedení základního přehledu erozních modelů. Každá kategorie (resp. generace) totiž klade jiné nároky na poskytnutá (zejména morfologická) vstupní data.

Představiteli modelů typu (i) je např. původní model RUSLE 1 (ars.usda.gov, 2004) nebo model RUSLE jako součást GIS IDRISI verze 15 a vyšší (EASTMAN et al., 2009). Představitelem je např. (v ČR často užívaný) model USLE2D (DESMET et al., 1996), nebo rovnice Mitášové (MITASOVA et al., 1996 a 1998). Představiteli modelů typu (iii) jsou např. modely RUSLE 2 (FOSTER et al., 2001), USPED (MITASOVA et al., 1998), WATEM/SEDEM (VAN ROMPAEY et al., 2001; KRÁSA, 2004).

V ČR je v současnosti zřejmě neužívanějším nástrojem model USLE2D, testovaný (v řadě verzí) na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT od roku 1998 a posléze přijatý řadou dalších pracovišť, včetně využití pro současnou verzi státem spravovaného registru zemědělské půdy LPIS. V případě modelu USLE2D je jeho klíčovou výhodou implementace různých možností směrování odtoku při stanovování odtokových ploch, jež umožňuje variantně pracovat s kvalitativně odlišnými DMT.

Lze konstatovat, že pro stanovení rizikových lokalit z hlediska přechodu plošného povrchového odtoku v odtok soustředěný a tedy určení potenciálních profilů výmolné eroze (bez posouzení její formy) postačují (bez použití modelů) základní nástroje mapové algebry, stanovení akumulace odtoku (neboli dílčích povodí, zdrojových ploch, ke každému pixelu) a určení lokálního sklonu DMT. V závislosti na vlastnostech půdy, vegetačním krytu a sklonitosti se jako rizikové ukazují plochy se zdrojovou plochou nepřerušeno odtoku přesahující cca 0,5 až 5 ha.

Pro stanovení skutečných odtokových drah soustředěného odtoku a efemerních rýh je však třeba využít co možná nejpřesnějšího DMT. Současné komerční produkty se při testování ukázaly jako nedostatečné, a to z řady důvodů (nedostatečná podrobnost, výškové odchylky, chybějící hrany, nepřírozené hrany na lomech vstupní trojúhelníkové sítě, chyby operátora při odvození stereoskopického modelu, aj.). V případě perspektivního lidarů (zejména 5G a 1G) bude dle iniciálních testování v řadě případů obtížné najít kompromis mezi nutným vyhlazením (pro získání kontinuity odtoku a odstranění šumu) a přílišným vyhlazením (vedoucím opět ke ztrátě lokálních - nejmenších - údolnicových profilů).

Užitečnými a perspektivními nástroji pro pomoc při lokalizaci rýh jsou také další metody dálkového průzkumu – barevná digitální fotogrammetrie s nejvyšším rozlišením, termovize a radar. Pro metody využití empirických modelů se tak do budoucna, kromě přímého terénního měření, nabízejí zajímavé verifikační nástroje.

6. Opatření proti vodní erozi

Zemědělskou půdu na svazích je třeba chránit před vodní erozí účinnými protierozními opatřeními. O použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje požadované snížení smyvu půdy a nutná ochrana objektů (vodních zdrojů, toků a nádrží, intravilánů měst a obcí atd.) při respektování zájmů vlastníků a uživatelů půdy, ochrany přírody, životního prostředí a tvorby krajiny. Ve většině případů jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, vzájemně se doplňujících a respektujících současné základní požadavky a možnosti zemědělské výroby.

6.1. Organizační protierozní opatření

Základem organizačních protierozních opatření je situování pozemků delší stranou ve směru vrstevnic, zvolení vhodné velikosti a tvaru pozemku a vymezení parcel vhodných ke změně druhů pozemků. Organizační opatření jsou na orné půdě navrhována v součinnosti s ostatními protierozními opatřeními a předpokládají dobrou spolupráci a zainteresovanost hospodařících subjektů.

Zásady ochrany proti vodní erozi organizačními opatřeními vycházejí ze znalosti příčin vzniku erozních jevů a zákonitostí jejich rozvoje a vyúsťují v obecné protierozní zásady:

- včasný termín výsevu plodin,
- výsev víceletých pícnin do krycí plodiny,
- posun podmítky do období s nižším výskytem přívalových dešťů, tzn. na září,
- zařazování bezorebně setých meziplovin,
- rozmístění plodin podle ohroženosti pozemku.

Důležitou roli v protierozní ochraně půdy sehrává vegetační pokryv, který

- chrání půdu před přímým dopadem kapek,
- podporuje vsak dešťové vody do půdy,
- kořenovým systémem zvyšuje soudržnost půdy, která se tak stává odolnější vůči účinkům stékající vody.

Těchto vlastností, které se různí podle typu plodiny, se využívá při výběru organizačních opatření s protierozním účinkem.

6.1.1. Tvar a velikost pozemku

Vhodná velikost pozemku je závislá na několika faktorech a v konkrétních případech je kompromisním výsledkem dvou navzájem protichůdně působících skupin faktorů – tzv. faktorů přírodních, působících k vytváření menších půdních celků a ekonomického faktoru, který naopak upřednostňuje tvorbu pozemků dostatečně velkých.

Mezi tzv. přírodní faktory se řadí především ty, které ovlivňují vznik a průběh erozních jevů. Velikost pozemků je rovněž limitována nutností zabezpečit potřebnou míru ekologické stability. Lokalizace zeleně v terénu a lokalizace protierozních opatření v rámci plánu společných zařízení KPÚ musí být řešena již v rámci vytváření jednotlivých bloků zemědělské půdy. Z toho vyplývá, že dodržet nejvhodnější obecnou velikost pozemku je poměrně obtížné, protože v každém konkrétním případě bude výsledkem zohlednění všech možných vlivů místních podmínek.

Z hlediska protierozní ochrany je žádoucí, aby rozměr pozemku orné půdy ve směru sklonu nepřevyšoval přípustnou délku stanovenou na základě vypočtené přípustné ztráty půdy erozí. Tato podmínka platí jak pro rozměr pozemku obdělávaného jako jeden celek, tak pro skupinu pozemků, oddělených pouze hranicemi, které nejsou schopné zachycovat povrchový odtok.

Při novém návrhu uspořádání pozemků je nutné respektovat i další faktory, jako je homogennost půdních vlastností, mechanizační přístupnost apod. V projektu pozemkových úprav se musí optimálním způsobem spojit protierozní, vodohospodářské, dopravní a vegetační linie vytvářející kostru systému v krajině. V rámci takto pojaté kostry, kde z hlediska protierozní ochrany je rozhodující dodržení přípustných délek svahu, je potom možné vytvářet pozemky vyhovující jejich vlastníkům (uživatelům) a při tom zohledňovat i zásady zaručující efektivní využívání zemědělských strojů. Velikost a tvar pozemku tedy do značné míry určují místní geografické poměry spolu s požadavky na přístupnost pozemků a způsob hospodaření na půdě. Obecně je možné doporučit vytváření půdních bloků o velikosti do 50 ha v rovinných územích a 20 ha ve členitějších územích s převažujícími délkami ve směru vrstevnic.

6.1.2. Delimitace druhu pozemků a ochranné zatravnění a zalesnění

Delimitace druhu pozemků se chápe jako prostorová a funkční optimalizace využití pozemků sloužících k pěstování jednotlivých kultur. Představuje členění v rámci organizace

zemědělského půdního fondu na ornou půdu, zahrady, louky, pastviny, vinice, sady a chmelnice.

Ochranné zatravnění se používá na pozemcích, které z hlediska ztrát půdy erozí nelze využívat jako ornou půdu. Optimálně zapojený travní porost je nejlepší protierozní ochranou. Pro kvalitní vegetační kryt jsou preferovány trávy výběžkaté tvořící pevný drn (zejména u protierozních opatření liniového charakteru).

Trvalými travními porosty by měly být chráněny také plochy:

- podél břehů vodních toků a nádrží (buffer zóny),
- v drahách soustředěného povrchového odtoku,
- profily průlehů a těles ochranných hrázek.

Ochranné zalesnění se nejčastěji uplatňuje jako plošné zalesnění nebo jako ochranné lesní pásy. Dobře zapojený hustý les (optimální je les smíšený) s bohatým bylinným patrem a s půdou krytou mocnou vrstvou hrabanky zajišťuje vysokou protierozní ochranu půdy.

U všech převodů z kategorie luk a pastvin do lesního fondu musí být provedeno vyhodnocení botanického složení porostu příslušným odborným pracovištěm, které rozhodne, zda převod je z hlediska ochrany přírody možný.

6.1.3. Protierozní rozmíst'ování plodin

Základním principem zajišťujícím ochranu půdy proti vodní erozi je pěstování plodin nedostatečně chránících půdu před erozí (okopaniny, kukuřice a ostatní širokořádkové plodiny) na pozemcích rovinných nebo mírně sklonitých.

Na orné půdě středně erozí ohrožené je nutné nedostatečný ochranný účinek širokořádkových plodin zvýšit střídáním vrstevnicových pásů okopanin a víceletých píceň (okopaniny, kukuřice a víceleté píceň ve smíšených honech), zatímco obilninami je možné osévat celé pozemky.

Nejlepší ochranu půdy před erozí poskytují trvalé travní porosty a zalesnění.

Protierozní rozmístění plodin na svazích patří k obecným zásadám ochrany půdy. Při tradičním pěstování lze podle protierozní účinnosti plodiny seřadit od nejvyšší po nejnižší účinnosti v pořadí: travní porosty - jetel - vojtěška - obilnina ozimá - obilnina jarní - řepka ozimá - hrách - plodiny okopaninového charakteru (slunečnice, brambory, cukrovka, kukuřice) a podle toho i rozmíst'ovat plodiny na pozemcích.

Při výsadbě sadů a vinic je z hlediska protierozní ochrany důležité dodržet směr výsadby podél vrstevnic.

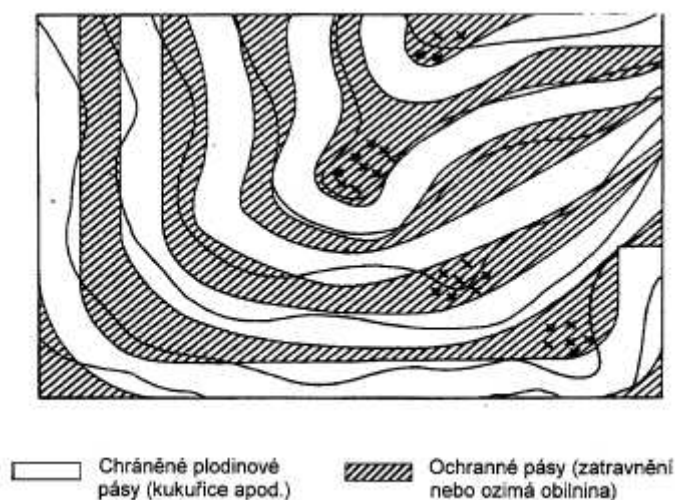
6.1.4. Pásové střídání plodin

Pásovým střídáním plodin je možné omezit ztráty půdy erozí tak, že se střídají pásy plodin chránících půdu (travní porost, jetel, vojtěška, příp. ozimá obilnina, hrách, řepka ozimá) s pásy plodin s nízkým protierozním účinkem (okopaniny, kukuřice).

Šířka pásů je závislá na sklonu a délce svahu, propustnosti půdy, její náchylnosti k erozi a na šířce záběru strojů. Obecně se doporučuje šířka pásů od 20 do 40 m (podle sklonu pozemku). Počet pásů závisí na délce svahu, kterou je možné přerušit průlehy nebo příkopy – viz P-faktor univerzální rovnice.

Vrstevnicové pásy by měly být uspořádány tak, že mezi stejně široké pásy plodin jsou umísťovány zpravidla nestejně široké pásy travních porostů či jetelovin, zajišťující s ohledem na proměnlivý sklon terénu nutnou “opravu” v zájmu zachování stejné šířky plodinových pásů.

Obr. 6.1. Pásové střídání plodin



6.2. Agrotechnická protierozní opatření

Nejvíce podléhá erozi půda bez vegetačního pokryvu. Agrotechnická protierozní opatření jsou proto založena zejména na zkrácení času, kdy je půda bez vegetačního pokryvu, na minimum. K protierozní ochraně půdy lze cíleně využívat posklizňové zbytky plodin a biomasu meziplodin (Obr. 6.2.). Infiltrace vody do půdy by neměla být omezena výskytem

zhutnělých vrstev v půdním profilu. Rizikovým obdobím z hlediska vodní eroze je jednak období tání sněhu a zejména období nejčastějšího výskytu přívalových dešťů (červen – srpen).

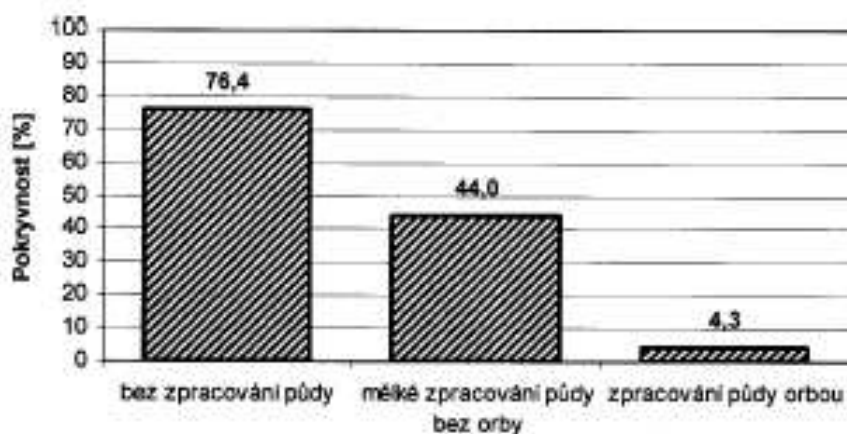
V první třetině tohoto období vykazuje nedostatečnou pokrývnost povrchu půdy kukuřice, slunečnice a okopaniny (brambory, cukrová řepa). Vzhledem k velké výměře orné půdy každoročně osévané kukuřicí je využití účinných agrotechnických protierozních opatření při pěstování této plodiny zvlášť aktuální.

V poslední třetině období výskytu přívalových dešťů jsou ohroženy zejména pozemky připravené pro výsev ozimé řepky. Přínosem k protierozní ochraně může být využití některé z technologií zpracování půdy s ponecháním většího množství posklizňových zbytků, nejčastěji podrcené slámy na povrchu půdy.

Za velmi účinná protierozní opatření jsou považovány technologie ochranného zpracování půdy. V těchto technologiích je využíváno místo orby mělké kypření půdy, ale i hlubší prokypření ornice či části podorničí bez obracení zpracovávané vrstvy půdy (Hůla a kol, 2003).

Rovněž i u technologií s orbou lze přispět k částečnému snížení škod způsobovaných vodní erozí. Při orbě na svažitých pozemcích je nutné dodržet známé pravidlo o jízdách strojní soupravy ve směru vrstevnic (nebo ve směru blízkém směru vrstevnic) a klopení skýv proti svahu, což umožňují oboustranné otočné pluhy. Po orbě k jarním plodinám má význam ponechat přes zimu hrubou brázdu, která může omezit povrchový odtok vody z tajícího sněhu, zejména dodržela-li se zásada vrstevnicové orby.

Obr. 6.2. Pokrývnost povrchu půdy posklizňovými zbytky kukuřice na zrno při uplatnění tří technologií zpracování půdy a setí následné plodiny



6.2.1. Protierozní technologie pěstování kukuřice a slunečnice

Při tradičním pěstování širokořádkových plodin, které nejméně chrání půdu před erozí a mezi něž patří kukuřice, lze na erozně ohrožených pozemcích zajistit nejjednodušší protierozní ochranu zasetím obilních pásů po vrstevnicích. Jde o nouzové opatření, které chrání jen v případě slabšího erozního ohrožení. Pruhy ozimé obilniny se zasejí běžným obilním secím strojem rovnoběžně s vrstevnicemi. Pro toto opatření je vhodný ozimý ječmen, protože po zasetí na jaře nemetá a tím nekonkuruje kukuřici, neboť ta velice špatně odolává v raném stadiu růstu a vývoje ostatním plodinám. Pruhy by měly být zasety s odstupem 20 až 40 m od sebe podle stupně ohrožení pozemku erozí. S rostoucím odstupem nad 20 m se snižuje účinnost tohoto opatření. Ztráta plochy kukuřice vysetím pruhů obilniny a s tím související snížený výnos z pozemku představuje při odstupu pruhů 20 m nejvýše 5 %. Setí obilních pásů je pro zemědělskou praxi nenáročnou záležitostí, znamená sice určité vícenáklady, ale po technické stránce je to opatření jednoduché.

Další možností je současné setí kukuřice a ochranné podplodiny při tradičním zpracování půdy orbou. Ozimé žito se vysévá do každého druhého meziřadí kukuřice. Nedostatkem tohoto postupu je nízká protierozní účinnost po dobu přibližně jednoho měsíce po zasetí. Výrobci přesných secích strojů přídatné zařízení v podobě obilních secích botek pro setí ochranné podplodiny a současně kukuřice dosud nenabízejí. Jinou možností je vysetí ozimé obilniny do nakypřených stop traktoru při setí kukuřice.

