

JIHOČESKÁ UNIVERSITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí
Katedra: Krajinného managementu
Vedoucí katedry: prof. Ing. Tomáš Kvítek, Csc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv delimitace druhů pozemků na snížení odnosu sedimentů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jana Moravcová

Autor: David Humpál

České Budějovice, duben 2011

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David HUMPÁL**
Osobní číslo: **Z08614**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Vliv delimitace druhů pozemků na snížení odnosu sedimentů**
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Obsah sedimentů v jednotlivých prvcích hydrologické sítě.
Důsledky zvýšeného obsahu sedimentů ve vodách.
Faktory ovlivňující odnos sedimentů do povrchových vod.
Prostředky snížení odnosu sedimentů v zemědělské krajině.
Možnosti využití delimitace k omezení odnosu sedimentů.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 50 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

NOVOTNY, V. Water Quality. New Jersey: John Wiley Sons. 2003. ISBN 0-471-39633-8

WESTRICH, B., FÖRSTNER, U. (Eds.). Sediment Dynamics and Pollutant Mobility in Rivers. Springer. New York. 2007

NOVOTNY, V., CHESTERS, G. Handbook of nonpoint pollution sources and management. New York: Van Nostrand Reinhold Company. 1981

DAVIE, T. Fundamentals of hydrology, Routledge, Oxon 2008

DUMBROVSKÝ, M., MEZERA, J., STŘÍTECKÝ, L.: Metodický návod pro vypracování návrhů pozemkových úprav, Česká komora pro pozemkové úpravy, Praha 2004

Časopisy Journal of Hydrology, Water Research, Soil and Water Research, Vodní hospodářství

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jana Moravcová
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: 11. března 2010

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2011

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13 ④
370 05 České Budějovice

prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

L.S.

prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 11. března 2010

Prohlášení:

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Vliv delimitace druhů pozemků na snížení odnosu sedimentů“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 15. dubna 2011

.....
David Humpál

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Janě Moravcové za odborné připomínky k danému tématu a cenné rady v průběhu tvorby bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá odnosem sedimentů a možnostmi jeho snížení v zemědělské krajině, prostřednictvím delimitace a dalších protierozních opatření.

Úvodní část je věnována obecné charakteristice sedimentů a udává množství sedimentů v jednotlivých prvcích hydrologické sítě v České republice a ve světě. Následující dvě části popisují příčiny a důsledky zvýšeného obsahu sedimentů ve vodním prostředí. V další části jsou určeny faktory ovlivňující odnos sedimentů do povrchových vod a popis těchto faktorů. Poslední dvě části, jež jsou nejobsáhlejší, se zabývají prostředky sloužící ke snížení odnosu sedimentů v zemědělské krajině z pohledu protierozní ochrany a možnostmi využití delimitace k omezení odnosu sedimentů.

Cílem této práce je určit a popsat ochranná opatření, především delimitační, která slouží ke snížení odnosu sedimentů v zemědělské krajině a zároveň poukázat na důsledky, které jsou způsobeny sedimenty ve vodním prostředí, pocházející především z nedostatečně chráněné zemědělské půdy.

Klíčová slova: sediment, vodní eroze, protierozní ochrana, delimitace, ochranné zatravnění a zalesnění

Abstract

This Bachelor's Thesis deals with sediment denuding and with its possible reduction in the agricultural landscape by means of delimitation and other erosion control measures.

The introductory part is devoted to general characteristics of the sediment, and indicates the amount of sediment in each element of hydrological network in the Czech Republic and in the world. The following two parts describe causes and consequences of higher concentration of sediment in the water environment. Factors affecting sediment denuding into surface waters and the description of these factors are determined in the following part. The last two parts, which are the most comprehensive, deal with means serving to reduction of sediment denuding in the agricultural landscape in term of erosion protection, and possibilities of delimitation application to limit sediment denuding.

The aim of this work is to identify and describe protective measures, especially delimitation measures, which are used to reduce sediment denuding in the agricultural landscape, while pointing out the consequences that are caused by sediment in the water environment, coming mainly from poorly protected farmland.

Key words: sediment, water erosion, erosion protection, delimitation, protective grassing and forestation

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Sedimenty	11
2.1 Vznik sedimentů.....	11
2.2 Rozdělení sedimentů	11
2.3 Vlivy sedimentů	12
3. Obsah sedimentů v jednotlivých prvcích hydrologické sítě	13
3.1 Obsah sedimentů v prvcích hydrologické sítě ČR	13
3.2 Obsah sedimentů v prvcích hydrologické sítě ve světě	14
4. Příčiny zvýšeného obsahu sedimentů ve vodách	16
4.1 Eroze	16
4.1.1 Vodní eroze	17
4.1.2 Břehová abraze.....	20
4.2 Vnitřní zanášení	21
4.3 Zanášení přítokem.....	22
5. Důsledky zvýšeného obsahu sedimentů ve vodách.....	23
5.1 Vliv na vodní ekosystém.....	24
5.2 Vliv na vodní hospodářství	24
5.2.1 Působení na vodní toky	25
5.2.2 Působení na vodní nádrže.....	26
5.3 Odstraňování sedimentů.....	28
5.3.1 Průzkum dna nádrže.....	28
5.3.2 Těžba sedimentů.....	29
5.4 Využití sedimentů	31
6. Faktory ovlivňující odnos sedimentů do povrchových vod.....	34
6.1 Klimatické faktory	34
6.2 Geologické a půdní faktory	35
6.2.1 Půdní faktor.....	35
6.2.2 Geologický faktor.....	37
6.3 Morfologické faktory	37

6.4 Vegetační poměry	39
6.5 Hospodářsko – technické poměry	41
7. Prostředky sloužící ke snížení odnosu sedimentů v zemědělské krajině – protierozní ochrana.....	43
7.1. Opatření proti vodní erozi	44
7.1.1 Opatření organizačního charakteru	45
7.1.2 Opatření agrotechnického charakteru	50
7.1.3 Opatření technického (biotechnického) charakteru	54
8. Možnosti využití delimitace k omezení odnosu sedimentů.....	60
8.1 Ochranné zatravnění.....	60
8.2 Ochranné zalesnění	62
9. Závěr.....	65
10. Seznam použité literatury.....	67

1. Úvod

Na dně vodních toků, nádrží, jezer a moří se ukládají anorganické a organické látky. Tyto ukládané látky se nazývají sedimenty. Sedimenty významně ovlivňují vodní ekosystém a vodní hospodářství a to především z negativního hlediska. Často jsou zařazovány mezi nejvíce znečišťující látky vodního prostředí. Z tohoto důvodu vznikla nutnost otázku sedimentů řešit.

Z mnoha vědeckých výzkumů a studií bylo zjištěno, že převážná část sedimentů má svůj původ ve vodní erozi půd. Eroze půdy je proces oddělování, transportu a ukládání půdního materiálu. Nejvíce sedimentů bude tudíž pocházet ze zemědělských půd, které mají ideální podmínky pro vznik vodní eroze. Přehlížet nelze ani plochy lesní, zejména ty, kde probíhá těžba dřeva a dále ani plochy obnažené v důsledku stavební činnosti.

S problémem vodní eroze se nepotýká jenom Česká republika, ale téměř celý svět. Je nezvratnou skutečností, že erozi nelze zcela zabránit, ale je ji možné omezit prostřednictvím protierozní ochrany.

Protierozní ochranu chápeme jako komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, jejichž cílem je chránit půdu před účinky dopadajících kapek deště, podporovat vsak vody do půdy, zlepšovat soudržnost půdy a její strukturu, omezovat unášecí sílu vody a soustředěného povrchového odtoku, neškodně odvádět povrchově odtékající vodu a zachycovat smytou zeminu.

O použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje jejich účinnost a množství vynaložených nákladů k jejich provedení. V dnešní době jsou nejčastěji využívané organizační opatření, protože jejich zavedení nevyžaduje vysoké investiční náklady a mají vysoký protierozní účinek. Do organizačního opatření zařazujeme především delimitaci kultur, která využívá ochranného zatravnění a zalesnění na snížení vodní eroze (odnosu sedimentů).

2. Sedimenty

2.1 Vznik sedimentů

Sediment je usazenina složená z nerozpuštěných anorganických i organických látek, které se vlivem tíže usazují na dně vodních prostorů (řek, jezer, vodních nádrží, moří, oceánů) (*Westrich, Förstner, 2007*).

Ukládání sedimentárního materiálu neboli sedimentace je složitý pochod, který může být výsledkem jednoho nebo více procesů mechanické, chemické, biochemické i organické povahy. Základní příčinou vzniku sedimentů je působení endogenních a exogenních sil. Endogenní síly, a to především pohyby tektonické, vedou k výškové diferenciaci pevnin i dna moří. Z vyvýšených oblastí vlivem exogenních pochodů, zejména zvětráváním, denudací a erozí, nastává odnos klastického (úlomkovitého) materiálu, který je následně ukládán ve vodním prostředí nebo v depresích nejrůznějšího druhu (*Petránek, 1963*). Na vznik sedimentů se mohou podílet i životní pochody rostlinstva a živočichů, probíhající ve vodním prostředí (*Babuška, Mužík, 1981*).

2.2 Rozdělení sedimentů

Nerozpuštěné látky nacházející se ve vodním prostředí rozdělujeme na sedimentované na dně, sedimentující ve formě suspenze a koloidní, které prakticky nesedimentují. Základní dělení je tedy odvislé od velikostí částic a udává se jejich průměrem (*Kvítek, Gergel, Kvítková, 2005*).

Rozdělení sedimentů podle zrnitostního složení:

Pro účely zrnitostního složení se využívá Kopeckého klasifikace. To jest rozdělení zrn podle velikosti do jednotlivých frakcí – viz. tab. č. 1 (*Kukal, 1985*).