Při všech těchto jednoduchých způsobech obdělávání, počínaje orbou přes setí a všechny kultivační práce až po sklizňové práce, by měla být dodržena zásada provádění agrotechnických operací vždy ve směru vrstevnic, nanejvýše s malým odklonem od tohoto směru, pokud to sklon pozemků dovolí.

a) Technologie setí kukuřice do ponechaného strniště s rostlinnými zbytky po sklizni přezimující meziplodiny (např. ozimé směsky sklizené na zeleno) se vyznačuje dobrou protierozní účinností, ale předpokládá se likvidace plevelů použitím neselektivních herbicidů. K tomuto přímému setí kukuřice do strniště je nutný stroj na přesné setí s rotačním zpracováním pouze úzkých pruhů před secími botkami. Meziřadí při tomto setí zůstává nezpracováno a plní protierozní funkci. Tyto secí stroje však nejsou v ČR rozšířené a jsou i méně výkonné. Přímé setí kukuřice do strniště a rostlinných zbytků lze realizovat i secími stroji s kotoučovými secími botkami, doplněnými přířezávacími kotouči, ale jen do půd lehce zpracovatelných.

b) Technologie setí kukuřice a slunečnice do obilní slámy (Obr. 6.3.) předplodiny ponechané na povrchu půdy nebo do mělce zapravené prokypřením kypřičem je snáze realizovatelná. Kukuřice a slunečnice se na jaře vysévá do ponechaného strniště a slámy, která byla rozdrncena a rozptýlena při sklizni obilniny. Výdrol obilniny a vzešlé plevely se likvidují pomocí herbicidů.

c) Technologie pěstování kukuřice a slunečnice ve vymrznuté meziplodině (po obilnině) se vyznačuje vysokou protierozní účinností. Nárůst rostlinné nadzemní hmoty meziplodiny po přemrznutí nejen chrání půdu před erozí, ale poutá i živiny a zabraňuje jejich vyplavování. Během zimy vymrzající meziplodina (hořčice bílá, svazenka vratičolistá) odumře a kukuřice nebo slunečnice se na jaře vysévá do půdy pokryté mulčem vzniklým z porostu meziplodiny. V období před setím kukuřice či slunečnice se aplikují ekologicky přijatelné herbicidy. Tyto herbicidy slouží nejen k potlačení plevelů, ale i k umrtvení meziplodiny zvláště v případě, že nedošlo k jejímu řádnému přemrznutí. Při všech způsobech setí do mulče je třeba počítat také s tím, že může po zasetí nastat období přísušku a dojde ke zpožděnému vzcházení plodiny. Je zde i riziko nerovnoměrného vzejití plodiny z nedostatku vláhy, kdy v tomto případě při nepřemrznutí meziplodiny a jejím dodatečným umrtvením totálním herbicidem se mulč z meziplodiny nepřiměřeně vysuší.

Obr. 6.3. Setí širokořádkové plodiny bez jarní předsetové přípravy půdy – jízdy ve směru vrstevnic přispívají k ochraně půdy před vodní erozí



Přímé setí přesným secím strojem do přemrzlé meziplodiny a ponechaných rostlinných zbytků poskytuje nejvyšší protierozní ochranu. Technologie je však vhodná jen pro půdy s dobrou strukturou, půdy nezhutnělé a snadno zpracovatelné. Při přímém setí do mulče rostlinné zbytky ležící na povrchu půdy mohou ucpávat prostory mezi secími botkami. Z toho důvodu se musí použít přesný secí stroj s kotoučovými secími botkami. Přímé setí do mulče kotoučovými botkami je nejvhodnější provést v době, kdy jsou přemrznuté rostlinné zbytky již odumřelé a rostliny meziplodiny dostatečně vysušené.

Zařadí-li se před setí kukuřice nebo slunečnice do přemrzlé meziplodiny a ponechaných rostlinných zbytků celoplošné mělké prokypření povrchové vrstvy půdy, sníží se tím zčásti protierozní účinek meziplodiny.

Technologie je založena na náhradě orby podmínkou na střední hloubku, provedené radličkovým nebo talířovým kypřičem. Po podmítce může následovat kypření půdy dlátovým kypřičem do hloubky srovnatelné se střední, případně hlubší orbou, ale bez obracení zpracované vrstvy půdy. Kypření dlátovým kypřičem je alternativním zásahem pro případ potřeby zpracování zhutnělé vrstvy v půdním profilu. Zpracování půdy je třeba uskutečnit co nejdříve po sklizni předplodiny (nejčastěji obilniny), aby bylo možné včas zaset rychle rostoucí mezipločinu – hořčici bílou, řepku olejnou nebo svazenku vřatičolistou.

Je-li při zpracování půdy využita pouze podmínka (neuskuteční se kypření dlátovým kypřičem), je vhodné spojit podmínku se zasetím meziplodiny. Lze využít radličkový nebo talířový kypřič doplněný o jednoduchý secí stroj bez secích botek. Jiným řešením, zejména po kypření dlátovým kypřičem, je zasetí meziplodiny v samostatné pracovní operaci. Protierozní účinek lze zvýšit ponecháním podrcené a rozptýlené slámy obilniny na povrchu půdy.

Na jaře je třeba počítat s aplikací neselektivního herbicidu. Aplikace herbicidu může být spojena s hnojením kapalnými minerálními hnojivy. Následnou operací je setí kukuřice secím strojem pro přesné setí do mulče – viz Obr. 6.4. Při setí se mohou podpovrchově aplikovat minerální hnojiva, která v půdě nesmí přijít do styku s osivem. U secích strojů je možná záměna zásobníků na kapalná minerální hnojiva za zásobníky na granulovaná tuhá minerální hnojiva, s čímž souvisí i použití jiných pracovních nástrojů pro zapravení těchto hnojiv do půdy. Jestliže se sláma předplodiny sklízí a odváží, nabývá na významu protierozní účinek vymrzající meziplodiny. Pro uplatnění protierozní funkce odumřelé biomasy na povrchu půdy v době vegetace kukuřice je vhodné regulovat plevel v kukuřici herbicidy. Plečkováním by se protierozní účinek snižoval.

Při pěstování kukuřice i dalších širokořádkových plodin se považuje za perspektivní zpracování půdy v pásech (strip tillage). Kypří se pouze pruhy v místech budoucích řádků plodiny, v meziřádkách zůstává půda bez zpracování – pro vyšší protierozní účinnost je vhodné, aby v meziřádkách byl mulč. Tato technologie se ověřuje i při pěstování řepky v řádkách s větší roztečí, než je dosud pro řepku obvyklé.

Obr. 6.4. Stroj na přesné setí kukuřice do mulče vybavený prořezávacími kotouči a dvoukotoučovými secími botkami s omezovači hloubky setí



6.2.2. Protierozní technologie pěstování řepky ozimé a obilnin

Protierozní opatření při pěstování řepky ozimé jsou potřebná zvláště při tradičním zpracování půdy v období před zasetím. Při přípravě půdy pod ozimou řepku, zvláště při jejím jemném zpracování, může docházet při přívalových deštích k erozním škodám. Jedním ze způsobů protierozní ochrany půdy je setí ozimé řepky do mulče secím strojem s kotoučovými secími botkami. Jako mulč může být použit desikovaný (chemicky umrtvený) porost jílku jednoletého (strniště).

Pracovní postupy s využitím mělké podmítky jsou použitelné rovněž při zakládání porostů ozimé řepky, kdy nejčastější předplodinou je obilnina, zpravidla pšenice. Předpokladem je kvalifikovaná regulace plevelů a vzešlého výdrolu předplodiny herbicidy v porostu řepky. V poslední době se ve větší míře využívá středně hluboké zpracování půdy k ozimé řepce. Uplatňuje se nová generace kypřičů, které prokypřují ornici a připravují set'ové lůžko pro osivo řepky. Vhodnou volbou pracovních nástrojů těchto kypřičů lze docílit ponechání mulče

na povrchu půdy. Předpokladem kvalitního zasetí řepky v této technologii je využití vhodného secího stroje pro setí do mulče.

a) Setí ozimé obilniny po obilnině nebo řepce s využitím mělké podmítky

I když obilniny, zvláště ozimé, řadíme do skupiny plodin s dobrou protierozní ochranou, je při vyšší ohroženosti pozemku (vyšší sklonitost, délka svahu atd.) účelné použít technologii s mělkým zpracováním půdy, při které je maximum rostlinných zbytků předplodiny ponecháno na povrchu půdy. Aby se docílilo ponechání rostlinných zbytků na povrchu půdy při prokypření povrchové vrstvy půdy, které má charakter mělké podmítky, lze doporučit použití kypřičů vybavených podřezávacími šípovými radličkami, které mají snížený mísicí účinek – rostlinné zbytky nejsou promíseny se zeminou a zůstávají na povrchu půdy. Podmítka se uskuteční co nejdříve po sklizni předplodiny, aby se uplatnily známé účinky kvalitní včasné mělké podmítky, jako je: vytvoření podmínek pro vzejití výdrolu předplodiny (technologické ztráty při sklizni sklízecí mlátičkou, u řepky i případné ztráty semene výdrolu před sklizní) a semen plevelů. Často se využívá opakované mělké kypření půdy před setím.

Pro setí obilnin po mělké podmítce je možné využít secí stroje pro setí v postupech minimálního a půdoochranného zpracování půdy. Jedná se o secí stroje s jednokotoučovými i dvukotoučovými secími botkami, šípovými radličkovými botkami, případně botkami dlátovými. Všechny tyto secí stroje mají v současnosti účinné omezovače hloubky setí, které spolu s regulovatelným přitlakem na botky umožňují dodržet požadovanou hloubku setí i při proměnlivých podmínkách stavu půdy (různý odpor vůči vnikání botek do půdy). Výrobci secích strojů dodávají vybavení pro podpovrchové zapravení minerálních hnojiv pod lůžko osiva – je možné dávkovat jak tuhá minerální hnojiva, tak hnojiva kapalná. Secí stroje této skupiny jsou vybaveny i válci pro zlepšení kontaktu osiva s půdou.

Časté je použití neselektivních herbicidů před setím k potlačení plevelů a vzešlého výdrolu předplodiny. Chce-li se posílit protierozní účinek, je možné využít ochrannou protierozní funkci vzešlého výdrolu, který se před setím následné plodiny umrtví neselektivním herbicidem. Seje se tak, aby odumřelé mladé rostliny předplodiny zůstaly na povrchu půdy.

b) Zvýšení protierozního účinku pracovních postupů

U postupů zakládání porostů ozimých obilnin po řepce nebo po obilninách a ozimé řepky po obilnině lze protierozní účinek zvýšit rozdrcením slámy předplodiny a jejím rovnoměrným rozptýlením po povrchu pozemku – sláma nesmí zůstat v pruzích. Za předpokladu mělkého

zpracování půdy a setí tak, aby sláma byla v minimální míře zapravena do půdy, slouží sláma po zasetí k ochraně půdy před nepříznivými účinky intenzivních srážek na půdu. Při zařazování obilnin po obilninách je však třeba počítat se zvýšeným rizikem přenosu houbových chorob.

Při setí je nutné dbát na to, aby sláma nebyla zatlačena do půdy a omezilo se riziko ukládání osiva na slámu. Lze využít již uvedené secí stroje s jednokotoučovými secími botkami, jejichž kotouče odhrnují část slámy stranou, takže sláma není ve větší míře zatlačována do půdy. Další možností jsou secí stroje s podřezávacími šípovými radličkovými botkami, které ukládají osivo do pásů, aniž by vnášely podrcenou slámu do půdy. Jiným technickým řešením je využití kotoučových krojidel předřazených dvoukotoučovým secím botkám. Alternativou je použití dlátových secích botek, které snadno pronikají do půdy a nevnašejí posklizňové zbytky do setíového lůžka. Pro zlepšení rovnoměrnosti pokrytí povrchu půdy podrcenou slámou lze využít tzv. mulčovací brány nebo prutový kypřič k ošetření pozemků po sklizni sklízecí mlátičkou, šikmo ke směru jízdy sklízecí mlátičky.

c) Setí jarních obilnin a luskovin po obilnině nebo řepce bez orby s využitím strniskové meziplodiny

Zkrátit období, ve kterém je půda bez vegetačního pokryvu, je možné při využití pracovního postupu s podmínkou bezprostředně po sklizni předplodiny a založením porostu meziplodiny. Protierozní efekt se zvýší, jestliže se podmínka uskuteční některým z kypřičů, které ponechávají většinu posklizňových zbytků na povrchu půdy. Dalším přínosem v tomto směru je využití podrcené a rozptýlené slámy předplodiny ponechané na povrchu půdy. Před podmínkou lze aplikovat minerální hnojiva.

Výhodným řešením je zasetí meziplodiny současně s podmínkou – soudobé kypřiče využívané jako podmítače umožňují doplnění o jednoduchý secí stroj, kterým je možné zajistit výsev meziplodiny současně s podmínkou a využít tak vláhu pro klíčení osiva meziplodiny a pro vzcházení porostu. Jiným řešením je zasetí meziplodiny v samostatné pracovní operaci po podmítce s minimálním časovým odstupem. Kombinaci ponechání podrcené slámy na povrchu půdy a rychlého založení porostu meziplodiny lze považovat za výhodnou z hlediska ochrany půdy před erozí v letním období s výskytem přívalových dešťů.

Na jaře je půda do určité míry pokryta rostlinnými zbytky. Před setím hlavní plodiny je zpravidla nutné aplikovat neselektivní herbicid k potlačení plevelů, vzešlého výdrolu předplodiny, případně k umrtvení rostlin meziplodiny, pokud neodumřely vlivem

mrazů. Pro zachování protierozního účinku lze doporučit zasetí jarního ječmene secím strojem, který minimálně narušuje mulč na povrchu půdy. Setí lze spojit se zapravením minerálních hnojiv pod lůžko osiva. Výhodou strniskové meziploidy je rovněž ochrana povrchové vrstvy půdy před narušováním půdní struktury v době podzimních dešťů.

6.2.3. Protierozní technologie při pěstování brambor

Při pěstování brambor lze snížit působení eroze nahrazením orby kypřením, čímž se zajistí dostatečné množství rostlinného materiálu na povrchu půdy a do zkypřeného mulče se na jaře sázejí brambory. Uvedený postup se doporučuje aplikovat na svahy o sklonu nejvýše do 5 %. V rámci rotace osevního postupu se doporučuje alespoň jedenkrát za 4 až 5 let zpracovat půdu orbou, která má nezastupitelný odplevelující a zúrodňující význam.

a) Mulčování slámou se využívá po obilní předplodině. Mulč z ponechané slámy a strniště kryje pozemek přes zimní období a zabraňuje jarní erozi. Při mulčování slámou z předplodiny je nutné dbát na rovnoměrné rozprostření posklizňového materiálu po povrchu pozemku. Z jara se aplikuje kvalitní kejda a minerální dusík podle množství slámy. Před výsadbou se půda zpracovává kypřením. Významná je i skutečnost, že se šetří výrobní náklady přibližně o 10 %. Při sázení brambor do meziploidy zaseté na podzim se k jarní přípravě půdy využívá kypření kypřičem s pasivními pracovními nástroji před vlastní výsadbou brambor. U pěstovaných brambor se meziplodina dostatečně zredukuje postupnými oborávkami. Jednou z dalších možností je výsadba brambor po zkypření půdy s porostem žita. Dobrý protierozní účinek ve srovnání s tradičním pěstováním lze očekávat při sázení brambor do meziploidy zaseté na podzim.

b) Sázení brambor do zaoraného jetele jako předplodiny je z protierozního hlediska velmi výhodné. Množstvím zbylé organické hmoty vytváří příznivou strukturu půdy, která se odráží ve snížení půdních ztrát. V malovýrobních podmínkách, kde jsou brambory pěstovány jako doplňková plodina lze zařadit sled jetel – brambory do osevního postupu a zajistit tak účinnou protierozní ochranu půdy.

c) Hrázkování meziřadí brambor omezuje možnost vzniku povrchového odtoku vytvořením akumulačních prostorů pro zachycení odtékající vody přímo na pozemku. Pěstitelský postup je shodný s klasickým, avšak bezprostředně po výsadbě a při kultivačních zásazích se provádí hrázkování meziřadí speciálním strojem - hrázkovačem. Nahrnuté hrázky napříč v meziřadí mohou zadržet na sklonitém pozemku odtok vody z dešťů o úhrnech 25–35

mm. Hrázkování pozemků se osvědčilo na svazích s maximální délkou 300 m. Hrázkovač není dosud sériově vyráběn.

6.2.4. Protierozní technologie při pěstování cukrovky

Cukrová řepa je poškozována vodní i větrnou erozí zvláště v raném stadiu vývoje, tedy v době vzcházení. Zejména je ničena větrnou erozí na lehkých půdách, kdy klíčící rostlinky jsou přesekávány unášenými písčitými zrny. V krajním případě dochází i k odvátí osiva, případně k úplnému zničení mladých rostlinek. K zamezení těchto škod se používá výsev cukrové řepy do mulče z vymrzajících mezipločin svazanky vratičolisté a hořčice bílé přesným secím strojem s kotoučovými secími botkami. Důležitou zásadou, kterou je nutno dodržet před setím mezipločin, je urovnání povrchu půdy. Před vlastním setím cukrovky se osvědčilo jarní mělké prokypření vymrznuté mezipločiny krouživými branami. To je důležité nejen z hlediska kvalitního zasetí osiva cukrovky, ale i částečné likvidace plevelů. Pro bezpečnou likvidaci plevelů je nutná aplikace ekologicky vhodného neselektivního herbicidu. Je také možné i od použití tohoto herbicidu ustoupit a při nízkém výskytu plevelů se spolehnout na mechanický účinek krouživých bran.

6.2.5. Protierozní ochrana chmelnic

Ohrožení půdy vodní erozí při pěstování chmele je způsobeno tím, že půda ve chmelnicích je nejméně chráněná v raném stadiu růstu, bezprostředně po zavedení výhonů, které nechrání povrch půdy před působením dešťových kapek. Chmel vyžaduje intenzivní obdělávání a častými pojezdy při této činnosti se půda mezi řadami zhutňuje a dochází ke snížení vsaku vody do půdy a k snazšímu vzniku povrchového odtoku a smyvu půdy. Častým mělkým kypřením vzniká nakypřená svrchní vrstva půdy, která může být snadno smývána povrchově odtékající srážkovou vodou, která neprosákne spodní utuženou vrstvou půdy. Ke snížení eroze při pěstování chmele se doporučuje nové chmelnice nezakládat na erozně ohrožených částech svahu a v případě nutnosti řady zakládat (pokud je to možné) rovnoběžně s vrstevnicemi. Je třeba zajistit zvýšený přísun organické hmoty do půdy formou chlévského hnoje, mezipločin a posklizňových zbytků pro zvýšení tvorby humusu. Nutné je omezit zpracování půdy a hloubkové kypření na podzim a využít systému zeleného hnojení. Dobré zkušenosti jsou se zasetím ozimé řepky nebo ozimého žita mezi řady chmele.