Tab. č. 1 Systém třídění půdních částic podle velikosti používaný v ČR – podle Kopeckého (Šimek, 2005).

Název	Průměr částic	Kategorie (frakce)
jíl	pod 0,002 mm	
jemný prach	0,001 – 0,01 mm	I. (jílkaté částice)
prach	0,01 – 0,05 mm	II.
práškovitý písek	0,05 – 0,1 mm	III.
písek	0,1 – 2 mm	IV.
skelet	nad 2 mm	

V zemědělské praxi se třídí sedimenty obdobně jako půdy – viz. tab. č. 2. V pedologické a stavební praxi se používá přesnější rozdělení, protože Kopeckého klasifikace spojuje jílové a prachové částice do jedné kategorie, avšak pro základní představu o zrnitostní skladbě půdy a usazenin je stále univerzální (Kvítek, Gergel, Kvítková, 2005).

Tab. č. 2 Stupnice půdních druhů – podle Nováka (Kozák et al., 2002).

Obsah I. kategorie (% hmotnosti)	Půdní druh
0 – 10	písčítá
10 – 20	hlinitopísčítá
20 – 30	písčitohlinitá
30 – 45	hlinitá
45 – 60	jílovitohlinitá
60 – 75	jílovitá
> 75	jíl

V technické praxi se rozdělují částice transportované vodou na korytvorné splaveniny a jemné splaveniny. Pro hrubou nicméně velmi přehlednou orientaci, jejímž cílem je rozlišení na základní velikostní frakce, jsou rozhodující následující tři kategorie:

- I. < 0,063 mm
- II. 0,063 – 2,0 mm
- III. > 2,0 mm (Kvítek, Gergel, Kvítková, 2005)

2.3 Vlivy sedimentů

Sedimenty jsou nejvíce viditelnou znečišťující látkou vznikající z plošného zdroje. Účinky nadměrného zatížení sedimentu ve vodním prostředí zahrnují zhoršení estetického dojmu, ztráty kapacity toků a nádrží, změny ve vodní populaci a jejich zásoby potravy. Hromadění usazenin může také zabraňovat některým příznivým bentickým procesům. Kromě toho, sediment – zejména jeho jemné frakce jsou primárním nositelem znečišťujících látek (Novotny, Chesters, 1981).

3. Obsah sedimentů v jednotlivých prvcích hydrologické sítě

3.1 Obsah sedimentů v prvcích hydrologické sítě ČR

Důsledky erozních procesů v poměrně členitém území naší republiky se promítají především v zanášení dílčích prvků hydrologické sítě, zejména rybníků a nádrží.

V České republice je 42 tis. ha rybníků s výměrou větší než 1 ha, ve kterých je uloženo 196 mil. m³ sedimentu, 9 tis. ha rybníků s výměrou menší než 1 ha, ve kterých je uloženo 30 mil. m³ sedimentu, 60 765 km drobných vodních toků a závlahových kanálů, ve kterých je uloženo 5 mil. m³ usazenin a 8 287 km odvodňovacích kanálů, ve kterých je uloženo 0,6 mil. m³. Hlavní objem usazenin je u toků a údolních nádrží ve správě podniků Povodí, a.s. (MZe, 1999).

Materiál usazený na dně těchto prvků hydrologické sítě je výsledkem erozních procesů v povodí. Podle rychlosti proudění, sedimentace a hloubky vody je tvořen štěrkopíský a písky v proudných úsecích toků nebo je jílovitý až jílovitohlinitý většinou s vysokým podílem organické hmoty v nádržích a rybnících (Kluibr, 2010).

Rybníky jsou rozděleny do tří tříd naléhavosti odstranění sedimentu. Do I. třídy jsou začleněny nádrže prakticky zcela zazemněné, které mají průměrnou mocnost usazenin větší než 0,4 m a vyžadují okamžitý zásah. Ve II. třídě jsou zařazeny nádrže s mocnostmi usazenin 0,2 – 0,4 m, s výhledem těžby bahna v příštích 7 – 15 letech. Ve III. třídě jsou nádrže zanesené usazeninami zatím na přijatelné úrovni, u kterých se předpokládá odstranění sedimentu v časovém horizontu 15 až 20 let (Soukup, 2006).

Tab. č. 3 Odhad objemu usazenin v malých vodních nádržích a rybnících ČR (Kvítek, Gergel, Kvítková, 2005).

Druh sedimentu	Celkem tis. m ³	Z toho ve třídě naléhavosti tis. m ³		
		I.	II.	III.
rybniční bahno	151 495	6 464	87 840	57 191
rybniční okraje	44 741	1 919	25 935	16 887
sediment celkem	196 236	8 383	113 775	74 078

Obsah bahna od roku 1962 do roku 1992 zdánlivě ubyl. Tento rozpor vyplývá z faktu, že ty plochy, které náležely před 40 lety vodní hladině a na jejichž dně bylo uloženo rybniční bahno, se změnilý v zarostlé litorální části nádrže. V kategorii rybničních okrajů se zvýšil objem usazenin na 219,62 % stavu r. 1962. Při

pozorování současné míry zanesení nádrží se stavem šedesátých let minulého století lze zaznamenat nárůst množství sedimentu ve výši přes 13 mil. m³ – viz. tab. č. 4 (Soukup, 2006).

Tab. č. 4 Objem sedimentů v rybnících v letech 1962 – 1992 (MZe, 1999).

Druh sedimentu	rok 1962 tis. m ³	rok 1992 tis. m ³	rozdíl tis. m ³
rybniční bahno	162 571	151 495	-11 076
rybniční okraje	20 372	44 741	24 369
sediment celkem	182 943	196 236	13 293

3.2 Obsah sedimentů v prvcích hydrologické sítě ve světě

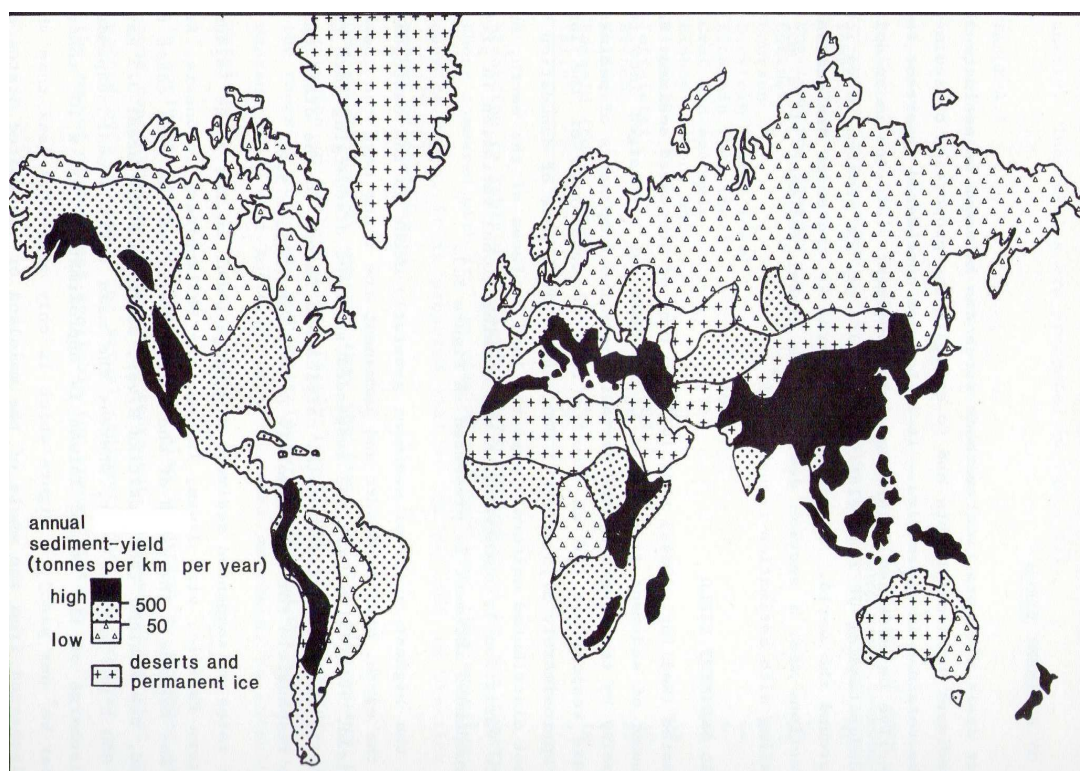
Převážná část sedimentů pochází z eroze zemědělských půd, nicméně významně se podílí i eroze z ploch obnažených v důsledku stavební činnosti, eroze polních a lesních nezpevněných cest, koryt břehů vodních toků při povodních, vymílání zaplavené půdy, mechanizovanou těžbou dřeva poškozené lesní půdy a ztráty půdy ze sesuvů půdy apod. V některých povodích může smyv pocházející z těchto zdrojů daleko převažovat nad smyvem ze zemědělské půdy (Janeček *et al.*, 2008).

Milliman a Meade (1983) odhadují, že je celkem ročně transportováno 15x10⁹ tun sedimentu řekami do oceánů. Množství transportovaného sedimentu z různých oblastí světa je velice odlišné – viz. obr. č. 1. Oblasti s nejvyšším množstvím přepravovaného sedimentu se obecně vyskytují kolem rovníkového pásu, naopak nejnižší hodnoty se dosahují v oblastech pouští a permanentního ledu. Prakticky polovina ročně transportovaného sedimentu je zastoupena Asií. Na druhé straně Afrika s Evropou jsou přibližně zodpovědné jen za 8 % (Annandale, 1987).