6.3. Technická protierozní opatření

Technická opatření se navrhují jako základní prvek komplexního systému protierozních opatření zejména na pozemcích, kde nepříznivé důsledky povrchového odtoku ohrožují zastavěnou část obce. Jejich základní účinnost se zvyšuje v kombinaci s protierozními opatřeními organizačního a agrotechnického charakteru. Optimálním návrhem prostorového rozmístění liniových záchytných prvků technických opatření dojde ke snížení hodnoty faktoru délky svahu L . Jsou navrhovány tak, aby svou lokalizací (vedle funkce přerušení délky svahu a rozčlenění pozemků) usměrňovaly směr obdělávání pozemků a způsob hospodaření zemědělských subjektů. Vhodným rozčleněním svahu je možné do těchto prvky vymezených pásů situovat různé kultury, v důsledku čehož dojde nejen ke snížení hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace C , ale také ke snížení průměrné hodnoty čísla CN v daném sběrném území.

Vedle uvedených základních funkcí mají spolu s doprovodnou dřevinou zelení význam i z hlediska krajiny estetického a ekologického. Systém liniových technických protierozních prvků v kombinaci se zelení může fungovat v krajině i jako významná součást územních systémů ekologické stability krajiny.

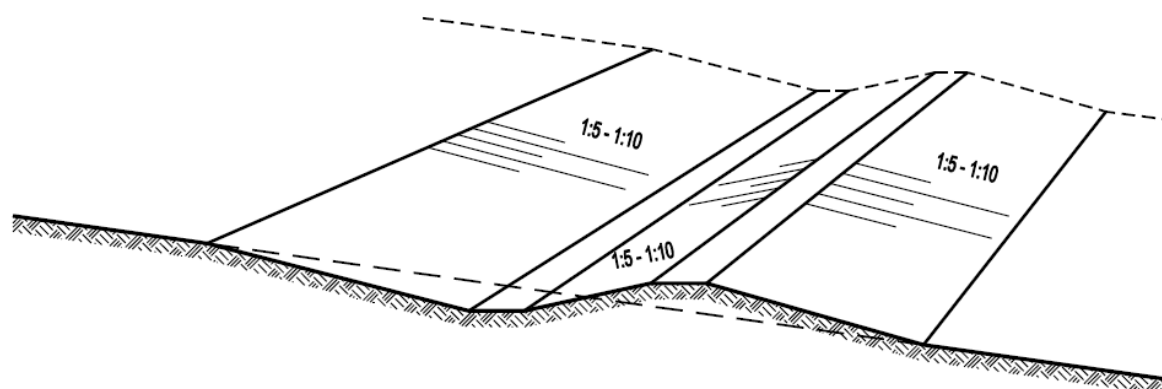
Komplexní systém ochranných opatření v povodí se navrhuje a realizuje zpravidla v rámci procesu pozemkových úprav.

Mezi technická protierozní opatření zahrnujeme:

- Protierozní průlehy
- Protierozní příkopy
- Protierozní hrázky
- Protierozní meze
- Stabilizace drah soustředěného odtoku
- Ochranné nádrže
- Terasování

6.3.1. Protierozní průlehy

Průleh je mělký, široký příkop (Obr. 6.5.) s mírným sklonem svahů, založený zpravidla s malým podélným sklonem, kde se povrchově stékající voda zachycuje a je neškodně odváděna. Podle funkce protierozní průlehy rozdělujeme na záchytné a svodné.



Obr. 6.5. Vzorový příčný řez záchytným průlehem

A) Sběrné a záchytné průlehy

Navrhují se na pozemcích o sklonu do 15 % zpravidla zatravněné. Jejich záchytná funkce je kombinována s funkcí odváděcí. Jsou zaústěny do svodných příkopů, průlehlů či do stabilizovaných údolnic.

Varianty záchytných průlehlů:

- se zatravněným pásem,
- se sedimentačním pásem,
- s doprovodnou hrázkou,
- s vegetačním doprovodem.

B) Svodné průlehy

Navrhují se pro neškodné odvedení odtoku ze záchytných průlehlů, z krátkodobě trvajících přívalových dešťů nebo náhlého tání sněhu.

Orientační parametry protierozních průlehlů:

- střední profilová rychlost – pro zatravněné průlehy je $1,5 \text{ m.s}^{-1}$
- příčný profil – parabolický, příp. lichoběžníkový, sklon 1 : 10 až 1 : 5.
- max. hloubka – 100 cm.
- min. hloubka – 30 cm.
- podélný sklon do 3 % u záchytných průlehlů, u svodných průlehlů podle sklonu terénu při dodržení maximální profilové rychlosti do $1,5 \text{ m.s}^{-1}$.

Dimenzování průlehlů se provádí pro dané N leté průtoky na základě hydrotechnických a hydraulických výpočtů.

6.3.2. Protierozní příkopy

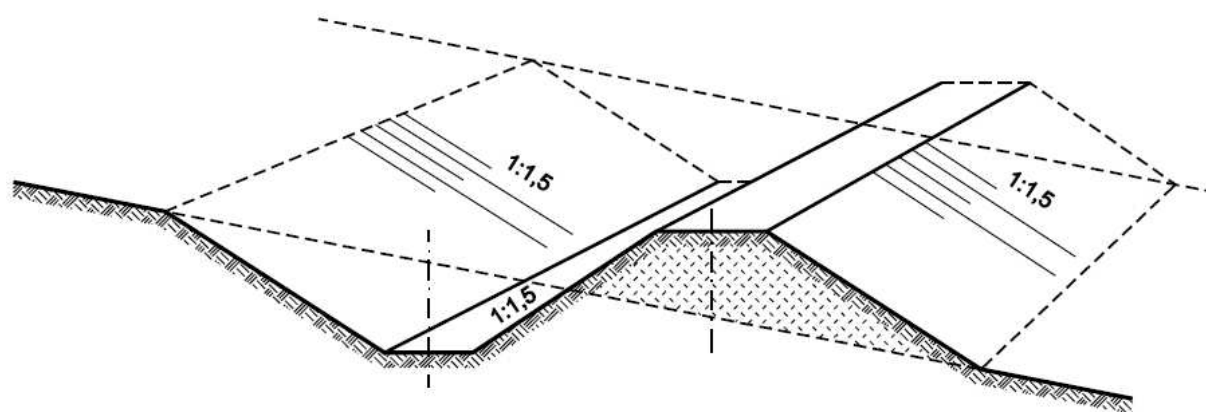
Protierozní příkopy se zpravidla navrhují pro neškodné zachycení a odvedení vody při ochraně zastavěného území obce.

A) Příkopy sběrné a záchytné

Budují se nad chráněným územím v místech, kde je nebezpečí při odtoku z výše ležících ploch (jak zemědělských, tak nezemědělských).

Varianty sběrných a záchytných příkopů:

- se zatravněným pásem,
- se sedimentačním pásem,
- s vegetačním doprovodem.



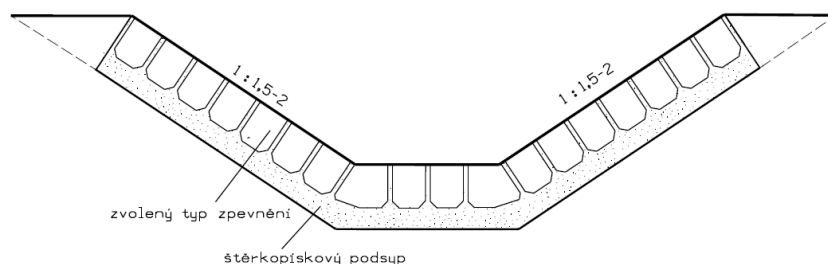
Obr. 6.6. Vzorový řez záchytným příkopem

B) Příkopy svodné

Slouží k odvádění odtoku a transportovaných splavenin. Jsou situovány zpravidla s vyšším podélným sklonem a proto jsou zpravidla zpevněny. Druh zpevnění se volí podle hodnot tečného napětí.

Orientační parametry příkopů:

- podélný sklon do 3 %, u svodných příkopů podle sklonu terénu a druhu zpevnění
- sklony svahů – 1 : 1,5 až 1 : 2,
- max. délka – 800 m,
- max. hloubka – 100 cm,
- min. hloubka – 40 cm.



Obr. 6.7. Vzorový řez svodným příkopem

Dimenzování příkopů se provádí pro dané N leté průtoky na základě hydrotechnických a hydraulických výpočtů.

Návrh základních parametrů liniových technických protierozních opatření

Liniová technická protierozní opatření (průlehy a příkopy) se dimenzují na základě návrhových N -letých průtoků s využitím základních hydraulických vztahů. Při navrhování příčného profilu a sklonu je nutno zajistit neškodné odvedení návrhových kulminačních průtoků s pravděpodobností výskytu min. $N=10$ let nebo individuálně podle stupně ochrany zájmového území.

Při dimenzování liniových technických prvků počítáme pro daný kulminační průtok Q při daném sklonu nivelety koryta I a navržených drsnostních poměrech n šířku v koruně B a hloubku průtočného profilu h při známém tvaru (nepravidelný lichoběžník, pravidelný lichoběžník) o navrženém sklonu svahů $1 : m$.

Z hlediska účelu navrhovaného profilu koryta jsou stanoveny předpoklady:

- hloubka h nesmí přesáhnout určitou hodnotu (většinou $h < 1,0$ m),
- šířka ve dně b nesmí překročit určitou hodnotu,
- průtočná profilová rychlost nesmí překročit, vzhledem k navrženému opevnění koryta, dovolenou nevymílací rychlost.

Podle těchto předpokladů stanovíme dle konkrétní situace maximální možné hodnoty h , příp. v a vypočítáme potřebnou plochu průtočného profilu F :

$$F = \frac{Q}{v} \quad [\text{m}^2] \quad (6.3.1)$$

Následně, na základě příslušného vztahu pro plochu lichoběžníka, příp. trojúhelníka, vypočteme potřebné parametry průtočného profilu a na jejich základě posoudíme průtočnost stanoveného profilu, např. u lichoběžníka platí pro šířku koryta ve dně b , průtočnou plochu F a omočený obvod O vztahy:

$$F = h \cdot (b + m \cdot h) \quad (6.3.2)$$

$$b = \frac{F - h^2 \cdot m}{h} \quad (6.3.3)$$

$$O = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2} \quad (6.3.4)$$

Doporučený postup

1. Pro daný zvolený profil se provede výpočet hydraulického poloměru:

$$R = \frac{F}{O} \quad (6.3.5)$$

2. Na základě R a Mannigova drsnostního koeficientu pro navržený stav koryta se stanoví rychlostní koeficient c podle Mannigova vztahu:

$$c = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} \quad (6.3.6)$$

3. Dosadí se do Chezyho rovnice $v = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$ a vypočítá se střední profilová rychlost pro navržený průtočný profil.
4. Vypočítá se průtok $Q_v = F \cdot v$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].
5. Porovná se, zda $Q_v = Q$.
6. Nevyhovuje-li vypočtené průtokové množství Q_v požadavku stanoveného kulminačního průtoku Q , je nutno výpočet opakovat po úpravě příslušné hodnoty h či jiných parametrů průtočného profilu.
7. Vyhovuje-li $Q_v = Q$, posoudí se střední profilová rychlost pro navržený způsob opevnění koryta.
8. Nevyhovuje-li, změní se úpravou trasy podélný sklon nivelety koryta a případně některý z parametrů průtočného profilu koryta (b , $1 : m$, h).
9. Vyhovují-li všechny parametry navrženého průtočného profilu koryta, vypočítá se šířka v koruně B .
10. Vypočtená šířka B (příp. podle potřeby zvětšenou) se vynese do mapy.

6.3.3. Stabilizace drah soustředěného povrchového odtoku

Přirozené nebo upravené dráhy soustředěného povrchového odtoku (mající charakter průlehu) zpevněné vegetačním krytem, jsou schopny bezpečně, bez projevů eroze odvést povrchový odtok, ke kterému dochází v důsledku morfologické rozmanitosti krajiny, zejména na příčně zvlněných pozemcích, v úžlabinách a údolnicích v době přívalových dešťů nebo jarního tání, kdy soustředěně po povrchu odtékající voda v těchto místech zpravidla způsobuje erozní rýhy. Optimální ochranou těchto exponovaných míst je vegetační kryt, nejlépe zatravnění.

Zásady navrhování stabilizace drah soustředěného povrchového odtoku

K identifikaci drah soustředěného odtoku lze využít hydrologických extenzí GIS. Získané analýzy jsou upřesněny terénním průzkumem zpravidla po výskytu přívalové srážky či po náhlém tání sněhu. Kapacita přírodních profilů je většinou vyhovující, pouze je třeba definovat rozsah zatravnění.

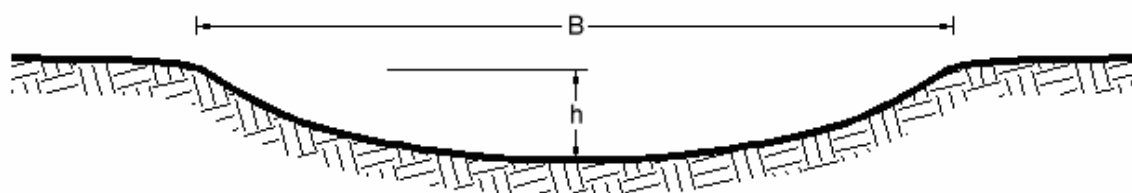
Potřebná šířka zatravnění údolnice B [m] se stanoví na základě znalosti střední profilové rychlosti vody v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], návrhového kulminačního průtoku Q_m [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], podélného sklonu údolnice I [%] a hloubky vody ve středu údolnice h_m [m]. V některých případech však může být přirozený příčný profil nedostatečný a je nutné jej upravit. Při navrhování tvaru příčného profilu musí být brán v úvahu především požadavek funkčnosti. Velmi dobře lze zobecnit optimální příčný profil parabolou s malou hloubkou (Obr. 6.8.). Je to nejběžnější tvar nejvíce odpovídající přírodně vymodelovaným vodním cestám. Snižuje pravděpodobnost meandrování a eroze koryta a nejsnadněji se realizuje dostupnou technikou. V případě potřeby je možná úprava příčného profilu stabilizované dráhy soustředěného odtoku do tvaru lichoběžníkového (Obr. 6.9).

K návrhu odpovídajících parametrů zatravněných údolnic potřebujeme znát hydrologické podklady a hydraulické parametry, na základě kterých navrhujeme parametry průtočné plochy příčného profilu, jakož i potřebu opevnění (Obr. 6.10.).

Parametry:

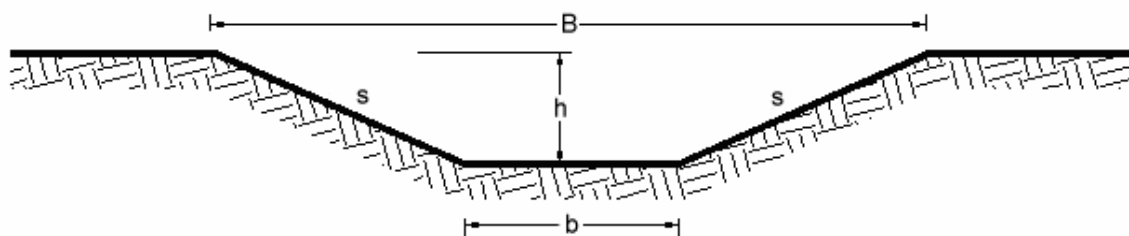
- S - průtočná plocha parabolického profilu zatravněné údolnice,
- B - šířka profilu zatravněné údolnice při hloubce h ,
- b - šířka profilu zatravněné údolnice ve dně při hloubce $h=0$,
- h - hloubka profilu zatravněné údolnice,
- s - sklon svahu zatravněné údolnice.

$$S = \frac{2}{3} \cdot B \cdot h, \quad B = 1,5 \cdot A/h \quad (6.3.7)$$

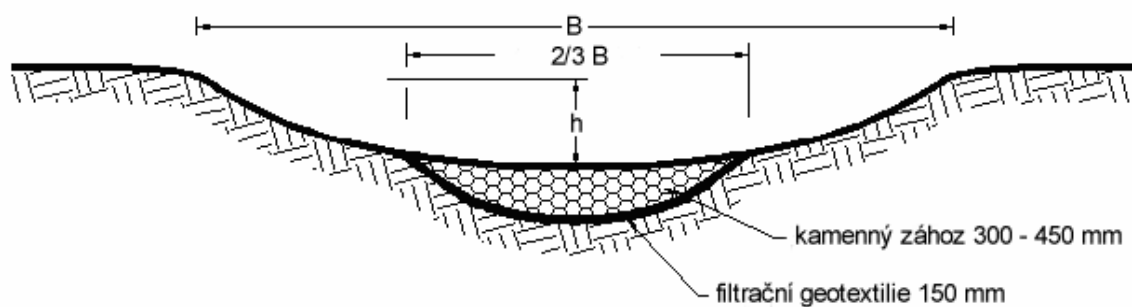


Obr. 6.8. Parabolický profil zatravněné údolnice

$$S = b \cdot h + (s \cdot h)^2, \quad B = b + 2 \cdot h \cdot s \quad (6.3.8)$$



Obr. 6.9. Lichoběžníkový profil zatravněné údolnice



Obr. 6.10. Parabolický profil zatravněné údolnice se zpevněným dnem kamenným záhozem

Vegetační kryt údolnice ovlivňuje rychlost pohybu vody v údolnici. Kořenový systém v závislosti na své hustotě a kvalitě zpevňuje půdu a redukuje odnos půdních částic. Ochranný účinek trav proti vodní erozi spočívá především v útlumu kinetické energie, ve snížení rychlosti a množství povrchově stékající vody projevující se ve snížení její vymílací a transportní schopnosti a také v mechanickém zpevnění půdy kořenovým systémem.