Odhad množství přepravovaného sedimentu je zásadně klíčový bod pro posouzení a návrh významných vodních děl jakou jsou přehrady, vodní elektrárny a protipovodňové stavby. Odhaduje se, že na celém světě je více než milion rybníků a 39 000 přehrad (Verstraeten, Poessen, 2000). Předpokládá se, že roční ztráta retenční kapacity světových nádrží v důsledku ukládání sedimentu se pohybuje okolo 0,5 – 1 %. Roční úbytky obsahu mnoha nádrží mohou dosáhnout až 4 % nebo 5 %, takže ztratí většinu své kapacity už po 25 – 30 letech. Tyto vysoké míry ztráty představují vážnou hrozbu pro ekonomickou udržitelnost nádrží. To znamená, že

během 50 let se vodní světová kapacita nádrží sníží o polovinu současné kapacity, což bude mít velké ekonomické a ekologické důsledky (WCD, 2000).

Obr. č. 1 Globální mapa znázorňující množství transportovaného sedimentu (Annandale, 1987).



Tab. č. 5 Roční transport sedimentů v největších světových řekách (Brady, Weil, 1999).

Řeka	Země	Transport sedimentů (mil. t)
Jang-c-tiang	Čína	1600
Ganga	Indie, Nepál	1455
Amazonka	Brazílie, Peru	363
Mississippi	USA	300
Irrawaddy	Barma	299
Kosi	Indie, Nepál	172
Mekong	Vietnam, Thajsko,...	170
Huang He	Čína, Vietnam	130
Nil	Sudán, Egypt	111

4. Příčiny zvýšeného obsahu sedimentů ve vodách

4.1 Eroze

Slovo „eroze“ je latinského původu a je odvozené od slova „erodere“ – rozhlodávat. V nejširším smyslu slova pojmem „eroze“ rozumíme rozrušování litosféry, resp. pedosféry pohybující se hmotou erogenního původu. V současné době se eroze definuje jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody, větru, ledu a jiných tzv. erozních činitelů (*Janeček et al., 2008*).

Podle erozních činitelů je tedy možné erozi třídit na erozi vodní, větrnou, ledovcovou, sněhovou, abrazi a antropogenní erozi (*Foster, 1988*).

Problém eroze je celosvětovým a je mu nutno věnovat prvořadou pozornost. Vodní eroze patří mezi nejškodlivější přírodní jevy (*Buzek, 1983*). Z necelých 15 milionů km² všech půd ve světě je přes 9 milionů km² ohrožených vodní erozí ve stupni plošné eroze, z toho necelé 2 milionů km² jsou již v současnosti vážně degradované. Obecnou příčinou obvykle bývá nerespektování přírodních charakteristik a zákonů. Eroze je přitom jevem, který se uplatňuje i bez vlivu člověka – *eroze přirozená* (geologická). Vinou člověka se tento jev plošně rozšířil a zintenzívněl. Tuto intenzivní formu eroze půdy, při níž dochází ke ztrátě půdy vyšší než kolik je schopno se na daném místě v daném čase vyvinout přirozenými půdotvornými procesy, obvykle charakterizujeme jako *zrychlenou erozi* (*Sklenička, 2003*).

Obecně se uznává, že *zrychlená eroze* půdy je vážným světovým problémem. Obtížné je však určit rozsah, velikost a rychlost půdní eroze a její důsledky pro hospodářství a životní prostředí (*Janeček et al., 2002*). Odhaduje se, že množství sedimentů odnášených do oceánů vzrostlo z 10 miliard t. rok⁻¹ před zavedením intenzivního zemědělství (pastvy) na 25 miliard t. rok⁻¹ v současnosti. Za tu dobu bylo zničeno 430 mil. ha produktivních ploch. Současná degradace půdy erozí a jinými faktory vede k nevratné ztrátě produkce na ploše 6 mil. ha. rok⁻¹ (*Janeček et al., 2008*).

Tato varující statistika je zatížena nepřesnostmi použitých metod k získávání údajů a jejich extrapolací, neboť globální extrapolace založená na několika údajích zjištěných různými metodami může být chybná (*Janeček et al., 2002*).

Eroze patří i u nás mezi nejškodlivější přírodní jevy (*Pasák et al., 1984*). V České republice je ohroženo přibližně 54 % orných půd vodní erozí. Na území státu je ohroženo 43 % orné půdy se sklonem 3 – 7°, téměř 10 % se sklonem 7 – 12° a 0,7 % se sklonem nad 12° (*Slavík, 2000*).

Eroze 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 a způsobuje ztráty osiv a sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin (*Janeček et al., 2008*). Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin (*Janeček et al., 2002*).

Usazeniny se mohou stávat potenciálně nebezpečné pro čistotu vody, zejména zdrojů pitné vody, neboť jejich chemicky aktivní povrchová vrstva umožňuje adsorpci a desorpci látek působících toxicky nebo jinak škodlivě a urychlujících eutrofizaci, jako jsou rostlinné živiny, pesticidy, těžké kovy, radionukleidy, tenzidy a mikroby (*Pasák, Janeček, Šabata, 1983*). Eroze může také negativně zasahovat u vegetace do procesu fytocenózy, vývoje, klíčení, rozptylování a prostorového uspořádání (*Jiao et al., 2009*).

4.1.1 Vodní eroze

Dešťové kapky dopadající na nechráněný půdní povrch rozrušují svou kinetickou energií půdní agregáty a uvolňují půdní částice. Je-li intenzita a úhrn deště větší než vsakovací schopnost půdy, dochází po zaplnění mikroakumulačních prostor na povrchu půdy k povrchovému odtoku (*Janeček et al., 1992*). Poté vodou rozrušený povrch půdy je přemísťován a ukládán jako erozní sediment (*Slavík, 2000*).

Vodní eroze se projevuje nežádoucím smyvem půdy vlivem unášecí síly vody a jejím ukládáním v nižších partiích povodí. Příčinou vodní eroze jsou nejčastěji přívalové deště, tání sněhu nebo stálý (kolísavý) průtok v korytech vodních toků (*Sklenička, 2003*).

Podle projevů vodní eroze na půdním povrchu se rozlišují formy eroze na erozi plošnou, výmolovou a proudovou (*Sanetrník, Filip, 1991*).

Působením plošné eroze se profil půdy postupně snižuje a v některých případech až na skalní podloží. První fází plošné eroze je kapková eroze, kterou vznikají v půdě drobné jamky. Další fází je eroze, která probíhá při pohybu vody po nakloněné ploše půdního povrchu. Při malé kinetické energii vody jsou jí vyplavovány nejjemnější půdní částice, a proto má silný výběrový (selektivní) účinek (*Janeček et al., 2008*).

Výmolová vodní eroze vzniká postupným soustředěním povrchově stékající vody, která vyrývá v půdním povrchu mělké zářezy, postupně prohlubující. Prvním stadiem výmolové eroze je eroze rýžková a brázdová. Z rýžek a brázd vznikají pokračujícím soustředěním povrchově stékající vody hlubší rýhy, které se směrem po svahu postupně spojují a prohlubují, výsledkem je rýhová eroze. Rýhová eroze přechází ve vyšší stupeň – erozi výmolovou a ta v nebezpečnou, území devastující erozi stržovou (*Holý, 1994*).

Podle Roehla (*1965*) v humidních oblastech převažuje plošná eroze, zatímco v aridnějších oblastech, kde se dešťové srážky vyskytují jako krátkodobě intenzivní přívaly, je zdrojem největších ztrát půdy výmolová eroze. Materiál smytý plošnou erozí je zpravidla jemné zrnitosti, unášený v suspendovaném stavu. Eroze výmolová je obvykle zdrojem materiálu větší zrnitosti a může být z hlediska ukládání nánosů významnější než eroze plošná (*Janeček, 1978*).

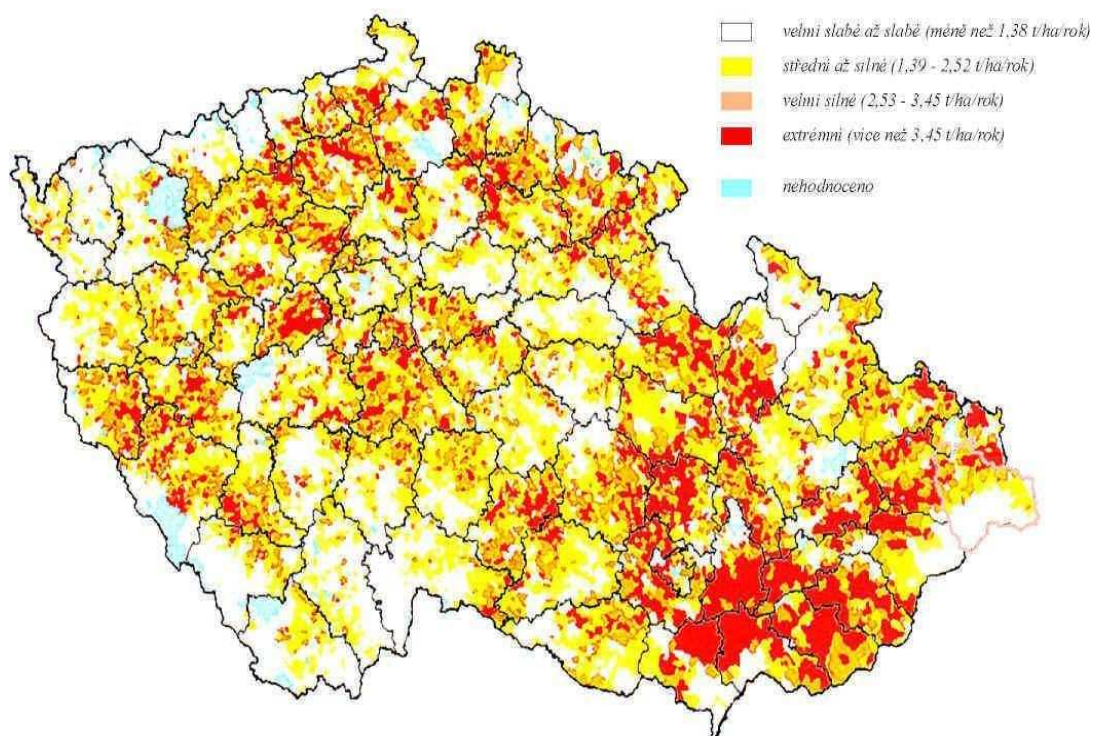
Proudová eroze vzniká působením soustředěné vody na dno a svahy vodních toků. Podle místa výskytu se proudová eroze dělí na erozi říční a erozi bystřinou (*Sanetník, Filip, 1991*). Nejvýrazněji se projevuje proudová eroze v bystřinách, jež nesou obvykle velké množství splavenin (*Holý, 1994*).

Erozi je možné třídit i podle její intenzity – viz. tab. č. 6 (*Janeček et al., 2008*). Intenzita eroze vyjadřuje ztrátu vlivem eroze za časový úsek (obvykle 1 rok) na jednotkové ploše (obvykle 1 ha). Půdní ztrátu je možné vyjádřit v jednotkách objemových (m^3), hmotnostních (t) nebo jako výšku ztráty půdy (mm). Často jsou užívány jednotky: $t \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$, $mm \cdot r^{-1}$ (*Sanetník, Filip, 1991*).

Tab. č. 6 Třídění vodní eroze podle intenzity odnosu (Zachar, 1970).

Stupeň	Intenzita odnosu půdy erozí (mm. rok ⁻¹)	Hodnocení eroze
1	do 0,05	nepatrná
2	0,05 – 0,5	slabá
3	0,5 – 1,5	střední
4	1,5 – 5,0	silná
5	5,0 – 20,0	velmi silná
6	nad 20,0	katastrofální

Obr. č. 2 Potenciální ztráta půdy vodní erozí v katastrech České republiky (www.sweb.cz).



4.1.2 Břehová abraze

V oblastech přístupných větru se u nádrží s vyššími hlinitými břehy projevuje často ve zvýšené míře proces porušování břehové linie doprovázený sesuvy půdy. Tento jev je častý u nádrží s kolísající hladinou, např. závlahových nádrží. Vlnobití svou kinetickou energií poškozuje břehy nádrže. Jeho účinek závisí na délce břehu a charakteru nádržní kotliny (Kvítek, Gergel, Kvítková, 2005).

Výška dosahu vlnobití se odvozuje od přímé šířky větrem vzduté hladiny ve směru převládajících větrů, nejvyšší možné rychlosti větru a hloubky vody. Zatopením se mění podmínky stability zemin na svazích. Hmotnost a soudržnost promočených zemin se pod hladinou zmenšuje, mechanické vlastnosti zemin nad hladinou však zůstávají beze změny. Při náhlém snížení vodní hladiny tlačí prosakující voda částice zeminy směrem do nádrže, a tím vzniká nebezpečí sesuvu svahu. To přichází v okamžiku, jestliže úhel sklonu svahu je zhruba poloviční než úhel vnitřního tření zeminy (Soukup, 2006).

Eroze se projevuje nejvíce na svazích z hlín, sutí, písku a spraší. Tyto materiály odolávají špatně i poměrně malému eolickému vlnění a vlnobití. Postupně jsou podemílány a sesouvají se. Tak se vytváří abrazní srub ukončený srázem a plochá pobřežní plošina. Podobná situace může nastat při úpravě břehové části zahloubených nádrží, kdy je na původní přirozený svah vyhrnuta a následně upravena zemina ze stavby (Kvítek, Gergel, Kvítková, 2005).

Tab. č. 7 Orientační hodnoty úhlů, při nichž jsou břehy ještě odolné vůči abrazi (Novák, Ibllová, Škopek, 1986).

hlinité písky	2 – 4°
jemnozrnné písky	3 – 5°
svahové a sprašové hlíny	4 – 6°
jíly	7 – 8°
šterky s hlinitou příměsí	18 – 22°
šterkokamenité sutí	22 – 26°

Dalšími jevy urychlujícími zanášení nádrží jsou eroze a sesuvy na sklonitých svazích nad břehy a vliv ledů. Projevují se hlavně u nových nádrží v prvních letech po napuštění. Dlouhodobou příčinou zanášení je zvětrávání břehů v oblastech s jílovými

sedimenty, která vede ke sklonové erozi často po celou dobu životnosti nádrže (Soukup, 2006).

4.2 Vnitřní zanášení

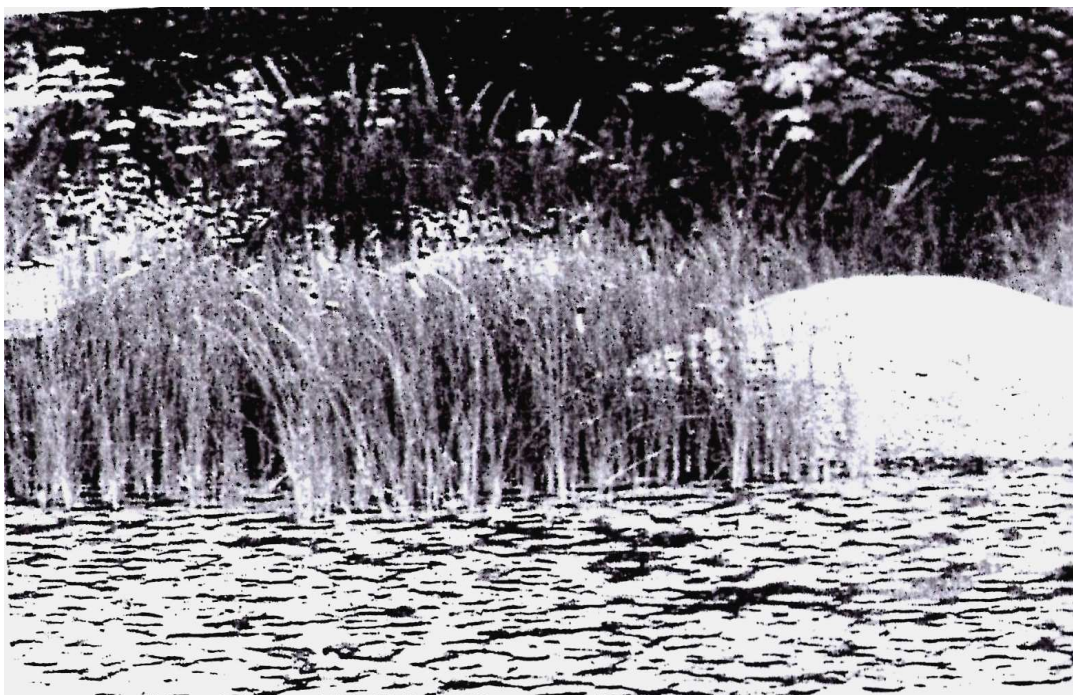
Dalším zdrojem je vnitřní zanášení. Vzhledem k tomu, že většina nádrží je osídlena vodními rostlinami a různými živočichy, k jejichž růstu a vývoji patří i odumírání, zánik a rozklad biomasy ve vodě, je možno opět mluvit o procesu přirozeném. Nepřirozených rozměrů však může být dosaženo vlivem příznivých podmínek pro vývoj organismů, a to především pro růst vyšších vodních rostlin, řas a sinic. Tyto příznivé podmínky zaručuje dostatek, resp. nadbytek živin, zejména těch, které obsahují dusík a fosfor (Vrána, Beran, 1998).

Produkce měkkých a především tvrdých vodních rostlin zde často dosahuje několika desítek tun hmoty z hektaru vodní plochy za rok. Tato hmota po skončení vegetační sezóny odumírá a doba jejího rozkladu trvá u měkké vodní vegetace 1 – 3 měsíce, u tvrdé vodní vegetace 1 – 3 roky. Představuje tak významný podíl nárůstu sedimentů. Roční přírůstek nově se tvořících usazenin činí až 20 – 50 mm. Při průměrné hloubce nádrže 0,6 m je možné její životnost odhadnout na 10 – 30 let (Soukup, 2006).

Proto je jedním ze základních požadavků směřujících k zachování životnosti nádrží, a tím i pohotových bilančních zásob vody v krajině minimální průměrná hloubka u okrajů nádrže 0,6 až 0,8 m. Výjimku představují ty nádrže, které mají již vyvinutý litorální pás osídlený významnými druhy živočichů a rostlin. Jejich hlavním posláním v tomto případě bude konzervace dosavadního stavu a tomuto účelu se přizpůsobí provozní a manipulační řád nádrže (Kvítek, Gergel, Kvítková, 2005).

První příznakem, že přitékající voda je eutrofní a obsahuje dostatek živin v náležitém poměru je rozvoj mikroskopických rostlin, řas a sinic. Na rozdíl od vyšších vodních rostlin mají životní cyklus trvající dny až týdny. Po této době hynou a sedimentují ve formě jemného kalu – sapropelu. Rychlost přírůstu sedimentu z tohoto zdroje může činit až $10 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$, v mimořádně příznivých případech až $20 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$. Vzniklý organominerální kal se soustavně splavuje z celé plochy nádrže do nejhlubších částí nádrže, k výpusti. Při nesprávné manipulaci s vodou se může uvolnit a zatížit svou přítomností níže položené části hydrologické soustavy (Gergel, Janeček, 1996).