Některé příklady travních směsí použitelných v zatravněných údolnicích jsou uvedeny v následujících tabulkách:

Tab. 6.1. Směs s vysokým protierozním účinkem, vhodná na stanoviště s dostatkem vláhy, dobře zásobené živinami

DRUH	%	kg osiva na 100 m ²
Lipnice luční	40	0,40
Kostřava červená výběžkatá	25	0,40
Kostřava červená trsnatá	15	0,23 – 0,30
Jílek vytrvalý	20	0,30

Tab. 6.2. Směs s vysokým protierozním účinkem, vhodná na stanoviště sušší, s nižší zásobou živin

DRUH	%	kg osiva na 100 m ²
Kostřava luční	20	0,24 – 0,40
Kostřava červená výběžkatá	35	0,53
Kostřava červená trsnatá	15	0,23 – 0,30
Jílek vytrvalý	15	0,23
Lipnice luční	15	0,15

Tab. 6.3. Směs s vysokým protierozním účinkem, vhodná na stanoviště ve vyšších polohách s drsnějšími klimatickými podmínkami

DRUH	%	kg osiva na 100 m ²
Kostřava červená výběžkatá	40	0,60
Kostřava červená trsnatá	35	0,53 – 0,70
Jílek vytrvalý	10	0,15
Lipnice luční	15	0,15

Tab. 6.4. Směs s vysokým protierozním účinkem, vhodná na stanoviště ve vysokých polohách s drsnými klimatickými podmínkami

DRUH	%	kg osiva na 100 m ²
Kostřava červená výběžkatá	30	0,45
Kostřava červená trsnatá	30	0,45 – 0,60
Jílek vytrvalý	10	0,15
Lipnice luční	10	0,10
Psineček tenký	20	0,12

6.3.4. Protierozní hrázky

Protierozní hrázky (Obr. 6.11.) se budují na pozemcích ve směru vrstevnic a na úpatí svahů zemědělských pozemků především k ochraně důležitých objektů před zatopením povrchovou vodou z přívalových srážek a zanesením produkty eroze - erozními smyvy. Prostor před hrázkou a výška hrázky musí vyhovovat potřebě retence vody, včetně objemu usazených erozních smyvů. Hrázky se budují převážně jako zemní, nejvýše 1 m až 1,5 m vysoké, opevněné zatravněním. Hrázky musí být vybaveny vypouštěcím zařízením, které zajistí odtok relativně čisté vody po usazení půdních částic před hrázkou a zachycení plovoucích předmětů ochrannou mříží osazenou před vypouštěcím zařízením. Osvědčilo se osazení česlové stěny na betonovou skruž (Obr. 6.12). Jakmile usazená zemina dosáhne okraje skruže, na stávající skruž se osadí další.

Ochranné hrázky se s výhodou budují místo málo účinných tzv. vrstevnicových mezí a nebo kde by v důsledku malého sklonu docházelo k zanášení příkopů a průlehů.



Obr. 6.11. Protierozní hrázka nad obcí Dolní Brusnice



Obr. 6.12. Součást výpustného zařízení: prefabrikovaná česlová stěna, která zamezuje zanesení a zahlcení potrubí(zdroj: <http://www.contechcpi.com/Products/StormwaterManagement/Treatment/StormRax.aspx>)

Umístění a parametry hrázky

Hrázky se rozdělují na přejezdné a nepřejezdné, se širokou nebo úzkou základnou. Přejezdné hrázky mají minimální sklon svahů 1: 5. Záchytné hrázky mají nulový podélný sklon, odváděcí hrázky mohou mít podélný sklon do 10%. Hrázky dále dělíme na hrázky s úzkou základnou a širokou základnou. Hrázky s úzkou základnou mají základnu širokou 80 – 150 cm, sklon svahů 1 : 1,5, výšku 15 až 30 cm a jsou nepřejezdné. Budují se na lehkých propustných půdách na svazích o sklonu do 8%.

Hrázky s širokou základnou mají základnu širokou 2 m až 4 m, sklon svahů min. 1 : 5, výšku až 90 cm a jsou přejezdné. Nacházejí uplatnění na svazích s vyšším sklonem (až do 15%). Obvyklá délka hrázek je 300 m – 450 m.

Soustavy hrázek na orné půdě

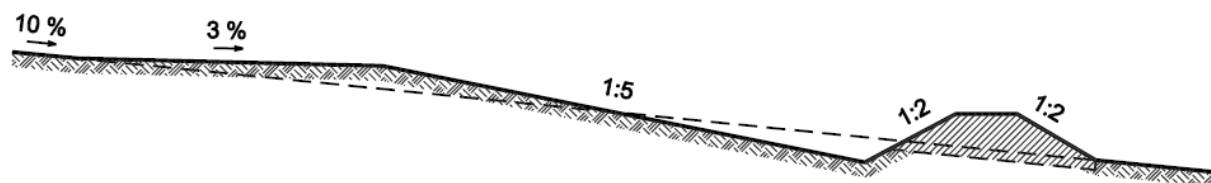
V sušších oblastech na dobře propustných půdách nacházejí uplatnění vsakovací (vrstevnicové) hrázky. Vsak vody do půdy je možné podpořit podélnou drenáží. V oblastech s vyšším úhrnem srážek a těžkými půdami se používají hrázky odváděcí. Hrázky se často budují v kombinaci s průlehem. Území mezi hrázkami se obdělává paralelně s hrázkami (viz. Obr. 6.13.).



Obr.6.13. Realizované protierozní hrázky

Návrh a výstavba hrázky

K výpočtu parametrů hrázky se používají hydrologické a hydraulické výpočty. Území je třeba předem geodeticky zaměřit. Na hrázku se doporučuje používat materiál nahnatý na místě a hutněný. Před výstavbou se sejme 20 cm ornice. Vzorový příčný řez ochranné hrázky viz. Obr. 6.14.



Obr. 6.14. Vzorový příčný řez ochranné hrázky

Dimenzování hrázek

Záchytné hrázky

Záchytné hrázky se dimenzují tak, aby zachytily celý objem odtoku a splavenin z N-leté návrhové srážky (podle potřeby zabezpečení daného území), mají nulový podélný sklon.

Postup návrhu:

1. Zjištění N – letých 24 hodinových úhrnů srážek z tabulky: Hodnoty maximálních denních úhrnů pro stanice na území ČR s pravděpodobností opakování za N let podle Gumbelovy statistiky extrémů dle Šamaje, Valoviče a Brázdila in JANEČEK M., VÁŠKA J. (2001): Hydrologické výpočty v protierozní ochraně půdy. Doporučený standart technický. Informační centrum ČKAIT, Praha.
2. Výpočet objemu odtoku z povodí metodou CN křivek (nebo pomocí hydrologických simulačních modelů)
3. Návrh výšky hrázky na základě terénu, sklonu pozemku, sklonu návodního svahu hrázky a objemu odtoku z povodí

Svodné hrázky na úpatí svahu

Svodné hrázky na úpatí svahu se dimenzují tak, aby bezpečně odvedly odtok z N – leté návrhové srážky.

Postup návrhu:

1. Zjištění N–letých 24 hodinových úhrnů srážek z tabulky: Hodnoty maximálních denních úhrnů pro stanice na území ČR s pravděpodobností opakování za N let podle Gumbelovy statistiky extrémů dle Šamaje, Valoviče a Brázdila in JANEČEK M., VÁŠKA J., (2001): Hydrologické výpočty v protierozní ochraně půdy. Doporučený standart technický. Informační centrum ČKAIT, Praha

2. Výpočet kulminačního průtok v místě zaústění hrázky do svodného příkopu (viz. kapitola 2.1.2 kulminační průtok nebo pomocí hydrologických simulačních modelů)
3. Návrh rozměrů hrázky na základě terénu, sklonu pozemku, sklonu návodního svahu hrázky a kulminačního průtoku

Soustava záchytných hrázek na orné půdě

Postup návrhu:

1. Výpočet dlouhodobé průměrné ztráty půdy při stávající struktuře pěstovaných plodin.
2. Výpočet přípustné délky pozemku. Vzdálenost mezi hrázkami musí být menší, než je přípustná délka pozemku.
3. Výpočet objemu odtoku z povodí metodou CN křivek (nebo pomocí hydrologických simulačních modelů)
4. Návrh výšky hrázek na základě sklonu pozemku, sklonu návodního svahu hrázky a objemu odtoku z povodí

Hrázky (přehrážky v údolnicích)

Je možno se setkat s případy, kdy zatravněná údolnice případně strž svádí vodu z rozsáhlého zemědělsky nebo i lesnický využívaného povodí do svodného příkopu nad intravilánem, který pak ústí do nedostatečně kapacitní obecní kanalizace. Pokud je zvýšení kapacity potrubí těžko realizovatelné, je možné napříč údolnicí resp. strží vybudovat přehrážky se zpevněnými vývřišti, které zadrží část objemu vody a sníží přítok vody do kanalizace.



Obr. 6.15. Srubová přehrážka z dřeva a kameniva se zpevněným dopadištěm ve strži u obce Spáňov (Domažlicko) zadržuje vodu a snižuje odtok vody do obecní kanalizace.

Přehrážky se dimenzují na zachycení objemu odtoku vody z povodí vyvolaného deštěm s dobou opakování podle potřeby zabezpečení území, nad kterým se přehrážka buduje.

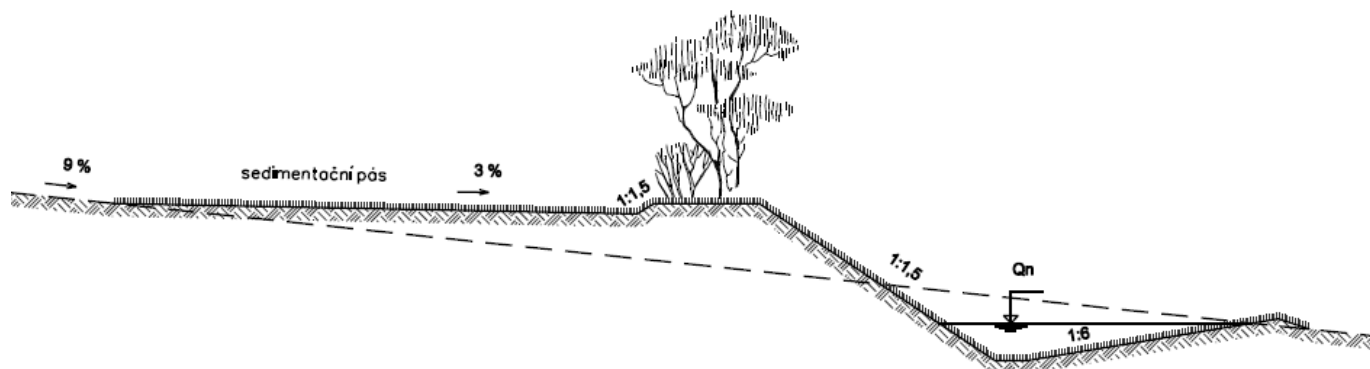
K orientačnímu určení potřebné velikosti prostoru nad přehrážkou je možné použít nomogram na Obr. 6.19. se dvěma poměry: kulminačního odtoku ke kulminačnímu přítoku (Q_o/Q_{pH}) a objemu nadržení k objemu přítoku (V_s/O_{pH}) viz. kapitola protierozní nádrže.

6.3.5. Protierozní meze

V zájmu zvýšení účinnosti mezí by měly být složeny ze tří základních částí: zasakovacího pásu nad mezí, vlastního tělesa meze a odváděcího průlehu pod mezí. Protierozní meze, navrhované s průlehy ve své spodní části jsou trvalou překážkou soustředěného povrchového odtoku. V případě návrhu bez průlehů, by měly být do těchto prvky vymezených pásů situovány různé plodiny či kultury – viz. pásové střídání plodin.

Protierozní mez pokud by se navrhovala by měla být podle sklonu svahu vysoká nejvýše 1–1,5 m, ve sklonu 1 : 1,5, zatravněna a případně osázena doprovodnou zelení. Takovéto protierozní meze se navrhují v podélném sklonu 2–5 % s napojením na svodný prvek, např. příkop, průleh, stabilizovanou dráhu soustředěného odtoku, stabilizovanou strž apod. Přetíná-li však protierozní mez údolnicí s nepříliš rozsáhlým sběrným územím, je možné zajistit odvádění vody místní terénní urovnávkou, případně vložím vhodného vtokového objektu v kombinaci s patřičně dimenzovaným flexibilním svodným drénem.

Doprovodný průleh pod tělesem meze se provádí ve sklonu 20 % k mezi. Je dimenzován podle potřeby na zvolený N-letý návrhový průtok. Zasakovací a sedimentační pás nad mezí se zatravní v minimální šířce 6 m.



Obr. 6.16. Vzorový příčný řez - protierozní meze

6.3.6. Terasování

Terasování umožňuje využívat pozemky, které pro velký sklon a členitost by nebylo možno současnými formami zemědělské výroby jinak efektivně využívat. Terasování na svažitých pozemcích slouží ke zmenšení jejich velkého sklonu terénními stupni, k rozdělení svahu na úseky, aby povrchový odtok nedosáhl nebezpečného erozního účinku a ke zlepšení využití mechanizace. Terasy jsou vždy značným zásahem do geologie, geomorfologie, pedologie i biologie krajiny a mohou narušit přirozené ekologické mechanismy, jejichž rozsah lze i dnes těžko předvídat. Z toho důvodu je nutno brát terasy jako krajní řešení protierozní ochrany. Terasy je nutno provádět pouze v nejnutnějším rozsahu a je třeba dbát na co největší zachování a respektování alespoň části přirozeného terénu a krajinného rázu.

Celková plocha teras musí být navržena tak, aby tvořila tvar, který optimálně vyhovuje využití teras i okolních pozemků, umožňuje komunikační přístupnost pro mechanizaci a umožňuje vodohospodářské řešení (odvodnění, závlahy). Lokalita teras se skládá z terasových plošin a terasových svahů (Obr. 6.17.) s doplněním nezbytných doprovodných objektů.

Legenda ke schématu:

(1)=terasová plošina (T_p)

(2)= pata terasy (P_t)

(3)= hrana terasy (H_t)

(4)= svah terasy (S_v)

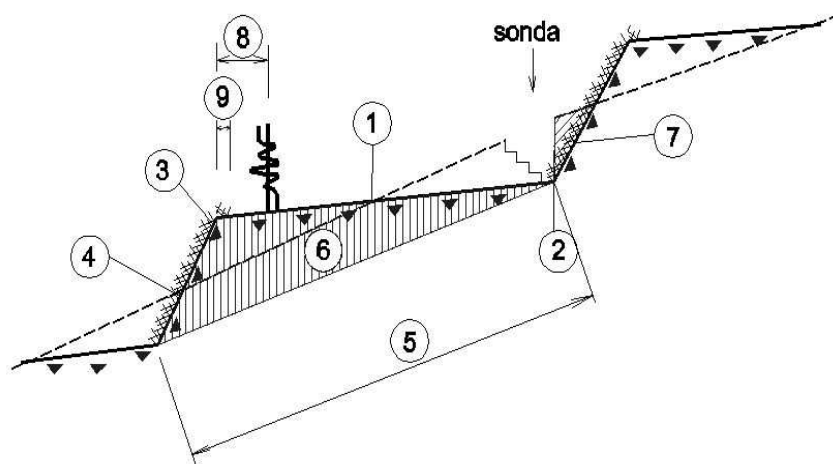
(5)= rozchod teras (R_t)

(6)= tělo terasy

(7)= narušený půdní profil (h)

(8)= okraj terasy (O_t)

(9)= okrajový pás (O_p)



Obr. 6.17. Schéma uspořádání zemních teras

Podle šířky terasové plošiny rozdělujeme zemí terasy na úzké (1–3 řady speciální kultury) a široké (více jak tři řady). Parametry terasové plošiny jsou dány její šířkou, příčným a podélným sklonem.

Podélný sklon se doporučuje 1 až 3 %, kdy většinou nedochází k odtoku, ale srážky zasáknou, případně částečně odtékají nesoustředěně po celé ploše teras, při příčném sklonu terasové plošiny pozitivním a nulovým.

Konce teras mohou být v případě nutnosti ve větším sklonu až do 7 %, výjimečně až 12 %, v maximální délce určené přípustnou délkou svahu za předpokladu zajištění bezpečného odtoku povrchové vody.

Výška svahu závisí na původním sklonu terénu, příčném sklonu a šířce plošiny, sklonu svahu, půdně-ekologických podmínkách, zpevnění, údržbě, požadavcích krajinářských, ekologických a dalších faktorech. Maximální výška terasového stupně se doporučuje 8 m, optimální je 6 m.

Největší sklon svahu s výškou terasového stupně do 1,5 m (výjimečně do 2,5 m) je 1:1. U vyšších svahů zpravidla 1:1,25 až 1:1,5 podle výsledků pedologického a geologických průzkumů.

Terasové svahy jsou zpravidla zpevněny vegetačně. Základem zpevnění je osetí směsí travního semene. Osetí je možno provést tradiční metodou, po předchozím ohumusování

svahů (rozprostření ornice), nebo hydroosevem. Travní směs musí být navržena podle pěstebních podmínek zájmového území. Zatravnění je možné doplnit skupinovou výsadbou keřů a stromů.

Součástí teras mohou být doprovodné objekty:

Bermy (lavičky) v terasových svazích sníží plynulou výšku terasového svahu. S výhodou se používají průjezdné lavičky (nejmenší šířka 4,00 m), které jsou víceúčelové. Příčný sklon je pozitivní 3 až 7 %, podélný odpovídá sklonu teras a je 1 až 5 %.

Obratiště slouží k otáčení mechanizace. Šířka obratiště u běžné mechanizace je zpravidla 12 m.

Protismykové zářezy zajistí lépe stabilitu násypových částí teras zpravidla v údolnicích nebo pod vysokými násypy, hlavně při velkých podélných přesunech zeminy. Většinou se navrhují jako zářez se sklonem svahu 1 : 1,5 a pozitivním sklonem plošiny 5 %.