Obr. č. 3 Hladina vodní plochy pokryta vyššími vodními rostlinami (Šlezinger, 2005).



4.3 Zanášení přítokem

Mezi další zdroje zanášení můžeme zařadit zanášení přítokem. Tímto zdrojem jsou ohroženy všechny nádrže průtočné. U neprůtočných nádrží toto nebezpečí hrozí jen v případě poruchy nebo nesprávné obsluhy rozdělovacího objektu (Vrána, Beran, 1998).

Nádrže průtočné mají po celý rok zajištěn stálý přítok, jehož velikost je závislá na velikosti a tvaru povodí a jeho hydrologickém režimu. V povodích náchylných k erozi přítok slouží jako stabilní transportní zdroj alochtonních nerozpuštěných látek (Soukup, 2006).

Zdrojem zanášení jsou produkty eroze ze zemědělských pozemků, dále z lesních pozemků, zejména z poškozených lesních porostů a z porostů, v nichž jsou prováděny zásahy těžbou mechanizací a splachy ze zastavěných ploch (Vrána, Beran, 1998).

U nádrží protékajících je proto nutné prověřit z hlediska stability proti vodní erozi celé jejich povodí (Kvítek, Gergel, Kvítková, 2005).

5. Důsledky zvýšeného obsahu sedimentů ve vodách

Činností člověka dochází k narušování přirozených látkových a energetických toků v krajině. Je to jev nevyhnutelný, ale je nutno mít na paměti, že následky tohoto narušení se mohou projevit v dlouhodobém časovém horizontu na zcela nečekaném místě.

Nejčastějším případem, s nímž je možno se setkat, jsou zřejmě erozní a transportní procesy na zemědělské půdě nebo jako následek stavební, těžební nebo jiné činnosti člověka. Při významných srážkových událostech nebo při rychlém tání sněhu vzniká povrchový odtok, který se podílí na vzniku a rozvoji vodní eroze a následném transportu půdních částic (*Vrána et al., 1998*).

Z počátku sedmdesátých let tomuto jevu nebyla věnována zvláštní pozornost. Eroze byla chápána jako nutný negativní průvodce činnosti kladené – intenzifikace výroby, spojené s vyššími výnosy zemědělských plodin. Vrstvíci se sediment však začal působit značné potíže ve vodním ekosystému. První známky negativního vlivu nadměrného transportu sedimentů zaznamenali rybníkáři, kteří zpočátku spokojeně sledovali bezplatný přísun živin do rybníků. Když však voda v rybnících začala vykazovat $\alpha - \beta$ mesosabrobitu podle stupnice Pantleho a Bucka, když docházelo ke kolísání pH, kyslíku od nadměrného množství až po deficity, silné eutrofizaci a následným úhynům ryb, začali kvalitu vody sledovat a začali se bránit. Negativní vliv byl zaznamenán i v ostatních tocích a nádržích, zejména vodárenských. Nadměrné množství živin způsobilo eutrofizaci, anaerobní podmínky v silné vrstvě sedimentu druhotné uvolňování živin do vody a úbytkům kyslíku (*Vojtěch, 1988*).

Proto vznikla nutnost otázku sedimentů řešit. Především se jeví naléhavá potřeba rozšířených znalostí o výskytu sedimentů a jejich vlastnostech ve vztahu ke zdrojům a možnostem omezení jejich produkce. Při celkovém posuzování problematiky znečišťování vody je nutné konstatovat, že erozí smyté půdní částice jsou největším znečišťujícím faktorem v objemovém pojetí (*Janeček et al., 2002*).

Vliv půdních částic odnášených povrchovým odtokem na znečištění je různý a proměnlivý. Některý lze přímo vyčíslit náklady na nezbytnou úpravu vodních zdrojů pro obyvatelstvo, průmysl a zemědělství. Jiné jsou méně zřejmé a mohou být jen obtížně vyjádřeny v ekonomických hodnotách (*Janeček et al., 2008*). *Robinson (1971)* uvádí, že škody, které působí erozní sediment ve vodních tocích, nehledě k snížení úrodnosti zemědělské půdy, činí v USA každoročně 262 mil. dolarů.

5.1 Vliv na vodní ekosystém

Ritchie (1972) uvádí že sediment a zákal vody poškozuje vodní ekosystém mnoha způsoby:

- snížením pronikání světla, což vede k menší fotosyntéze a k snížení množství potravy ve vodním ekosystému a tedy i k menší produkční schopnosti.
- snížení obsahu kyslíku v důsledku zakalení nebylo zjištěno, ale rozklad organické hmoty, velmi často obsažené v sedimentech, váže rozpuštěný kyslík, takže skutečně dojde ke snížení jeho obsahu ve vodě. Obsah organické hmoty v sedimentech je ovlivněn rychlostí jejich přírůstků, intenzitou produkce usazování sestonu, intenzitou rozkladu v sedimentu a rychlostí sedimentace.
- sediment snižuje životnost rybích jiker a potěru. *Hassler (1970)* uvádí o 97 % úhynu štičích jiker pokrytých 1 mm vrstvou sedimentu.
- působením sedimentů dochází k výraznému snížení počtu jedinců i druhů koryšů a měkkýšů žijících u dna, toto se týká i snížení množství hmyzu u dna toků a snížení množství na dně rostoucích rostlin.
- turbidita snižuje schopnost ryb zajistit si potravu, ale v mnoha případech usnadňuje, aby mladé ryby unikly dravcům (*Janeček et al., 2002*).
- vlivem eroze a sedimentace může dojít ke snížení hloubky toků a zrychlení průtoku, čímž dochází ke zmenšení počtu míst vhodných pro život ryb.
- sedimenty mohou též způsobit změny dalších ekologických podmínek (teploty, kvality vody apod.) a být prostředím, ve kterém přežívají patogenní organismy způsobující onemocnění ryb (*Janeček et al., 2008*).

5.2 Vliv na vodní hospodářství

Povrchový odtok a vodní eroze obecně negativně působí na vodní hospodářství v krajině. Působení na jednotlivé složky má však své specifické rysy:

- zanášení – splaveniny zanášejí přirozené i umělé vodní toky (plavební, odvodňovací a jiné kanály), vodní nádrže a stavby na tocích. Zmenšují potřebnou kapacitu toků a kanálů, což ovlivňuje zásobování různých odvětví národního hospodářství a mnohdy omezuje funkci kanálů (*Holý, 1994*).
- přímé kvalitativní vlivy – do vody jsou přinášeny toxické látky, organické znečištění či zákal, které přímo negativně ovlivňují kvalitu vody.

- sekundární projevy – snížení hloubek umožňuje rychlejší zarůstání, což zpětně urychluje zanášení. Uvolňování akumulovaných živin ze sedimentu způsobuje eutrofizaci nádrže. Opětované zaplavení vegetace narostlé na obnažených sedimentech může mít za následek kyslíkovou havárii s následným uvolňováním fosforu ze sedimentů, usazených na dně (*Vrána et al., 1998*).

5.2.1 Působení na vodní toky

Zanášení toků je důsledkem erozních a transportních procesů, který probíhá v povodí. Pohyb pevných a rozpuštěných látek z místa vzniku do hydrografické sítě je složitým transportním procesem, který je proměnný v prostoru i čase. Podle charakteru usazenin a rychlosti proudění vody dochází na různých místech k jejich sedimentaci. Intenzita zanášení je dána parametry a hydraulickou funkcí koryt toků (*Janeček et al., 2002*).

Hlavní problémy ve vodních tocích:

- V korytech toků vytvářejí usazeniny postupně překážky proudící vodě, jejichž důsledkem je časté zhoršení funkce příčných prvků v toku, zanášení drenážních výpustí, propustků a míst odběru vody (*Soukup, 2006*).
- Zanášením koryta ubývá jeho průtočnost, což způsobuje při větších průtocích vylévání vody z koryt a vznikají povodně (*Vojtěch, 1988*).
- Spolu s půdními částicemi (zejména jejich nejjemnější složkou) je ze zemědělských pozemků přinášeno i velké množství živin. Jemnozrnné sedimenty v toku pak negativně ovlivňují kvalitu vody a poskytují životní podmínky organismům a rostlinám náročným na živiny ve vodě i v půdě, čímž dochází ke změnám v biologických charakteristikách toku – změna oživení i břehového porostu. Bujná vegetace zvyšuje drsnost břehů, snižuje kapacitu koryta a průtočnou rychlost, čímž se opět urychluje zanášení a zvyšuje hladina vody (*Vrána et al., 1998*).
- Sedimenty v tocích zvyšují niveletu dna, to vyvolává nebezpečí vzniku nežádoucích inundací a zvýšení hladiny podzemní vody v přilehlém území, což způsobuje zamokření (*Holý, 1994*).

- Sedimenty obsahují značné množství živin, ale i rizikových látek (např. z imisních spadů nebo látky aplikované na zemědělské pozemky spolu s fosfátovými hnojivy nebo používané na ochranu osiva, apod.), které mohou být za určitých okolností (kolísání hladiny, resuspendace sedimentů, změnou kyslíkových a teplotních poměrů apod.) uvolněny zpět do vodního prostředí (*Janeček et al., 2008*).

5.2.2 Působení na vodní nádrže

Zanášení nádrží a vytváření a ukládání sedimentu je důsledkem erozních a transportních procesů, které probíhají v povodí nádrží (*Gergel et al., 1995*).

Nejvíce ohroženy jsou průtočné vodní nádrže. Nádrže obtokové jsou před sedimenty naopak poměrně dobře chráněny, na druhé straně je ale zpravidla jejich vliv na kvalitu vody nebo regulaci odtoku minimální (*Vrána et al., 1998*).