Drenážní odvodnění se navrhuje k úpravě vodního režimu podzemní vody. Drenáž se navrhuje jako sporadická, k zachycení jednotlivých vývěrů vody nebo skluzných vrstev.

Protierozní příkopy a průlehy chrání terasy před vnější povrchovou vodou nebo zajišťují bezpečný odtok povrchové vody uvnitř terasové plochy (voda vnitřní), zpravidla současně s doplňkovou protierozní funkcí příkopů.

Cesty jsou navrhovány zpravidla s přibližnou osou terasové plochy, nejčastěji podél paty svahu, s hlavní funkcí dopravní a obslužnou. Sjezdy a výjezdy na terasy nebo z teras navazují na síť cest, kdy celá terasová plošina je pod nebo nad úrovní nivelety cesty. V tom případě se navrhuje podélný sklon výjezdu nebo sjezdu do 12 %, výjimečně 15 %.

Stabilita terasového svahu se počítá jako rovnováha podél smykové plochy. Doporučuje se počítat u svahů vyšších než 6 m, pokud geologický průzkum neurčí jinak. Výpočet stability svahu vyžaduje odebrání neporušených vzorků zeminy ze svahu a jeho podloží a jejich laboratorní zkoušky. Pro přibližné řešení stačí směrné hodnoty fyzikálních a mechanických veličin, zejména úhlu vnitřního tření a součinitele soudržnosti.

6.3.7. Protierozní nádrže

Protierozní nádrže se navrhují jako účinná opatření k akumulaci, retenci, retardaci a infiltraci povrchového odtoku a k usazování splavenin. Navrhují se nejčastěji ve formě závěrečných prvků systému protierozní a protipovodňové ochrany v kombinaci s jinými prvky protipovodňové ochrany nejčastěji v rámci společných zařízení pozemkových úprav,

kdy dojde k optimálnímu řešení vlastnických vztahů:

Tyto nádrže mohou být navrhovány jako suché ochranné protierozní nádrže, které slouží ke krátkodobému zachycení povrchového odtoku a splavenin nebo se stálým vodním obsahem a vymezeným sedimentačním a retenčním prostorem. Hlavními objekty zpravidla jsou: hráz, výpustné zařízení, výpust', bezpečnostní přeliv a nápuštný objekt.

Jednou ze základních podmínek pro návrh a realizaci ochranných nádrží jsou vhodné geomorfologické a geologické podmínky v území pro vytvoření jejich odpovídajícího akumulačního prostoru a situování hráze. Návrh ochranné nádrže, která může být průtočná nebo boční, musí vycházet z komplexního posouzení hydrologických, morfologických a geologických poměrů. Ochranný prostor nádrže zajišťuje transformaci povodňového průtoku.

Při navrhování protierozních nádrží je nutné, aby jejich záchytný prostor byl tak kapacitní, aby byl schopen zadržet stanovený objem vody odtékající z přívalového deště nebo jarního tání. Při navrhování, výstavbě, rekonstrukci a provozu je třeba postupovat v souladu s ČSN 75 2410. Ochranné nádrže se obvykle budují jako homogenní zemní konstrukce, jejichž potřebné parametry jsou stanoveny v rámci návrhu. Každá ochranná nádrž musí být navržena a realizována takovým způsobem, aby zatížení, která budou na ni působit, neměla za následek destrukci celé stavby nebo poškození části stavby následkem deformace její konstrukce. Příslušná opatření pro tento účel, týkající se sypaných zemních hrází malých vodních nádrží, tedy i hrází ochranných nádrží, obsahuje ČSN a příslušná technická doporučení. Konstrukce zemní hráze musí být včetně jejího podloží filtračně stabilní a průsakovou vodu je třeba bezpečně a kontrolovatelně odvést. Jednotlivé části hráze i celé její těleso s podložím musí mít patřičnou statickou a deformační stabilitu, hráz musí být zajištěna proti přelití a porušení, jednotlivé části i celá hráz musí mít co nejdelší životnost. Zátapa nádrže by měla být dostatečně vodotěsná a svahy zátopy stabilní při zatížení vodou. Výchozím podkladem pro návrh zemní hráze je geotechnický průzkum v místě hráze a v zátopě nádrže. Zpracování návrhu zemní hráze pak vyžaduje dobré znalosti a zkušenosti v oboru hydrauliky, geotechniky a statiky.

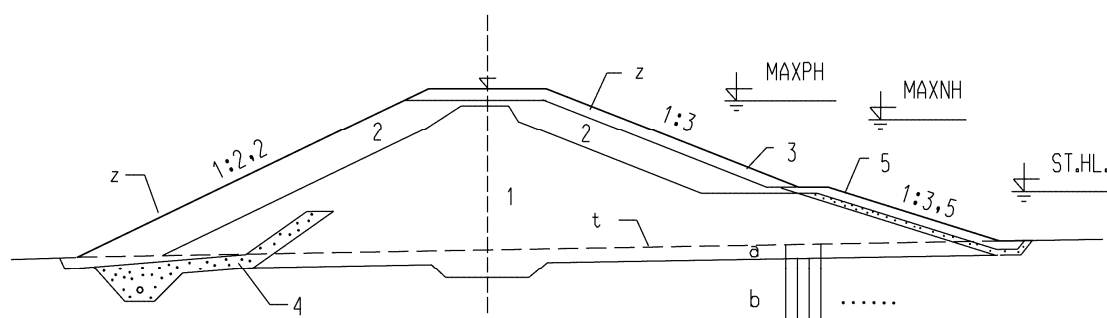
Občasné zatápění zemní hráze vodou se všeobecně uznává za nepříznivé, vyžadující zvláštní pozornost. Jílovité zeminy v tělese hráze u suché nádrže vysychají, smršťují se a vytvářejí průběžné příčné trhliny. Z technických opatření, která přispívají k omezení tohoto jevu, je možné uvést zřizování lícových zón z nekohezní, hrubozrnnější zeminy s ohumusováním a zatravněním a drenážní koberce na vzdušné části hráze pro zachycení a odvedení průsakové vody zmíněnými smršťovacími trhlinami. Další porušování sypaných

hrází z jílovitých zemin způsobují hlodavci. Tomu zabráňují lícové vrstvy z hrubozrnného, nejlépe kamenitého materiálu. Zmíněné porušování tělesa zemní hráze vyžaduje pravidelnou kontrolu, zejména v suchém období a utěšňování trhlin a otvorů.

V našich geologických podmínkách nečiní obvykle větší potíže získat pro výstavbu zemní hráze dostatek nepropustné zeminy. Z toho důvodu a také proto, že zemní hráze suchých ochranných nádrží se navrhují převážně do výšky 6 m je možné je navrhovat jako homogenní. Požadavky na zeminu pro tento typ hráze předepisuje příslušná ČSN. Drenážní systém na vzdušné straně hráze je nejlépe volit z tříděného říčního štěrkopísku se zrnitostí dle požadavků příslušné ČSN, aby byla zaručena nutná filtrační stabilita.

Zásady pro založení konstrukcí funkčních objektů (výpustné a přelivné objekty) jsou rovněž uvedeny v ČSN. Při projektování je nutné, aby jejich záchytný prostor byl tak velký, aby byl schopen zadržet objem vody odtékající z přívalového deště nebo jarního tání s průměrnou dobou opakování alespoň 50 let.

Součástí řešení musí být úpravy dotčených liniových staveb, zejména polních cest, podzemních a nadzemních sítí, úpravy v zátopovém území, včetně přístupových komunikací k funkčním objektům i do záplavového prostoru, včetně zajištění přístupu těžkých zemních strojů pro odstraňování sedimentů.



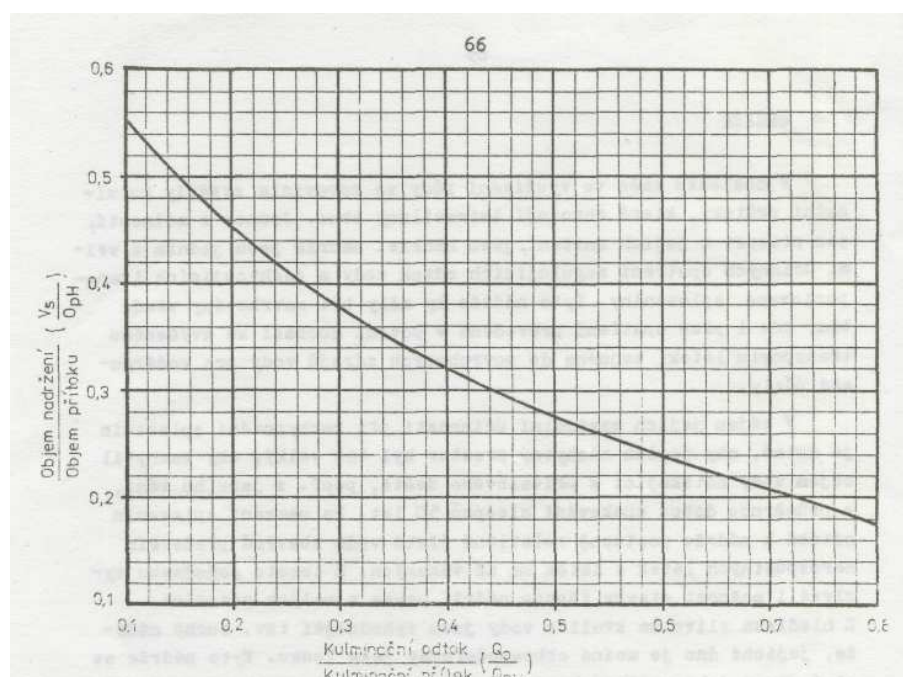
a - humózní hlína, b - jíly, l - hladina podz.vody, t - terén, z - zatravnění, 2 - nenamrzavá zemina, 3 - kamenivo 63 mm, 4 - štěrkopískový drenážní koberec se svodným drénem, 5 - pohož z lomového kamene s podsypem

Obr. 6.18. Vzorový řez zemní hráze

Pro navrhování, výstavbu, rekonstrukci a provoz nádrží s celkovým objemem větším než 5000 m³ je závazná ČSN 75 2410 "Malé vodní nádrže". Hydrologické podklady musí být

podle ČSN 75 13 00 „Hydrologické údaje povrchových vod“ zpracovány nebo ověřeny ČHMÚ.

Z hlediska návrhového pak jde o odhad účinku dočasného zdržení vody v nádrži na velikost kulminačního průtoku, resp. ke stanovení požadovaného objemu nadržení V_s nebo průtoku při kulminačním odtoku Q_o . K tomu účelu je orientačně možné použít grafu na Obr. 6.19. se dvěma poměry: kulminačního odtoku ke kulminačnímu přítoku Q_o/Q_{pH} a objemu nadržení k objemu přítoku V_s/O_{pH} .



Obr. 6.19. Nomogram k určování retenčního objemu nádrže

Je-li určen maximálně přípustný odtok Q_o daný průtočnou kapacitou kritických profilů v intravilánu, je možné zjistit potřebný objem nadržení V_s následovně:

Postupem uvedeným v předcházejících kapitolách se určí kulminační průtok Q_{pH} z povodí. Z nomogramu na Obr. 6.19. se podle poměru Q_o/Q_{pH} odečte poměr V_s/O_{pH} . Objem přítoku O_{pH} v m^3 se určí z H_o ze vztahu:

$$O_{pH} = 1000 \cdot P_p \cdot H_o \quad (6.3.9)$$

Kde:

P_p je plocha povodí v km^2 .

H_o je výška přítoku v mm - viz. metoda CN (Janeček a kol, 2004)

Potřebný objem nadržení se pak vypočte ze vztahu:

$$V_s = O_{pH} \left[\frac{V_s}{O_{pH}} \right] \quad [\text{m}^3] \quad (6.3.10)$$

Obdobně lze postupovat při zjišťování velikosti kulminačního odtoku Q_o , je-li stanoven maximální objem nádrže V_s . Tvar křivky na Obr. 6.19. je závislý na hydraulice odtokového zařízení, objemu přítoku a tvaru přítokového hydrogramu.

Vzhledem k tomu, že výstavba těchto nádrží je nákladnou záležitostí, je výhodné spojit jejich protierozní funkci s protipovodňovou, případně s dalším jejím účelovým využitím, které však nesmí být s touto funkcí v protikladu.

7. Větrná eroze

Větrná eroze je přírodní jev, při kterém vítr působí na půdní povrch svou mechanickou silou, rozrušuje půdu a uvolňuje půdní částice, které uvádí do pohybu a přenáší je na různou vzdálenost, kde se po snížení rychlosti větru ukládají. Pohyb půdních částic při větrné erozi může probíhat ve třech formách:

- pohyb nejjemnějších půdních částic ve formě suspenze, které jsou větrem zvedány a přenášeny na velké vzdálenosti; vznikají tak prašné bouře;
- pohyb půdních částic skokem, při němž dochází k přemísťování největšího množství půdní hmoty;
- pohyb půdních částic sunutím po povrchu půdy, kterým se pohybují větší a těžší částice.

K první a druhé fázi dochází působením turbulentního proudění přízemního větru s energií, jež je schopna překonat gravitační síly půdních částic. Třetí fáze nastává při poklesu energie pod uvedenou mez.

Rozhodující složkou větrné eroze je vítr, jeho unášecí síla je závislá na rychlosti větrného proudu, době trvání a četnosti i výskytu větrů. K pohybu půdních částic stačí někdy i malé rychlosti větru, ale nejsilnější erozní účinky nastávají při silných výsušných a dlouhotrvajících větrech na holých plochách. Z dalších klimatických činitelů jsou pro větrnou erozi významné srážky a teplota vzduchu.

Důležitým faktorem ovlivňujícím průběh větrné eroze je stav a povaha půdy a odpor půdních částic. Ten je dán, kromě velikosti a tvaru částic, především strukturou a vlhkostí půdy, drsností půdního povrchu a rostlinným krytem, který sehraává rozhodující roli při ochraně půdního povrchu před dynamickými účinky větru. Významná je také délka erodovaného území. Čím je delší území ve směru působení větru, tím se uvolňuje větší množství půdních částic. Z toho vyplývá, že přerušením délky území se zmenšuje intenzita deflace, což je možné dosáhnout např. výsadbou ochranných lesních pásů.

Větrnou erozí jsou ohroženy zejména lehké písčité půdy, především na jižní Moravě a v Polabí. Specifické je působení větrné eroze v oblastech s těžkými půdami (oblast pod Bílými Karpatami - Bánov, Suchá Loz a na Litoměřicku - Klapý). Půdy v těchto územích mění silně svou strukturu vlivem povětrnostních podmínek, zejména v zimním období vlivem mrazu a následným suchem v jarních měsících. Vlivem silných výsušných větrů, které jsou pro tyto oblasti typické, pak dochází zejména v jarních obdobích k výskytu větrné eroze až prašným bouřím; zejména v okolí Bánova a Suché Lozi vznikají prachové závěje vysoké až několik

metrů, dochází k zanášení příkopů cest a koryt vodních toků. Vítr a prach v ovzduší působí obtíže obyvatelům místních obcí.

7.1. Výpočet erodovatelnosti půdy větrem

Přírodní faktory prostředí podmiňující větrnou erozi ovlivňují náchylnost půdy k větrné erozi, která se označuje termínem erodovatelnost. Erodovatelnost lze stanovit buď jako potenciální, která je pro danou lokalitu s určitými danými podmínkami typická (charakteristická), nebo jako skutečnou (aktuální) erodovatelnost, kterou lze přímo pozorovat a měřit v terénu. Vzhledem k tomu, že ke stanovení skutečné erodovatelnosti půdy větrem je potřeba znát okamžité hodnoty rychlosti větru a vlhkosti půdy (platí jen pro daný okamžik), mluvíme o stanovení skutečné okamžité (aktuální) erodovatelnosti půdy. Pro návrhové a projekční práce v ochraně před větrnou erozí postačí stanovení potenciální erodovatelnosti půdy větrem.

Pro stanovení potenciální větrné eroze půdy je možno využít vztah, v němž je erodovatelnost jednotlivých druhů půd závislá na obsahu jílnatých částic:

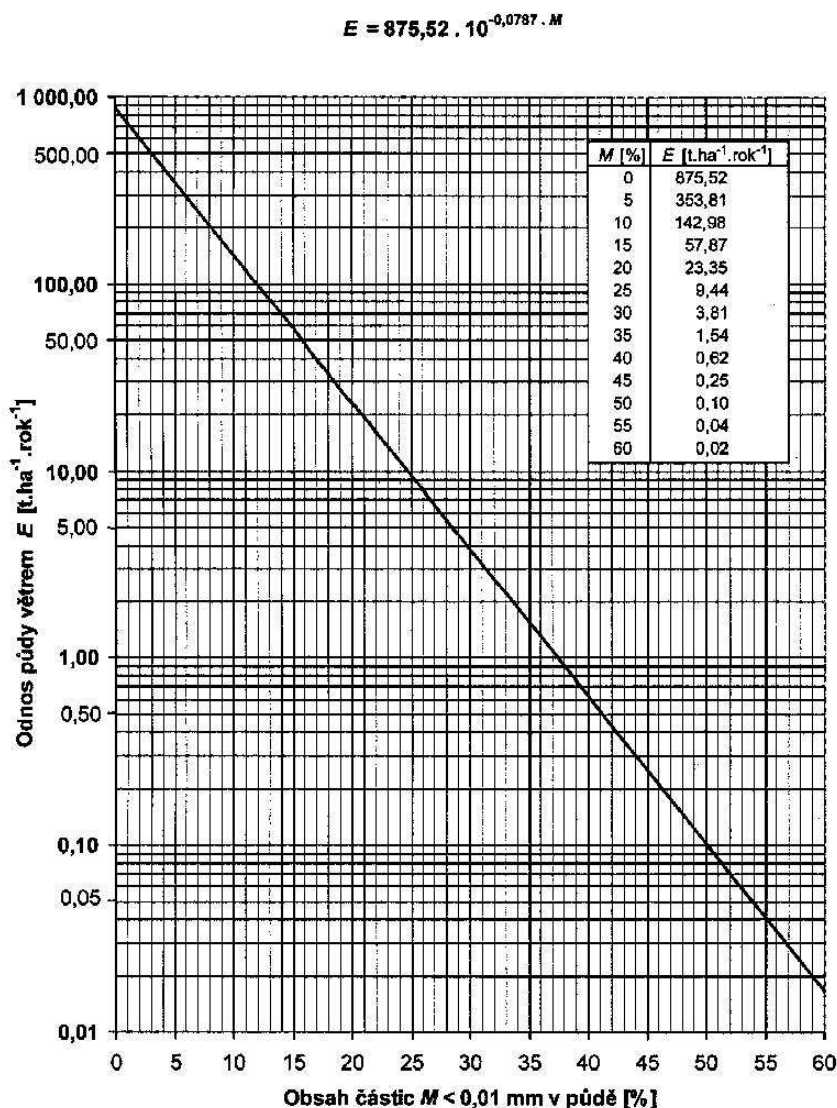
$$E = 875,52 \times 10^{-0,0787M} \quad /7.1/$$

kde: E je erodovatelnost půdy větrem ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$),

M obsah jílnatých částic v půdě (%).

Tento vztah byl odvozen na základě výzkumů v aerodynamickém tunelu z hodnot odnosu půdy v $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ za dobu 15 minut při rychlosti větru $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro praktické stanovení potenciální větrné eroze půdy byl ve vztahu zahrnut předpoklad, že erozi způsobují větry, které se vyskytují 4 dny v roce (2 dny na jaře a 2 dny na podzim, kdy půda není chráněna vegetací). Vztah je vyjádřen nomogramem erodovatelnosti půdy větrem (Obr. 7.1).

Obr. 7.1. Nomogram pro určení erodovatelnosti půdy větrem



Pro určení přípustného odnosu půdy větrem lze použít hodnoty přípustné ztráty půdy, používané pro posouzení ohroženosti vodní erozí. Uvedenou rovnici lze použít pouze pro stanovení intenzity větrné eroze na lehkých půdách (na půdách s nízkým obsahem jílnatých částic). Doposud totiž neexistuje způsob výpočtu, kterým by bylo možno stanovit intenzitu větrné eroze na půdách těžkých. V současnosti známé rovnice jsou založeny na předpokladu, že se větrná eroze na půdách s vyšším obsahem jílnatých částic nevyskytuje.

Na základě laboratorních výzkumů mechanismu rozpadu půdních agregátů vlivem nízkých teplot, terénních měření teploty a vlhkosti půdy a teploty vzduchu a statistickými analýzami získaných údajů byla sestavena následující rovnice:

$$NEF_K = -14,09 + 0,49NEF_P - 0,43V - 1,02FT - 1,34FD + 0,62M \quad /7.2/$$

kde: NEF_K výsledný obsah neerodovatelné frakce větší než 2 mm po vystavení několika

cyklům procesu FT/FD (%),

NEF_P počáteční obsah neerodovatelné frakce větší než 2 mm před působením procesu FT/FD (%),

FT počet cyklů procesu zmrznutí – rozmrznutí půdy,

FD počet cyklů procesu vysušení půdy mrazem,

V vlhkost půdy v době zmrznutí (% obj.),

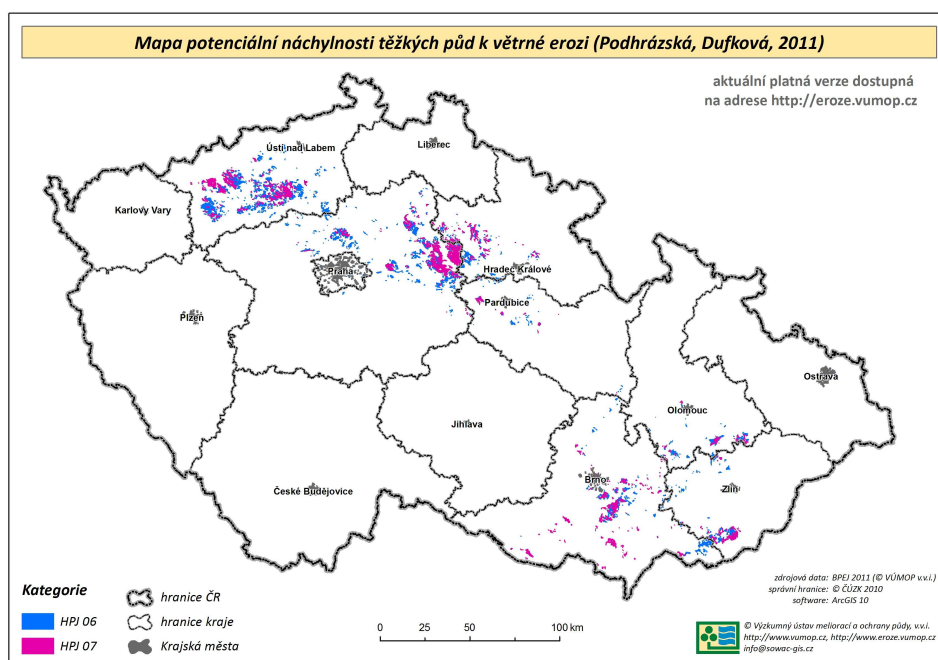
M obsah jílnatých částic v půdě (%).

Pokud povrchová vrstva půdy obsahuje méně než 40 % neerodovatelné frakce, stává se podle CHEPILA (1951) vysoce náchylnou k větrné erozi.

Uvedená rovnice sice neumožňuje stanovení konkrétního množství oderodované půdy, avšak na základě vypočítaného obsahu neerodovatelné frakce půdy a předpokladu 40% hranice erodovatelnosti, dokáže alespoň přibližně určit, zda těžká půda vystavená několika cyklům přemrznutí bude v jarním období náchylná k odnosu větrem či nikoliv.

Vzhledem k tomu, že laboratorní simulace rozpadu půdních agregátů vlivem nízkých teplot a terénní měření teploty a vlhkosti půdy a teploty vzduchu probíhají i nadále, předpokládá se postupné zpřesnění stanovení obsahu neerodovatelné frakce o další faktory, které by mohly mít vliv na rozpad půdních agregátů, resp. na erodovatelnost půdy a v dalším kroku i zobecnění rovnice pro ostatní půdní druhy.

Pro vyjádření plošného rozsahu a lokalizace těžkých půd, náchylných za daných klimatických podmínek k větrné erozi, byla sestavena mapa těžkých půd potenciálně náchylných k větrné erozi (Obr. 7.2.)



Obr. 7.2. Mapa těžkých půd potenciálně náchylných k větrné erozi

7.2. Organizační opatření proti větrné erozi

Základem organizačních opatření je uspořádání pozemků, výběr kultur podle náchylnosti k větrné erozi a jejich delimitace. Na velkých půdních blocích lze k zmírnění eroze využít pásové střídání plodin.

a) Výběr pěstovaných plodin a delimitace druhů pozemků

Trvalé porosty jsou nejúčinnějším opatřením chránícím půdu před větrnou erozí. Trvalý travní porost chrání půdu před erozí a udržuje půdní vlhkost. Proto na erozí silně ohrožených půdách je nejvhodnější založení trvalého porostu. Do osevních postupů na erozně velmi náchylných půdách je proto vhodné zařadit víceleté pícniny (trávy a jeteloviny) a ozimé obilniny. Významně zvyšují ochranu půdy před erozí i ozimé meziplodiny, zvláště ve vazbě na přímý výsev následné plodiny do jejich strniště. Před větrem se musí chránit rostliny náchylné v počáteční růstové fázi jako např. kukuřice, slunečnice, okopaniny, zelenina, mák. Ve speciálních kulturách (sady, vinice) se doporučuje zatravnění meziřadí.

b) Pásové střídání plodin

Pásové střídání patří k základním způsobům ochrany před větrnou erozí. V oblastech s velkou intenzitou větrné eroze se pásy orné půdy střídají s trvale zatravněnými pásy. V oblastech méně ohrožených stačí střídat plodiny odolnější vůči větru s méně odolnými.

Pásy oseté plodinami odolnými vůči větrné erozi nebo strniště zeslabují sílu větru při povrchu půdy, zmírňují nebo zabraňují odnosu půdy a snižují výpar vody z polí nechráněných plodinami. Obvykle se navrhuje pásy široké od 40 až 50 m do 100 až 200 m. Na hlinitých půdách mohou být pásy širší než na písčitých. Při řádkovém výsevu nebo výsadbě by řádky měly být rovnoběžné s tou stranou půdního bloku, která je situovaná kolmo na převládající směr větru.

Příkladem pásového střídání je střídání úzkých pásů kulisových plodin (např. 4 řádky kukuřice ponechané přes zimu), které chrání erozně rizikové plodiny (zeleninu, cukrovku). Ochranné pásy kulisových plodin chrání sousední plochy do vzdálenosti 20-ti násobku výšky kulisy v závětrí a 10-ti násobku výšky kulisy v návětrí. Šířka chráněného pásu v případě ponechané kukuřice o výšce cca 2 m je tedy cca 60 m.

c) Tvar a velikost pozemku

Nástrojem k vytváření nových půdních celků jsou pozemkové úpravy. Jimi lze pozemky uspořádat, scelovat a dělit při respektování všech požadavků na ochranu a tvorbu krajiny i nároků vlastníků. Zásadou je pozemky situovat delší stranou kolmo k převládajícím směrům větrů a jejich šířku volit tak, aby umožňovala založení dostatečného počtu a šířky pásů při pásovém střídání plodin. Limitní rozměry pozemků jsou dány způsobem hospodaření (používání ochranných agrotechnologií) a existencí trvalých větrných bariér tvořících jejich přirozené hranice (ochranné lesní pásy, aleje, stromořadí, budovy, terénní překážky). Na nestrukturních písčitých půdách by neměla šířka nechráněného pozemku ve směru převládajících větrů přesáhnout 50 m.

7.3. Agrotechnická opatření proti větrné erozi

Do této skupiny se řadí především ochranné obdělávání, které zvyšuje nedostatečnou půdoochrannou funkci pěstovaných plodin a dále úprava struktury půdy a zlepšení vlhkostního režimu lehkých půd.

a) Úprava struktury půdy

Omezení větrné eroze úpravou struktury půdy spočívá ve zvýšení soudržnosti půdy a vytváření půdních agregátů, které pro jejich velikost již vítr netransportuje. Zlepšením struktury selepší i fyzikální vlastnosti lehkých půd. Zvýšení obsahu půdních agregátů odolávajících erozi (větších než 0,8 mm) se dosáhne zvýšením přísunu organické hmoty do půdy:

- pěstováním jetelovin a trav,
- ponecháním posklizňových zbytků,
- zeleným hnojením,
- pravidelným hnojením organickými hnojivy.

Fyzikálně chemické vlastnosti lehkých nestrukturních půd lze zlepšit přidáním bentonitu, slínu, opuky, rybnického bahna apod. Dalším opatřením může být postřik tmelícími prostředky, které dočasně stmelí půdní částice v agregáty a tím zvýší odolnost povrchu půdy před odnosem větrem. Tyto metody jsou ale finančně nákladné.

b) Zlepšení vlhkostního režimu lehkých půd

Zvyšováním vlhkosti půdy se dosáhne zvýšení její soudržnosti a tím snížení erodovatelnosti. Zvýšení vlhkosti povrchu půdy lze dosáhnout:

- vyloučením plošného kypření povrchu půdy,
- mulčováním,
- zadržením sněhu na povrchu půdy (zásněžky),
- regulační drenáží,
- závlahou.

c) Ochranné obdělávání půdy

Ochranné obdělávání zahrnuje celou řadu technologických postupů, k nimž se řadí jednak přímý výsev do ochranné plodiny nebo strniště, mulčování, využívání meziplodin a minimalizace (sdružování) pracovních postupů.

Protierozní účinky těchto zásahů se projeví

- zvýšením drsnosti povrchu půdy,

- zmenšením přímého účinku větru na povrch půdy,
- zlepšením půdní struktury,
- zvýšením půdní vlhkosti,
- zkrácením meziporostního období.

Pro zvýšení ochrany půdy před větrnou erozí je velmi důležité zvolit technologie, které zkracují bezporostní období a využívají rostlinné zbytky předplodin a meziplodin. Z hlediska protierozního působení je obdobně jako u opatření před vodní erozí účinná technologie přímého setí do nezpracované půdy – strniště, navíc doplněné podříznutím širokými šípovými radlicemi. Strniště chrání půdu před větrnou erozí lépe než rozdrčená sláma, kterou vítr odnáší a podříznutí omezí růst plevelů a výdrolů. Při tomto postupu (rozdrčení posklizňových zbytků a ponechání na poli) lze rostlinné zbytky částečně zapravit do půdy.

Zkrácení období, kdy je půda bez vegetačního krytu, lze docílit včasným založením porostu meziplodiny do mělce zpracované půdy nebo do strniště. Po umrtvení meziplodiny mrazem během zimního období je půda na jaře kryta mulčem. Při setí kukuřice je vhodné vysévat osivo do chemicky umrtveného drnu nebo využívat současného setí kukuřice a ochranné podplodiny (ozimé žito nebo ozimý ječmen) vyseté do meziřadí na jaře. Účinnost agrotechnických opatření ovlivňuje volba vhodné mechanizace.

7.4. Technická opatření proti větrné erozi a větrolamy

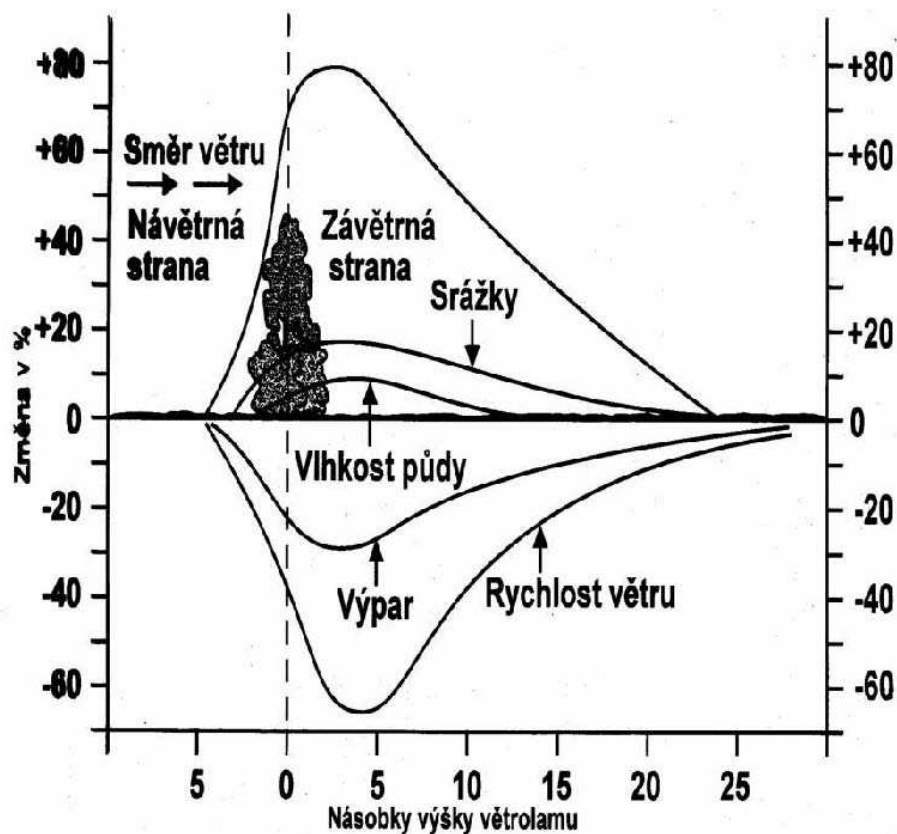
Trvalého snížení škodlivého účinku větru, jeho rychlosti a turbulentní výměny vzduchu lze dosáhnout tím, že se větru postaví překážka. Takovou překážkou mohou být umělé větrné zábrany nebo úzké pruhy lesa - ochranné lesní pásy – větrolamy (PODHRÁZSKÁ a kol., 2008).

Jako umělé dočasné zábrany se používají přenosné ploty z odpadových prken, odpadních hliníkových fólií, rákosu apod. Nejúčinněji zmírňuje rychlost větru sítové uspořádání zábran. Umělé překážky větru se umísťují tam, kde je nutno dočasně chránit plodiny, např. zeleninu, před účinky větru.

Trvalé lesní porosty, tzv. ochranné lesní pásy (OLP) – větrolamy, patří k nejúčinnějším opatřením proti větrné erozi. Podstatou příznivého účinku větrolamů je snížení rychlosti větru v určité vzdálenosti před a za větrolamem a snížení turbulentní výměny vzdušných mas v

přízemních vrstvách. Na obr. 7.3. je znázorněno rozdělení rychlostí větru před ochranným pásem a za ním.

Obr. 7.3. Schéma účinku poloprodouvavého větrolamu



Větrolamy se dělí na tři základní typy:

- prodouvavý – větrolam složený z jedné či dvou řad stromů, bez keřového patra. Jeho protierozní efekt je nízký, navíc v kmenovém prostoru aleje může docházet k tryskovému efektu.
- neprodouvavý – porost je složen z více řad, dobře zapojený, keřové patro je vytvořeno, na návětrné i závětrné straně dochází k vytvoření uzavřené stěny. U neprodouvavého typu větrolamu sice klesá rychlost větru podstatně více, než u typu poloprodouvavého, ale na kratší vzdálenost.
- poloprodouvavý – tvořen z jedné nebo dvou řad stromů a keřového patra. Tento typ je nejvhodnější, protože zde dochází jak k obtékání vzdušných mas přes větrolam, tak také k jejich prostupování porostem. Na závětrné straně dochází ke splývání proudnic, jež obtékají větrolam přes vrchol s těmi, které jím procházejí. Výslednice obou proudů pak

směřuje k povrchu půdy ve větší vzdálenosti, než u větrolamu neprodouvavého.