Sedimenty mají z hlediska funkce nádrže a kvality vody řadu negativních dopadů:

- Sedimenty zmenšují prostor nádrží, čímž vznikají přímé škody trvalou ztrátou objemu vody a obecně se tím snižuje akumulace vody v území.
- Zmenšení objemu nádrže vede ke změnám v její hydraulické funkci (např. ke zkrácení doby zdržení u ochranných předzdrží a rybníků), ke snižování zabezpečení odběru vody atd. (*Soukup, 2006*).
- Zmenšení objemu nádrže se projeví i zkrácením veškerých procesů, probíhajících ve vodě (rychlejší oběh živin, šíření znečištění ve vodním prostředí, apod.) (*Gergel et al., 1995*).
- Zanášení vodních nádrží má výrazný vliv na ekonomické zásobování vodou. U vodních nádrží pro energetické účely znamená zmenšení objemu pokles produkce elektrické energie a ohrožení turbín, jimiž voda se splaveninami prochází (*Holý, 1994*).
- Při poklesu vody v nádrži (např. při dlouhodobém období sucha) se obnažují velké plochy usazeného materiálu a přímý kontakt těchto usazenin se vzduchem je příčinou jejich zrychlené mineralizace, přičemž jakost vody se po opětovném zatopení prudce zhoršuje (*Janeček et al., 2002*).
- Spolu s jemnozrnným sedimentem je do nádrží tokem transportováno i velké množství živin (N,P), případně i toxické látky. Sediment je velmi „úživný“,

což výrazně ovlivňuje proces zarůstání mělkých částí vodních nádrží. Živiny jsou i zdrojem eutrofizace, která sice zvyšuje biologickou hodnotu vody, ale současně hrozí kyslíkovou havárií. Při vzniku kyslíkové havárie může dojít k uvolnění velkých množství živin z jinak již stabilních sedimentů (*Vrána et al., 1998*).

- Zanášené plochy nádrží umožňují při hloubce vody menší 1 m vzrůst tvrdých porostů (rákosů, orobince apod.), které svým kořenovým systémem urychlují zabahnění dna a zarůstáním zmenšují užitkový prostor nádrží (*Jůva, Hrabal, Tlapák, 1977*).
- V případě, že je nádrž z velké části zanesena sedimentem, může zvýšený přítok zvrátit starý usazený sediment v nádrži. Zvrátením vrstvy sedimentu vznikne zákal, který fyzikální cestou pouhým snížením průhlednosti způsobí uvolňování látek do vody. Jednak dojde k zeslabení nebo ve větších hloubkách k zastavení asimilace a tím k úbytku kyslíku s následným odumíráním a rozkládáním planktonních organismů (*Vojtěch, 1988*).
- Ve spláchnuté půdě ze zemědělských pozemků dochází (díky zrnitostní selekci) ke koncentrování toxických látek, zejména pesticidů a těžkých kovů, v ní stopově obsažených (Cd, Hg..). Jejich původem je atmosférický spad, srážky i rezidua z hnojiv a přípravků k ochraně rostlin dlouhodobě používaných zejména v minulosti. Rybniční bahno se tak i přes své vynikající hnojivé vlastnosti stává nebezpečným odpadem (*Vrána et al., 1998*).
- Dochází k významnému nepoměru mezi katastrální a skutečnou plochou rybníků. Jestliže se současná nominální výměra rybníčních ploch v České republice odhaduje hodnotou přes 50 tis. ha, skutečná výměra vodních ploch je v důsledku zazemňování v rybníčních okrajích snížena zhruba na 35 tis. ha. Údaje získané při řešení Generelu rybníků nádrží České republiky přinášejí alarmující zjištění v tom smyslu, že rybníční soustava České republiky velice rychle mizí v důsledku zanášení způsobeného zvýšenou trofíí prostředí a transportních dějů v povodí (*Soukup, 2006*).
- Sedimenty, které jsou důsledkem trvalé ztráty nejúrodnější půdní vrstvy – ornice – se zpravidla nevracejí na místo, kde vznikly.

Na druhé straně však sedimenty představují materiál, který při vhodných fyzikálních a chemických vlastnostech může být použit nebo upraven pro meliorační a hnojivé účely (*Gergel et al., 1995*).

5.3 Odstraňování sedimentů

Odbahňování nádrží je považováno za úkon, který patří do údržby nádrží. Realizaci však musí předcházet řádná příprava a zpracování jednoduchého projektu odbahnění.

Během přípravy je nutno zjistit:

- množství a kvalitu sedimentu
- na základě výsledku rozboru kvality a odhadu množství sedimentu rozhodnout o využití vytěženého bahna
- způsob těžby sedimentu
- trasu a způsob dopravy
- vhodné pozemky k deponiím, mezideponiím i pozemky ke konečnému využití sedimentu v surovém či upraveném stavu
- potřebné finanční prostředky (*Vrána, Beran, 1998*)

5.3.1 Průzkum dna nádrže

Před zahájením těžby sedimentů ze dna nádrže je nutné provést kvantitativní i kvalitativní průzkum dna (*Slavík, 2000*). Provádí se při plném stavu vodní hladiny nebo na odvodněném dně. Použití metody průzkumu je odvislé od místních podmínek a od záměru, zda bude nádrž těžena při plném vodním stavu (což je ve většině případů progresivnější a ekologicky přijatelnější metoda) nebo klasickým způsobem (*Gergel et al., 1995*).

Cílem průzkumu dna nádrže je zmapování uložení sedimentu v nádrži a stanovení celkového objemu potřebných zemních prací při těžbě. Zjišťuje se chemické, fyzikální a biologické složení materiálu a jeho zdravotní nezávadnost (tj. obsah rizikových látek) (*Slavík, 2000*).

5.3.2 Těžba sedimentů

V současné době existují v podstatě tři způsoby odstraňování bahna:

- 1) mokrou cestou
- 2) suchou cestou
- 3) kombinovanou cestou (*Vrána, Beran, 1998*)

Odbahnění tzv. „*mokrou cestou*“ pomocí sacích rypadel a sacích bagrů se provádí zejména z lovišť velkých rybníků, z nádrží v obcích a z nádrží, které nelze vypustit (*Janeček et al., 2002*).

Poněvadž sedimenty jsou odsávány ve směsi s vodou (v níž voda převažuje), je další přemístování nánosů možné hydrodopravou na poměrně velké vzdálenosti i několika kilometrů. Využití může být přímo na zemědělských pozemcích tak, že dopravovaná směs může být rozstřikovávána a později zaorána. Častější je však doprava směsi do upravených lagun. Ty mohou tvořit zemědělské pozemky rovinaté, či s velmi malým sklonem, kdy na nejnižších okrajích je možno vytvořit nízké hrázky (např. i z balíků slámy). Cílem při tomto způsobu je vytvoření asi 10 cm vysoké vrstvy přemístitelného bahna, které se po vyschnutí laguny zaorá a na pozemku se bude normálně hospodařit (*Vrána, Beran, 1998*).

Pro vlastní nádrž je tento postup velmi šetrný, pro okolní hydrosféru však může být zdrojem zvýšené kontaminace, neboť unášecím médiem je voda, která po uložení suspenze v lagunách může kontaminovat okolí (*Janeček et al., 2008*).

Odbahnění tzv. „*suchou cestou*“ se zpravidla provádí s využitím těžkých strojů (buldozerů, rypadel, apod.) nejlépe na odvodněném a vyschlém dně nádrže – viz. obr. č. 4. Důležitou podmínkou je, aby odstraněním sedimentu nebyla částečně nebo úplně porušena nepropustná vrstva na dně nádrže, nebo obnažena propustná vrstva. Proto je lépe na původním dně ponechat vrstvu o mocnosti asi 0,10 – 0,15 m usazenin. Ty zajišťují i odpovídající pufrální funkci nádrže a po jejím opětovném napuštění plynulý sled žádoucích biologických pochodů (*Janeček et al., 2002*).

Sacími bagry nelze odtěžit ta místa nádrží, která jsou osídlena vegetací – tvrdými travními porosty. Ani v případě posekání nelze odtěžit tato místa vzhledem k značnému prokořenění bahna. Pokud je cílem odbahnění i úplná nebo částečná likvidace těchto tvrdých travních porostů, je možno volit *cestu kombinovanou*, tzn.

plochy dna bez porostů odsát a zbytek odtěžit suchou cestou, ke které může postačit pouze částečné vypuštění nádrže a snížení hladiny (Vrána, Beran, 1998).

Těžba bahna z rybníku je velmi nákladná a představuje nejméně efektivní způsob meliorací rybníční plochy. Proto je důležitá především prevence spočívající v odstranění příčin nadměrného zanášení a zarůstání rybníků, spočívající v realizaci protierozních opatření v povodí rybníka (Gergel et al., 1995).

Dříve popsané způsoby suché a mokré cesty odbahňování mají i ekologické dopady. Už samotné odbahnění je zásah drastický, obnova ekosystému dna trvá i několik let. Při suché cestě je nádrž odbahněna poměrně razantním způsobem, transportem sedimentu jsou narušovány cesty, břehy, porosty. Jsou činěny zásahy do litorálního pásma a je narušen životní rytmus mnoha živočichů (např. vodního ptactva). Mokrý cesta vyžaduje velké laguny, kde mohou nastat i hygienické problémy (Vrána, Beran, 1998).

Obr. č. 4 Odbahnění Počernického rybníka v Praze (www.casopisstavebnictvi.cz).



5.4 Využití sedimentů

Vytěžené sedimenty z vodní nádrže jsou považovány dle zákona č. 238/1991 Sb. „odpadech“ za odpad, a to i v případě jejich nezávadného složení, které umožňuje jejich využití jako druhotná surovina, např. ke hnojení, zemním úpravám apod. (Slavík, 2000).