Po vymezení území, které je ohroženo větrnou erozí, je třeba určit vzdálenost a umístění větrolamů. V rovinatém terénu by měly větrolamy vytvářet obrazce obdélníkového tvaru, kde delší strany představují hlavní větrolamy situované kolmo na převládající směr větru a kratší strany jsou vedlejší větrolamy. V členitém terénu je vhodné přihlížet k jeho konfiguraci a umístit pásy na vyvýšená místa, čímž se ještě zvýší jejich účinnost. Pásy mají být orientovány tak, aby vznikl mezi nimi uzavřený obrazec, který by chránil celé území při měnícím se směru větru. Odstupová vzdálenost hlavních větrolamů se řídí účinností vzrostlého větrolamu a typem půdy, tedy na suchých a výsušných půdách 300 až 400 m, na hlinitých půdách 500 až 600 m, na těžkých půdách až 850 m s výjimkou specifických oblastí s těžkými půdami, které podléhají větrné erozi. Vedlejší pásy mohou být od sebe vzdáleny až 1000 m. Vzdálenost pásů by měla být volena tak, aby snížená rychlost větru mezi pásy byla nižší než je unášecí rychlost půdních částic.

Důležitým předpokladem vysoké účinnosti ochranných lesních pásů je nejen jejich údržba, ale i správná volba dřevin. Je třeba zohlednit především dvě základní podmínky – druhy musí odpovídat přírodním podmínkám a vyhovovat danému stanovišti a současně musí být vhodné pro konstrukci větrolamu, tj. dosáhnout vhodné výšky, zajistit potřebnou propustnost a dlouhověkost.

Pro dosažení rychlého účinku, dostatečné odolnosti a trvalosti větrolamu je vhodné zajistit kombinaci více dřevin. Dřeviny se dělí na:

- **Základní:** tvoří kostru porostu, vyznačují se dlouhověkostí a dokonalým zakotvením v půdě, díky tomu odolávají velkým nárazovým tlakům způsobených větrem. Jejich obnova je snadná, v mládí rostou zpravidla pomalu. Těmto požadavkům nejlépe vyhovují: dub (*Quercus robur*, *Quercus petrae*, jako příměs je možno použít i *Quercus cerris*, *Quercus rubra*, *Quercus lanuginosa*), lípa (*Tilia plathyphyllos*, *Tilia cordata*), javor (*Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, *Acer campestre*, *Acer tataricum*), jasan (*Fraxinus excelsior*), buk (*Fagus silvatika*), ořešák (*Juglans nigra*, *Juglans regia*). Při zakládání OLP na písčích se hodí i borovice (*Pinus silvatika*);
- **Dočasné:** v mládí se vyznačují rychlým růstem. Nejsou vždy dosti odolné, nedosahují vysokého věku a jejich hlavním úkolem je urychlit působení větrolamu. Pro tento účel se hodí topol (*Populus alba*, *Populus tremula*, *Populus canadensis*), bříza (*Betula pendula*), jeřáb (*Sorbus aria*, *Sorbus aucuparia*, *Sorbus domestica*, *Sorbus torminalis*), jilm (*Ulmus laevis*), olše (*Alnus incana*, *Alnus viridis*), v teplejších oblastech moruše (*Morus alba*),

kaštan (*Castanea sativa*);

- Vedlejší: jejich koruny chrání půdu a opadem listí zlepšují obsah živin. Jejich úkolem je doplnění základních dřevin a zajištění optimální propustnosti pod jejich korunami. V dospělosti se z větrolamů neodstraňují. Jako vhodné dřeviny této skupiny lze uvést: jabloň (*Malus communis*), hrušeň (*Pirus communis*), třešeň (*Prunus avium*, *Prunus cerasus*, *Prunus mahaleb*), akát (*Robinia pseudoacacia*), vyjímečně také modřín (*Larix decidua*) a smrk (*Picea excelsa*).

Zvláštní funkci mají keře. Vytvořením souvislé živé stěny do výše 0,6 – 1,5 m zabraňují přízemnímu proudění vzdušných mas, zachycují sníh a půdní částice unášené větrem, chrání půdu založeného porostu před přílišným zahříváním a velkým výparem, zabraňují odvátí listí z pásu a vlastním opadem přispívají k obohacení půdy, zabraňují pronikání buřeně do pásů a rozšiřování plevelů do sousedních zemědělských kultur. Mohou sloužit jako hnízdiště ptáků a jako úkryt pro zvěř.

Při konstrukci větrolamu je třeba také dbát na jeho polyfunkčnost - pásy trvalé zeleně mohou sloužit jako prvky územních systémů ekologické stability - biokoridory, plní funkci estetickou a krajinnotvornou a současně je možné podél nich (někdy také i uvnitř větrolamu) vést cestní síť. Druhová skladba by proto měla být promyšlená a dostatečně pestrá, aby ochranný pás vedle funkce protierozní plnil i funkce další.

V prvních 3 až 5 letech je nutná ochrana hlavně proti biotickým činitelům (buřen, zvěř). V případě většího úhynu je nutné provést vylepšení odpovídajícím sadebním materiálem. Dále je nutné zabezpečit, aby nedocházelo k nežádoucím účinkům při hnojení a chemické ochraně zemědělských kultur.

Po zapojení potřebují větrolamy pravidelné výchovné zásahy, v opačném případě dochází k přehustění, ztrátě odolnosti a větrolam ztrácí na funkčním účinku. V porostech, kde se udržuje dokonalé, ale nepřehoustlé zapojení, nedochází v tak velké míře k prosychání dřevin, jako u přehoustlých, výchovou neovlivněných porostů. Při výchovných zásazích je nutno odstraňovat oslabené a usychající jedince a přehoustlý podrost z keřů u vedlejších dřevin. Včas je třeba odstranit předrůstovou složku větrolamu, protože ta má nepříznivý vliv na růst základních dřevin.

Výchovné zásahy zlepšují výživu a zásobování dřevin vodou, zlepšují jejich růst a stavbu. Současně dochází ke zlepšení struktury porostu a aerodynamických vlastností větrolamu. Při všech návrzích a volbě dřevin je nutné vždy mít na zřeteli, že ochranné lesní pásy jsou úzké

pruhy lesa, rostoucí v extrémních podmínkách, kde je třeba potlačovat rozbuzení plevelů. Při vzrostlých stromových dřevinách a požadované 50 % prodouvavosti se dostává z obou stran do pásu světlo. Je tedy třeba stále pečovat o zastínění a zápoj a tím zabránit přílišnému pronikání světla do porostu, aby se plevele nerozbujely.

8. Ekonomické aspekty eroze půd

Eroze patří v ekonomických teoriích k tzv. externalitám, což zjednodušeně znamená, že spotřebovávání statků podnikatelem nebo spotřebitelem je doprovázeno dopady na jiné podnikatele nebo spotřebitele. Např. zemědělec spotřebovává půdu, resp. ztrácí část vrchní vrstvy půdy a smyté půdní částice a živiny jsou odneseny na pozemky nebo do vodních toků, kde vyvolávají škody (PRAŽAN, 2004). Vzniká tak náklad, který však nevstupuje do finančního rozhodování podnikatele (je pro něj externí). Důvodem pro měření externalit je jejich politická citlivost, neboť je obvykle neřeší trh, ale musí být řešeny v rámci státních rozpočtů.

Měření dopadů degradace půd erozí patří mezi poměrně náročné úkoly a používají se k tomu různé techniky. Obvykle jsou rozlišovány náklady vznikající na erodovaném pozemku, mimo něj a náklady vyjádřené ztrátou samotnou např. vůči budoucím generacím (GORLACH et. al., 2004). Nejrozšířenější metodou pro ekonomické vyjádření dopadů eroze je tzv. „replacement cista“ neboli náklady na odstranění škod (WINPENNY, 1991) a to jak interních (na pozemku) tak externích (mimo pozemek). Další metodou je měření snížené produktivity půdy (BARBIER, 1995). Při finančním hodnocení ztrát půdy na pozemku je možné odnesený objem půdy vynásobit cenou ornice na trhu (průměrně 350 Kč/m³). Takto stanovené ceny ornice však nestačí na posouzení škod na půdě. Problém spočívá zejména v tom, že půdu musíme chápat jako neobnovitelný přírodní zdroj (s obnovitelnými funkcemi) a při velmi intenzivní erozi může dojít k její nenávratné ztrátě.

Vzhledem ke komplexní povaze následků eroze musí být identifikovány pokud možno všechny typy interních a externích dopadů eroze a hledat způsob, jak ocenit jejich nápravu (např. náklady na vytěžení sedimentů apod.). Současně je nutné identifikovat a ocenit ztrátu půdy a snížení produkce v důsledku působení procesů eroze.

Interní škody :

- odnos půdy - ocení se průměrnou cenou ornice nebo pomocí ceny BPEJ, pokud by se navezla odnesená hmota zpět na pozemek – ocenění podle transportních nákladů,
- vznik rýh a strží, převrstvení půdy smytou zeminou – ocení se náklady na uvedení do původního stavu,
- snížení výnosu – pro ocenění jsou potřebné konkrétní údaje o průměrném a aktuálním výnosu na daném pozemku.

Externí škody :

- poškození pozemků, vznik nánosů – ocení se náklady na jejich odstranění,
- znečištění vod – ocení se zvýšení nákladů na čištění vody, popřípadě zvýšení nákladů na čištění vodohospodářských zařízení,
- ekologické dopady – např. na organismy – oceňují se velmi obtížně a většinou jsou ekonomicky neuchopitelné (jedná se spíše o kvalitativní než kvantitativní hodnocení).

Ekonomická bilance protierozních opatření spočívá v porovnání nákladů na jejich vybudování a přínosů plynoucích z těchto opatření. Nejpresněji se dají stanovit podle skutečných cen realizací konkrétních opatření nebo normativně pomocí ceníků. Pokud nejsou tyto údaje dostupné, lze provést šetření a z více zjištěných nákladů vypočítat průměrné náklady na jednotku. Přínosy protierozní ochrany se určují jako rozdíl mezi oceněnými následky eroze před a po realizaci protierozních opatření.

Aby bylo možné prosadit změny hospodaření na půdě, které by odpovídaly požadavkům na ochranu půdy a vody, je možné využívat celou řadu nástrojů politiky. V případě právních předpisů je v ochraně vod a půdy zpravidla využíváno pravidlo „znečišťovatel platí“. Právní předpisy současně tvoří rámec většině ostatních nástrojů, avšak především upravují pravidla pro jejich používání. Do této kategorie patří mimo jiné i pozemkové úpravy, jejichž implementace je právně podchycena, avšak odpovídající opatření na ochranu půdy a vody není možné do důsledku pomocí tohoto právního předpisu vynutit. Pozitivnější zkušenosti jsou s ekonomickými nástroji, které jsou např. aplikovány v podobě agroenvironmentálních opatření v rámci Plánu rozvoje venkova.

8.1. Možnosti ocenění interních dopadů eroze pomocí BPEJ

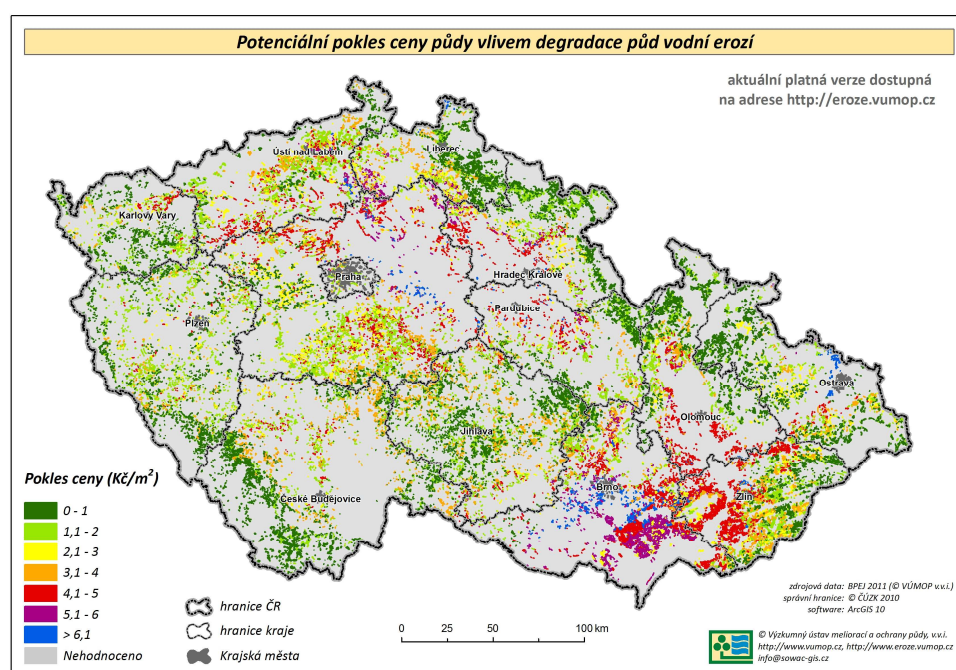
Cena zemědělské půdy je stanovena vyhláškou ministerstva financí. Kvalita a další vlastnosti půdy jsou v podmínkách ČR stanoveny bonitovanými půdně ekologickými jednotkami (BPEJ). K BPEJ je následně přiřazena cena v Kč/m². Cena se pravidelně aktualizuje a je zveřejňována ve sbírce zákonů. Eroze se projevuje zejména snižováním mocnosti půdního profilu, zvyšováním skeletovitosti a tudíž i změnami v zařazení hlavní půdní jednotky, které se promítají do přehodnocení BPEJ a tím i do změn jejich cen.

Identifikace erozního poškození půdy pomocí porovnání BPEJ:

- vznik mělkých půd (HPJ 37 a 38),
- zvýšení skeletovitosti půdy (změna 5. číslice kódu BPEJ z 0 – 3 na 4 - 6),
- degradace černozemí (změna HPJ na 05, 08, 19, 20, 21, 22, příp. jiný typ kambizemě).

- degradace hnědozemí a luvizemí (změna HPJ na 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 30, 31, 32, 47).

Pokud ve zkoumaném území byla provedena aktualizace BPEJ (MAŠÁT a kol. 2002), lze identifikovat změny vyvolané erozí vůči původním BPEJ určených na základě komplexního průzkumu půd provedeného v 70-tých letech 20. století. Jako názorný příklad byl vybrán svažitý blok orné půdy v k.ú. Hustopeče s výměrou 34,3 ha. V původní bonitaci (r. 1978) zde převažovaly černozemě a blok by v případě jejich zachování mohl být oceněn na 4 540 tis. Kč. Dlouhodobě probíhající erozí došlo k odnosu humusové vrstvy a podle aktualizace BPEJ (v r. 2009) se na svahu vyskytují kambizemě a degradované černozemě a cena téhož bloku po aktualizaci BPEJ činí 3 092 tis. Kč. V porovnání s rokem 1978 se tedy cena snížila o 1 450 tis. Kč! Z toho plyne závěr, že uplatnění protierozních opatření je nejvíce efektivní a vložená investice má nejrychlejší návratnost na půdách, kde potenciálně hrozí největší pokles ceny v důsledku působení eroze. Na mapě ČR (viz. obr. 8.1.) je na základě BPEJ graficky vyjádřena potenciální změna cen půdy v důsledku odnosu ornice vodní erozí – podrobněji viz. www.sowac-gis.cz. Při tvorbě tohoto materiálu bylo použito všech 2199 kódů BPEJ platných v ČR. Do hodnocení byly vybrány půdy o sklonu svahu 7 - 12° (u půd s vyšší svažitostí zůstává i při působení eroze kód BPEJ nezměněn). Vybrané BPEJ byly analyzovány z hlediska možného maximálního působení eroze (tzn. takový odnos půdy, který způsobí změnu HPJ, popř. zkrácení půdního profilu až odkrytí půdotvorného substrátu).



Obr. 8.1. Potenciální pokles ceny půdy v důsledku působení vodní eroze

Závěr

Poslední metodika pro praxi “Ochrana zemědělské půdy před erozí” byla vydána v roce 2007 ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy v.v.i. Od té doby pokračoval výzkum eroze půdy, metod jejího hodnocení a zjišťování účinnosti protierozních opatření. Předkládaná metodika je aktualizovaná především na základě výsledků výzkumného projektu QH 72085 „Diferenciace protierozních opatření podle erodovatelnosti půd a erozivity dešťů“, řešeného na Katedře biotechnických úprav krajiny Fakulty životního prostředí ČZU v Praze, Ústavu aplikované a krajinné ekologie, Agronomické fakulty MENDELU v Brně a ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Dále byly využity dílčí výsledky výzkumného záměru VÚMOP v.v.i. MZE 0002704902 „Integrované systémy ochrany a využití půdy, vody a krajiny v zemědělství a rozvoji venkova“, projektu QI92A012 „Hodnocení realizací protierozních a vodohospodářských zařízení v KPÚ z pohledu ochrany a tvorby zemědělské krajiny“, projektu QH82099 „Kriteria rozvoje větrné eroze na těžkých půdách a možnosti jejího omezení biotechnickými opatřeními“, projektu NAZV QH 82090 „Změny půdních vlastností po zatravnění, zalesnění nebo dlouhodobém nevyužívání orné půdy, s dopady na ochranu půdy, vody a krajiny ČR“ a projektu NAZV QI91C008 „Optimalizace postupu navrhování technických protierozních opatření“.

Cílem novelizované metodiky je poskytnout další podklady pro určování ohroženosti půdy vodní erozí, velikosti povrchového odtoku a navrhování protierozních opatření organizačního, agrotechnického a technického charakteru na zemědělské půdě. Uvedená je i problematika větrné eroze a ochranných opatření proti ní. Metodika je určena především projektantům pozemkových úprav a samostatných projektů protierozních opatření, ale i uživatelům resp. obhospodařovatelům zemědělských pozemků, k získání základní orientace v problematice protierozní ochrany. Může sloužit i jako odborný podklad pro poskytování podpor obsažených v programech MZe (GAEC) a MŽP k podpoře aktivit podílejících se na udržování krajiny resp. rozvoje venkova.