Nařízení vlády ČR. č. 513/92 o podrobnostech nakládání s odpady stanovuje hranice obsahu těžkých kovů pro případ (z hlediska využitelnosti bahna ten nejhorší), že by bahno mělo být uloženo na skládku. V takovém případě nesmí být obsahy jednotlivých prvků vyšší než udává tab. č. 8. Pokud obsah některého prvku překročí limit, nemůže být tento materiál uložen na skládku. Pokud vyhoví, je možno uvažovat i o jiném způsobu využití, např. pro zemědělské účely (Vrána, Beran, 1998).

Tab. č. 8 Maximální hodnoty sledované látky (mg na 1kg sušiny) (Vrána, Beran, 1998).

Hg	As	Pb	Cd	Ni
3000	5000	10000	5000	5000

Rozborem usazenin z drobných vodních toků a nádrží bylo zjištěno, že více jak 90 % těchto hmot je zdravotně nezávadných. Mohou být použity pro rekultivace. Některé jsou kontaminovány komunálními odpady nebo jinými zdravotně závadnými látkami. Pro rekultivaci může být použit sediment, který neobsahuje maximální koncentrace rizikových látek jejichž přehled je uveden v tab. č. 9 (Kluibr, 2010).

Tab. č. 9 Maximální přípustná koncentrace vybraných rizikových látek v sedimentu /mg. kg⁻¹/(Kluibr, 2010).

As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg*	Ni	Pb	V	Zn	PCB ¹⁾
300,0	70,0	1,0	50,0	200,0	100,0	0,8	80,0	140,0	220,0	200,0	1,2

1) suma kongenerů

* celkový obsah

Bahno vytěžené z rybníků je velmi nesourodého obsahu, neboť při neselektivní těžbě se mísí poměrně úrodné rybníční sedimenty s organickou hmotou bohatě prokořeněné vrstvy rybníčních okrajů s neúrodnou a na živiny chudou spodinou. Výsledné fyzikální a chemické vlastnosti této směsi nejsou proto zpravidla tak dobré, aby byl jejich odvoz ekonomický na větší vzdálenost (*Jůva, Klečka, Zachar et al., 1981*).

Kromě toho skládky umístěné v rybnících a na zamokřených okrajích jsou velmi obtížně dosažitelné běžnými dopravními prostředky. To jsou také důvody, proč materiál vyhrnutý z rybníků zůstává většinou nevyužit. Skládky se časem stávají ohnisky zaplavení, úkrytem škůdců, obrůstají keři a stromy z přirozeného náletu, čímž se jen stěžuje další použití uložené hmoty (*Janeček et al., 2002*). Není třeba ani zdůrazňovat, že estetická hodnota rybníků s valy kopřiv kolem vody je minimální. Závažné jsou i důsledky vodohospodářské, neboť se brání přirozenému odtoku vody z okolních pozemků rybníka a podporují tak další zamokřování okolí (*Novotná, 1996*).

Naproti tomu bývají často v těsné blízkosti rybníků zamokřené louky, terénní prohlubně a plochy zemědělsky méně hodnotné nebo neplodné, které se doporučuje zavážet vytěženým bahnem, nejprve dobře provzdušněným a vyvápňeným. Rybníční bahno je vhodné zejména pro zúrodnění hrubozrnných písčitých půd, v nichž zlepšuje půdní strukturu a zvyšuje sorpční schopnost. Bahno z prokořeněných rybníčních okrajů může též být vhodnou složkou kompostů. Hnojivá hodnota rybníčního bahna je ovšem velmi různá, poněvadž obsah živin kolísá v širokých mezích, jak je uvedeno v tab. č. 10, a je proto vždy nutno přesvědčit se pedochemickým rozbořem o vlastnostech těžené hmoty z hlediska jejího využití (*Jůva, Klečka, Zachar et al., 1981*).

Tab. č. 10 Vlastnosti a živinný obsah rybničního bahna (Jůva, Klečka, Zachar et al., 1981).

Vlastnosti a obsah živin	Rozpětí	Průměr
Půdní výměnná reakce v pH	3,2 – 6,2	4,8
Stupeň sorpčního nasycení v %	5,6 – 88,0	49,0
Obsah humusu v %	0,26 – 29,0	6,6
Přístupné živiny v mg/100 g:		
Dusík	1,9 – 13,0	6,5
Fosfor	0,1 – 3,7	1,5
Draslík	2,5 – 51,0	16,2

Na zemědělské půdy nelze aplikovat sediment:

- který nespĺňuje preventivní limity obsahů rizikových kovů v půdě
- který má převahu částic v zrnitostní frakci nad 2 mm, případně obsahuje-li skelet (štěrky a kameny)
- na půdy, kde v roce aplikace sedimentu a v roce následujícím je produkce ovoce a zeleniny pro přímou spotřebu, totéž platí pro produkty určené k přímé výživě zvířat (trvalé travní porosty)
- mimo půd pro zemědělskou výrobu je možno sediment použít i v lesních školkách (ve formě kompostů) a na plochách pro výsadbu lignikultur. Sedimenty se nedoporučují používat na plochách určených k výsevu lesních kultur (Kvítek, Gergel, Kvítková, 2005)

6. Faktory ovlivňující odnos sedimentů do povrchových vod

Erozní procesy vznikají interaktivním působením přírodních a antropogenních činitelů, které je vyvolávají a ovlivňují (Holý, 1994). Tyto faktory se zpravidla složitě kombinují, takže výsledný proces – eroze je velmi komplikovaným jevem, závislým nejen na těchto faktorech přímo, ale také nepřímo, protože i mezi těmito faktory jsou složité interakce. K rozhodujícím faktorům počítáme klimatické faktory, morfologické faktory, geologické a půdní faktory, vegetační poměry a hospodářsko – technické poměry (Vrána et al., 1998).

6.1 Klimatické faktory

Klimatické poměry jsou charakterizovány zeměpisnou polohou, nadmořskou výškou, slunečním zářením, teplotou ovzduší, srážkami, výparem, vlhkostí vzduchu, povrchovým odtokem a větrnými poměry (Sanetrník, Filip, 1991).

Klima rozhoduje o druhu, ale i síle erozní činnosti. V humidních (vlhkých) oblastech převažuje vodní eroze, v aridních (suchých) krajinách častěji větrná eroze (Kluibr, 2010).

Z klimatických faktorů jsou pro vznik a rozvoj erozních procesů nejvýznamnější srážky, doba jejich výskytu, doba trvání a intenzita (Vrána et al., 1998).

Pro vznik a intenzitu erozních procesů jsou rozhodující srážky přívalové. Jejich erozní účinek, způsobený povrchovým odtokem se zesiluje účinkem kinetické energie dopadajících kapek (dochází k destrukci půdních agregátů a uvolňování půdních částic, které stékající voda odnáší) (Sanetrník, Filip, 1991).

Padající kapky bombardují nekrytý povrch a půdní částice mohou být jejich dopadem vymršťovány až do výšky 40 cm. Po úderech kapek se na povrchu půdy mohou vytvořit malé krátery o průměru 3 – 6 mm a na jejich obvodě se vytvářejí miniaturní valy z vymršťeného materiálu. Morfologicky nápadně se vliv bombardujících kapek projevuje zvláště na heterogenním materiálu, kdy působením bombardující a povrchově odtékající vody se tvoří zemní pyramidy. Při silném dešti může na 1 m² spadnout až 1300 kapek o průměru 1 mm při rychlosti dopadu 4,4 – 5,8 m.s⁻¹ (Klimaszewski, 1978).

Erozní účinek srážek (erozivita srážek) je dán jejich kinetickou energií. Bývá někdy označován jako index erozitivity (Ed). Je funkcí intenzity deště a jeho trvání a hmotnosti, průměru a rychlosti dopadu vodních kapek (Holý, 1994).

Nejintenzivněji se účinky dopadajících kapek projevují v tropech, kde byl sledován pohyb půdních částic o průměru až 4 mm na vzdálenost 20 cm, vymrštěných vodními kapkami. Erozivní účinnost tropických srážek je také ve srovnání s mírnými šířkami patrná v tom, že tropický déšť na 1 m² se projevuje 14400 jouly, kdežto déšť mírných šířek 900 jouly. Znamená to, že erozivní energie tropického deště je 16 krát větší než deště mírných šířek. Přívalové srážky o vysokých intenzitách zpravidla postihují menší území o rozloze 10 – 70 km², maximálně 200 km². V členitém horském reliéfu i toto malé území může postihnout celé povodí a podmítnout tak katastrofální odtok vody a následnou erozi (*Buzek, 1983*).

Z pevných srážek mají pro erozní procesy význam sněhové srážky, neboť sněhová pokrývka dává při jarním tání v některých případech značný povrchový odtok (*Holý, 1994*). O intenzitě eroze spolu s teplotou rozhoduje možnost vsakování vody do půdy. Je-li půda zmrzlá zvyšuje se odtok povrchových vod (*Kluibr, 2010*).

Z erozního hlediska je nutno hodnotit také teplotu vzduchu, zvláště maximální a minimální teploty. Průměrná teplota v nížinných polohách určuje suchost daného místa a v horských oblastech vegetační minimum. Se suchostí se výrazně snižuje ochranná funkce vegetace, a tím protierozní odolnost půdy. Vysoké teploty rychle vysušují půdu a záporné teploty podmiňují promrzání půdy a rozrušování půdních agregátů. Podíl jarního období na erozi se zvyšuje s růstem kontinentality podnebí, protože roste intenzita tání sněhu (*Buzek, 1983*).