Literatura

BARBIER E., 1995: The Economics of Soil Erosion: Theory, Methodology and Examples, Dept of Environmental Economics and Environmental Management, University of York
<http://203.116.43.77/publications/specialp2/ACF2B4.html>

BULLOCK, M.S., LARNEY, F.J., MCGINN, S.M. et IZAURRALDE, R.C., 1999: Freeze-drying processes and wind erodibility of a clay loam soil in southern Alberta. Canadian Journal of Soil Science, Vol. 79(1), p. 127–135.

DESMET, P.J.J. AND G. GOVERS, 1996: A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. J. of Soil and Water Con. 51: 427-433.

FOSTER, G.R., D.C. YODER, G.A. WEESIES, T.J. TOY, 2001: The Design Philosophy Behind RUSLE2: Evolution of an Empirical Model. Pp. 95-98 in Soil Erosion Research for the 21st Century, Proc. Int. Symp. (3-5 January 2001, Honolulu, HI, USA). Eds. J.C. Ascough II and D.C. Flanagan. St. Joseph, MI: ASAE. 701P0007.

GÖRLACH B., 2004: Landgrebe-Trinkunaite, R., Interwies, E., Assessing the Economic. Impacts of Soil Degradation. Volume I: Literature Review. Study commissioned by the European Commission, DG Environment, Study Contract ENV.B.1/ETU/2003/0024. Ecologic Berlin.

CHEPIL W.S., 1951.: Properties of soil which influence wind erosion: IV. State of dry aggregate structure. Soil Science 72(5):387–402.

JANEČEK M. a kol, 2002 a 2004.: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha ISV nakladatelství, 4. 201 str. ISBN 85866-85-8 a ISBN 80-86642-38-0.

JANEČEK, M., a kolektiv, 2007: Ochrana zemědělské půdy před erozí, Metodika, VUMOP Praha.

JANEČEK, M., 1982: Využití metody „čísel odtokových křivek“ k určování přímého odtoku z malých zemědělských povodí. Vědecká práce VÚZZP Praha, 1, s 42-53.

JANEČEK, M., VÁŠKA, J., 2001: Hydrologické výpočty v protierozní ochraně půdy. Doporučený standard techniky. Informační centrum ČKAIT Praha.

JANEČEK, M. a kol., 2008: Základy erodologie. UT FŽP ČZU Praha, Powerprint s.r.o Praha, ISBN 978-80-213-1842-7, s.172.

KOLEKTIV, 1972: National Engineering Handbook. Hydrolog. Section 4, SCS, USDA Washington D.C.

KOVÁŘ, P., CUDLÍN, P., HEŘMAN, M., ZEMEK, F., KORYTÁŘ, M., 2002: Analysis of Flood Events on Small River Catchments using the KINFIL Model. Journal of Hydrology and Hydromechanics, SAV 50, 2, pp. 157-171.

KOVÁŘ, P., VAŠŠOVÁ, D., 2010: Modelling surface runoff to mitigate harmful impact of soil erosion. Proceedings of HydroPredict IAHS Conference Prague, pp. 26-27.

KRÁSA, J., 2004: Hodnocení erozních procesů ve velkých povodích za podpory GIS. Dizertační práce, ČVUT, Praha.

KRÁSA J., 2010: Empirické modely vodní eroze – nástroje, data možnosti a rizika výpočtů; docentská habilitační práce, FSv ČVUT v Praze, Praha.

KRÁSA, J., DAVID, V., DOSTÁL, T., VRÁNA, K., UHLÍŘOVÁ, K. ET AL, 2006: Geografické informační systémy jako podklad rozhodovacího procesu, zejména pro úkoly krajinného inženýrství. 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, 85 s.

MAŠÁT a kol., 2002: Metodika vymezení a mapování BPEJ. Praha: Mze a VÚMOP. ISBN 80-238-9095-6. 113 s.

MITASOVA, H., J. HOFIERKA, M. ZLOCHA, AND R. L. IVERSON, 1996: Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS, Int. Journal of Geographical Information Science, 10(5), 629-641. (reply to a comment to this paper appears in 1997 in Int. Journal of Geographical Information Science, Vol. 11, No. 6).

MITASOVA, H. - MITAS, L. - BROWN, W.M. - JOHNSTON, D., 1998: Multidimensional Soil Erosion/deposition Modeling and visualization using GIS [online]. Dostupné z [www: http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/cerl98/rep98.html](http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/cerl98/rep98.html) ; (dne 10. 10. 2011).

MCCOOL, D.K., BROWN, L.C., FOSTER, G.R., MUTCHLER, C.K., MEYER, L.D., 1987.: Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. Transactions of the ASAE 30, s. 1387–1396.

MOREL-SEYTOUX, H., J., 1982 : Analytic results for prediction of variable rainfall infiltration. Journal of Hydrology No. 59, pp. 209-230.

MORGAN, R., P., C., NEARING, M., A., 2011: Handbook of Erosion Modelling. Wiley-Blackwell. ISBN 978-1-4051-9010-7, 401 pp.

PODHRÁZSKÁ, J., NOVOTNÝ, I., ROŽNOVSKÝ, J., HRADIL, M., TOMAN, F., DUFKOVÁ, J., MACKŮ, J., KREJČÍ, J., POKLADNÍKOVÁ, H. et STŘEDA, T., 2008: Optimalizace funkcí větrolamů v zemědělské krajině. Metodika. Praha: VÚMOP Praha, 81 p. 978-80-904027-1-3.

PODHRÁZSKÁ J. a kol., 2009: Návrh hodnocení účinnosti systému komplexních opatření v pozemkových úpravách pro snížení škodlivých účinků povrchového odtoku. Metodický návod. Praha : VÚMOP, v.v.i., MZe ČR, 96 s. ISBN 978-80-904027-7-5.

PRAŽAN J., 2004: Willingness to Pay as a Method for evaluation of landscape and biodiversity in the Czech Republic. In: Scasny, M., Melichar., J., eds. Development of the Czech Society in the European Union. Part V: Non-market Valuation Methods in Environmental Area. Charles University Prague. Praha : Matfyzpress, p. 269-272. ISBN 80-86732-35-5.

RONALD EASTMAN J., 2009: IDRISI Taiga, Clark Labs, Clark University, 950 Main Street, Worcester MA 01610-1477 USA; <http://www.clarklabs.org>.

SCHMIDT, J. (ED.), 2000: Soil Erosion. Application of Physically Based Models. Springer – Verlag Berlin, ISBN 3-540-66764-4.

SCHMIDT, J., WERNER, M., MICHAEL, A., 1999: Application of the EROSION 3D model to the CATSOP watershed, the Netherlands. Catena 37, pp. 449-456.

VAN ROMPAEY A., VERSTRAETEN G., VAN OOST K., GOVERS G., POESEN J., 2001: Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. Earth Surface Processes and Landforms, 26 (11), 1221-1236.

WILLIAMS, J. R., 1977: Sediment Delivery Ratios Determined with Sediment and Runoff Models. In Symposium Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters. IAHS Publ. No. 122, Paris.

WILLIAMS, J. R., BERNDT, H.D., 1972: Sediment yield computed with universal equation. In: Journal of Hydraulics division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, No. 412, str. 2087-2098.

WINPENNY J., 1991: Values for the Environment. London : Overseas Development Institute.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., 1978: Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide Book to Conservation Planning. Agr. Handbook No.537, US. Dept. of Agriculture, Washington.

ZACHAR, D., 1982: Soil erosion. I. Vyd. Elsevier, Amsterdam, 548 p. ISBN 0-444-99725-3.

ars.usda.gov, 2004: Revised Universal Soil Loss Equation 1.06 - Current Version [online];

publikováno na serveru (February 20, 2004), dostupné z adresy:

<http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=5974> (dne 26. 10. 2011).

Základní technické normy a předpisy

ČSN 75 0142 Názvosloví protierozní ochrany, 1991 ČSN 75 4500 Protierozní ochrana zemědělské půdy, 1996

ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod, 1997

ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže, 1997

Vyhláška č. 545/2002 Sb. o postupu při provádění pozemkových úprav, ve znění pozdějších předpisů
Zákon č. 139/2002 Sb. o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech, ve znění pozdějších předpisů.

Seznam tabulek

Tab. 1.1. Hodnoty R-faktoru pro vyhodnocené ombrografické stanice ČHMÚ v MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹

Tab. 1.2. Průměrné rozdělení faktoru R do měsíců vegetačního období v ČR

Tab. 1.3. Hodnoty faktoru R jednotlivých přívalových dešťů podle četnosti jejich výskytu

Tab. 1.4. Třída propustnosti půdního profilu podle HPJ

Tab. 1.5. Hodnoty faktoru K pro jednotlivé HPJ

Tab. 1.6. Vypočtené hodnoty K - faktorů pro zastoupené půdní typy, subtypy a variety Českého taxonomického klasifikačního systému půd

Tab. 1.7. Hodnoty exponentu sklonu svahu m v závislosti na sklonu svahu a poměru rýžkové eroze k erozi plošné (RENARD a kol., 1997)

Tab. 1.8. Hodnoty L faktoru

Tab. 1.9. Hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace a způsobu obdělávání (faktor C)

Tab. 1.10. Příklad stanovení průměrné roční hodnoty faktoru C pro ozimou řepku (jako obilnina) v mírně teplé (bramborářské) oblasti, vyšetřeno po jarním ječmeni do zorané půdy

Tab. 1.11. Průměrné hodnoty C faktoru pro jednotlivé plodiny

Tab. 1.12. Hodnoty faktoru protierozních opatření P

Tab. 2.1. Hydrologické skupiny půd

Tab. 2.2. Hydrologické skupiny zemědělských půd podle BPEJ, resp. HPJ

Tab. 2.3. Průměrná čísla odtokových křivek – CN pro IPS II

Tab. 2.4. Hodnocení nadložního humusu podle metody CN – křivek

Tab. 2.5. Opravný součinitel (f) pro nádrže, rybníky a mokřady

Tab. 2.6. Manningův součinitel drsnosti (n) pro plošný povrchový odtok

Tab. 2.7. Manningův součinitel drsnosti (n) pro otevřená koryta

Tab. 3.1. Hodnoty C faktoru v období tání sněhu pro jednotlivé klimatické regiony

Tab. 6.1. Směs s vysokým protierozním účinkem, vhodná na stanoviště s dostatkem vláhy, dobře zásobené živinami

Tab. 6.2. Směs s vysokým protierozním účinkem, vhodná na stanoviště sušší, s nižší zásobou živin

Tab. 6.3. Směs s vysokým protierozním účinkem, vhodná na stanoviště ve vyšších polohách s drsnějšími klimatickými podmínkami

Tab. 6.4. Směs s vysokým protierozním účinkem, vhodná na stanoviště ve vysokých polohách s drsnými klimatickými podmínkami

Seznam obrázků

- Obr. 1.1. Upravené průměrné hodnoty R-faktoru v $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ na území ČR
- Obr. 1.2. Hodnota faktoru K stanovená pomocí nomogramu je již v SI jednotkách.
- Obr. 1.3. Schéma umístění reprezentativních drah plošného povrchového odtoku na pozemku pro určení topografického faktoru
- Obr. 2.1. Závislost výšky přímého odtoku (H_o) na úhrnu deště (H_s) a číslech odtokových křivek (CN)
- Obr. 2.2. Vliv obsahu vody v půdě (IPS I – suchá, IPS II – střední, IPS III – nasycená) na změnu čísla odtokové křivky (CN)
- Obr. 2.3. Nomogramy pro určení čísla odtokové křivky (CN) v závislosti na skupině půd a lesních hydrologických podmínkách
- Obr. 2.4. Nomogram k určení I_a / H_s z 24-hod. úhrnu deště pro různá čísla odtokových křivek (CN)
- Obr. 2.5. Nomogram pro zjištění jednotkového kulminačního průtoku (q_{pH}) z doby koncentrace (T_c) a poměru (I_a/H_s)
- Obr. 2.6. Průměrné rychlosti pro stanovení doby doběhu pro soustředěný odtok o malé hloubce
- Obr. 3.1. Mapa erozního potenciálu vody akumulované ve sněhové pokrývce v ČR (odhad pro ornou půdu)
- Obr. 3.2. Závislost mezi hodnotou C faktoru v období výskytu přívalových srážek a v období výskytu erozně nebezpečného tání sněhu – orná půda
- Obr. 3.3. Závislost mezi klimatickým regionem a hodnotou C faktoru v období výskytu v období výskytu erozně nebezpečného tání sněhu – orná půda
- Obr. 6.1. Pásové střídání plodin
- Obr. 6.2. Pokryvnost povrchu půdy posklizňovými zbytky kukuřice na zrno při uplatnění tří technologií zpracování půdy a setí následné plodiny
- Obr. 6.3. Setí širokořádkové plodiny bez jarní předset'ové přípravy půdy – jízdy ve směru vrstevnic přispívají k ochraně půdy před vodní erozí
- Obr. 6.4. Stroj na přesné setí kukuřice do mulče vybavený prořezávacími kotouči a dvoukotoučovými secími botkami s omezovači hloubky setí
- Obr. 6.5. Vzorový příčný řez záchytným průlehem

Obr. 6.6. Vzorový řez záchytným příkopem

Obr. 6.7. Vzorový řez svodným příkopem

Obr. 6.8. Parabolický profil zatravněné údolnice

Obr. 6.9. Lichoběžníkový profil zatravněné údolnice

Obr. 6.10. Parabolický profil zatravněné údolnice se zpevněným dnem kamenným záhozem

Obr. 6.11. Protierozní hrázka nad obcí Dolní Brusnice

Obr. 6.12. Součást výpustného zařízení: prefabrikovaná česlová stěna, která zamezuje zanesení a zahlcení potrubí

Obr. 6.13. Realizované protierozní hrázky

Obr. 6.14. Vzorový příčný řez ochranné hrázky

Obr. 6.15. Srubová přehrážka z dřeva a kameniva se zpevněným dopadištěm ve strži u obce Spáňov (Domažlicko) zadržuje vodu a snižuje odtok vody do obecní kanalizace.

Obr. 6.16. Vzorový příčný řez - protierozní meze

Obr. 6.17. Schéma uspořádání zemních teras

Obr. 6.18. Vzorový řez zemní hrází

Obr. 6.19. Nomogram k určování retenčního objemu nádrže

Obr. 7.1. Nomogram pro určení erodovatelnosti půdy větrem

Obr. 7.2. Mapa těžkých půd potenciálně náchylných k větrné erozi

Obr. 7.3. Schéma účinku poloprodouvacího větrolamu

Obr. 8.1. Potenciální pokles ceny půdy v důsledku působení vodní eroze

Seznam použitých symbolů

Zkratky:

BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
ČKAIT	Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav, Praha
ČSN	Česká státní norma
DPB	Díl půdního bloku
FŽP ČZU	Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze
FSv ČVUT	Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze
GAEC	Good Agricultural and Environmental Conditions (Standardy dobré zemědělské praxe)
HPJ	Hlavní půdní jednotka
HydroCAD	Hydrologicko - hydraulický model
KPÚ	Komplexní pozemková úprava
MZe	Ministerstvo zemědělství České republiky
MENDELU	Mendelova univerzita v Brně
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NAZV	Národní agentura pro zemědělský výzkum
PB	Půdní blok
PEO	Protierozní opatření
RUSLE	Revidovaná universální rovnice ztráty půdy
SMODERP	Simulační model povrchového odtoku a erozního procesu
TTP	Trvalý travní porost
USLE	Universal Soil Loss Equation (Universální rovnice ztráty půdy), Wischmeier a Smith
ÚZEI	Ústav zemědělské ekonomiky a informací
VUT	Vysoké učení technické v Brně
VÚMOP, v.v.i.	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
VÚZT, v.v.i.	Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i.

Symbols:

a	procentuální obsah humusu ornice
A	potenciální retence (mm)
b	třída struktury ornice
C	faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu
c	třída propustnosti půdního profilu
CN	Curve Number (číslo odtokové křivky)

E	celková kinetická energie deště (J.m-2)
E _i	kinetická energie i-tého úseku deště (J.m-2)
f	opravný součinitel pro rybníky a mokřady
F	plocha příčného profilu (m ²)
G	průměrná dlouhodobá ztráta půdy (t .ha-1.rok-1)
H _o	přímý odtok (mm)
H _s	úhrn návrhového deště (mm)
H _{s2}	úhrn 24 hod. deště s dobou opakování 2 roky (mm)
H _{si}	úhrn deště v i-tém úseku (cm)
i ₃₀	max. 30minutová intenzita deště (cm.h-1)
I _d	nepřerušená délka svahu (m)
IPS	index předchozích srážek
i _{si}	intenzita deště i-tého úseku (cm.h-1)
K	faktor erodovatelnosti půdy
L	faktor délky svahu,
l	horizontální projekce délky svahu (uvažuje se nepřerušená délka svahu), délka proudění (m)
l _{přip}	přípustná délka svahu (m)
M	(% prachu + % práškového písku) * (100 - % jílu)
m	exponent délky svahu vyjadřující náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze
n	Manningův součinitel drsnosti
O	omočený obvod (m)
O _{pH}	objem přímého odtoku (m-3)
OLP	ochranné lesní pásy
P	faktor účinnosti protierozních opatření
Q ₀	vrcholový odtok (m ³ .s-1)
q _{p,H}	jednotkový kulminační průtok (m ³ .s-1)
R	faktor erozní účinnosti dešťů (MJ.ha-1.cm.h-1)
R	hydraulický poloměr (m)
S	faktor sklonu svahu
s	sklon svahu (% nebo m.m-1), sklon koryta toku (tg α)
SDR	poměr odnosu
S _i	hodnota faktoru S pro i-tý úsek svahu
S _r	reliéfový poměr (m.km-1)
T _c	doba koncentrace (h)
T _{ta} , T _{tb} , T _{tc}	doby doběhu (h)
v	průměrná rychlost (m.s-1)

PŘÍLOHY