6.2 Geologické a půdní faktory

6.2.1 Půdní faktor

Vlastnosti půdy ovlivňují intenzitu erozních procesů zásadním způsobem. Vznik a průběh eroze ovlivňují zejména ty vlastnosti půdy, které ovlivňují propustnost pro vodu a odolnost půdy proti destrukční a transportní schopnosti vody. Propustnost půdy pro vodu je ovlivněna zrnitostním složením, strukturou a vlhkostí půdy (*Sanetrník, Filip, 1991*). Odolnost půdy proti erozi posuzujeme především z hlediska jejího druhu, daného texturou. Hrubě písčité a hlinitopísčité půdy a zeminy jsou proti erozi odolné, protože svou vysokou propustností podporují zasakování vody, a tím se snižuje při malém povrchovém odtoku její erozní působení. Hrubozrnnost půd snižuje nejen splach, ale také deflaci. Protierozní odolnost mají také jílovité zeminy

bohaté na koloidy, kdežto hlíny s vysokým obsahem prachu, které mají málo součástí s tmelící funkcí jsou snadno erodovatelné (*Buzek, 1983*).

Další půdní vlastností, ovlivňující půdní erozi, je půdní struktura. Půdní struktura je daná vzájemným uspořádáním a vazbou půdních částic, určuje obsah nekapilárních pórů v půdě a stabilitu půdních agregátů. Půdy s příznivě vyvinutou strukturou přijímají lépe srážkovou vodu a lépe vzdorují destrukční činnosti povrchově stékající vody a větru než půdy, u nichž není struktura vyvinuta v dostatečné míře. Podle zkušeností a četných měření se příznivý vliv struktury projevuje nejvýrazněji u půd s drobtovitou strukturou, jež propouštějí nekapilárními póry srážkovou vodu do hlubších vrstev a zároveň poutají její značnou část v kapilárních pórech drobtů, což zabezpečuje příznivou vlhkost, a tím i soudržnost půdy (*Holý, 1994*).

Přírozené vlastnosti půdy však mohou být ovlivněny i činností člověka. Opakovaným pojezdem těžkých mechanismů a minimalizací vstupů organických hnojiv do půdy je poškozována půdní struktura. V půdě se snižuje obsah humusu a dochází k rozpadu půdních agregátů, které jsou nositeli protierozní odolnosti půdy. Půdní částice se stávají snadněji rozplavitelné a jemné částice jsou snadno dostupné pro transport. Půda s nižším obsahem agregátů bude vykazovat podstatně vyšší množství erodovaných částic při stejném dešti, resp. půda s nižším obsahem agregátů bude erodována i při srážce, která by jinak erozivní účinek neměla, protože její intenzita by byla příliš nízká, než aby došlo k rozbití agregátů (*Vrána et al., 1998*).

Intenzita eroze půdy je také značně modifikována přítomností vody v půdě, protože vlhkost ovlivňuje její soudržnost. Při vysoké vlhkosti se zmenšuje infiltrační schopnost půdy, a tím se zvětšuje povrchový odtok (*Buzek, 1983*).

Protože celkové půdní vlastnosti úzce souvisí i s půdním typem, je možné sestavit určité pořadí půdních typů podle jejich odolnosti proti vodní erozi. Za jinak stejných podmínek odolává erozi nejlépe černozem, méně hnědozem a nejméně podzol (*Sanetrník, Filip, 1991*).

6.2.2 Geologický faktor

Působením geologických poměrů na vznik a průběh eroze se uplatňuje přímo, a to odolností obnaženého geologického podkladu vystaveného styku s tekoucí vodou (Holý, 1994). Nepřímý vliv je dán charakterem zvětraliny a půdy – zvětralina resp. půda je vůči odnosu odolná v závislosti na struktuře a obsahu minerálů a organických látek (Buzek, 1983).

Každá hornina podléhá erozním silám. Nejméně odolávají horniny, které dávají vznik půdám hlinitopísčitém, jemným pískům, hlínám a sprašovým hlínám. Velmi odolné erozi jsou půdy kamenité, oblázkové a hrubě písčité (Kluibr, 2010).

6.3 Morfologické faktory

Morfologické faktory zahrnují sklon území, délku svahu, tvar svahu, jeho členitost a expozici (Vrána et al., 1998).

Podmínkou pro odtok vody je sklon území. Se zvětšováním sklonu a délky svahu – při trvání deště – nabývá stékající voda větší rychlosti a unášecí síly a tím většího destrukčního účinku na půdní povrch. Členitý reliéf napomáhá soustředování vody, rychlejšímu odtoku a tím i erozi (Sanetrník, Filip, 1991).

Sklon území je jedním z rozhodujících erozních faktorů. Jeho vliv na vznik a průběh erozních procesů může být ostatními činiteli (např. vegetačním krytem, stavem půdního povrchu apod.) zeslaben, avšak nikdy zcela potlačen (Holý, 1994).

Vliv sklonu na hodnoty odnosu byl zjišťován mnoha autory. Podle měření Benneta (1955) se může vlivem rostoucího sklonu v kombinaci s ostatními složkami (délka svahu, vegetace, srážky) podstatně ovlivnit smyv půdy – viz. tab. č. 11.

Tab. č 11 Vliv sklonu svahu na smyv půdy (Bennet, 1955).

Půda a lokalita	Doba pozorování (roky)	Srážky (mm)	Délka svahu (m)	Sklon svahu (%)	Kultura	Smyv půdy (t.ha ⁻¹)
písčitohlinitá půda - Muskingum, Ohio	9	965	22,1	12	kukuřice	224,4
				20		243,7
jemná písčitohlinitá půda - Kirvin, Texas	10	1032	22,1	8,7	bavlník	50,1
	8	1092		16,5		136,8
hlinitá půda - Shelby, Missouri	14	1025	27,6	3,7	kukuřice	44,1
	10	749	22,1	8,0		114,0

Prokázaný rozhodující vliv sklonu na vznik a průběh erozních procesů vedl k určení tzv. *kritického sklonu svahu*, jímž se obvykle rozumí sklon, při němž dochází k nebezpečnému rozrušování půdního povrchu. Stupeň rozrušování autoři blíže neurčují. Pro podmínky ČR lze předpokládat, že k nebezpečnému rozrušování půdního povrchu dochází v tom místě svahu, v němž se mění plošný povrchový odtok v odtok soustředěný a v němž přechází plošná vodní eroze v erozi výmolvou (Holý, 1994).

Podle Zachara (1970) se kritický sklon pro akutní erozi na málo odolných půdách pohybuje od 1 – 2°, na středně odolných půdách od 3 – 5° a na značně odolných půdách 6 – 7°. Zřetelné morfologické znaky eroze na Slovensku jsou již na svazích se sklonem nad 3°. Cablík a Jůva (1963) uvádějí, že do sklonu 2° není vodní eroze na zemědělských půdách nebezpečná, stává se patrnou při sklonu 4° a zřetelně výraznou na půdách o sklonu větším než 8°. Uvedené hodnoty sklonu jsou však jen orientační, neboť nezvažují všechny ostatní činitele, kteří mají na erozi vliv.

Délka svahu má také nezanedbatelný vliv na intenzitu vodní eroze, ale její vliv je často nejednoznačný. Při určování erozní ohroženosti se hovoří o tzv. „přípustné nebo kritické délce svahu“, což je vzdálenost od počátku svahu, kde dochází k transformaci plošného povrchového odtoku na soustředěný a tedy k výraznějšímu rozvoji erozních procesů (Vrána et al., 1998).

Na krátkých svazích působí především bombardování vodními kapkami a slabý odtok, kdežto na dlouhých svazích se voda hromadí, podle dosavadních výsledků na svazích se sklony 2 – 16 % velikost ročního smyvu stoupá dvojnásobně při čtyřnásobném prodloužení svahu (Buzek, 1983). V některých případech se velikost smyvu při prodloužení svahu může zmenšit, protože stékající voda se může přesytit plaveninami, resp. také zasakuje do propustnějších podloží v dolní části svahu (Zachar, 1970).

Z hlediska tvaru svahu je možno rozdělit svahy na konvexní, konkávní, přímé a kombinované (Vrána et al., 1998). Erozní procesy probíhající na tvarově odlišných svazích mají vliv především na změnu v zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí v půdě a na změnu obsahu živin (Buzek, 1983).

Přímý svah má v celém průběhu přibližně konstantní sklon. Maximální intenzitu vodní eroze lze očekávat v místě, v němž tangenciální napětí povrchově stékající vody dosáhne nejvyšší hodnoty (Holý, 1994).

Konkávní svah má největší odnos v horní části, kde je největší sklon, kdežto směrem dolů intenzita odnosu klesá a nejmenší, resp. nulová je v dolní části, kde sedimentuje materiál přinášený shora. V některých případech může být největší odnos ze střední části svahu, protože svou roli sehrává nejen sklon, ale také délka svahu (Buzek, 1983).

Konvexní svah má ve své horní části poměrně malý sklon a zároveň malou vzdálenost od rozvodí; je vzhledem k ostatním částem svahu zatěžován malým množstvím stékající vody. Sklon ani délka neskýtají možnost plného rozvinutí erozních procesů. Na střední části svahu vzrůstá sklon i délka svahu. Nejvyšší hodnoty dosahuje sklon i délka svahu v dolní části svahu, v níž dochází k maximální intenzitě erozních procesů (Holý, 1994).

U Kombinovaného svahu se odnos mění podle tvaru jeho příčného úseku (Buzek, 1983).

Významným prvkem je i expozice svahů ke světovým stranám. Nejvíce se expozice projevuje na vysýchavých půdách. Obecně platí, že čím je větší sklon svahu, tím výrazněji se projevuje jeho expozice. Na výslunných svazích dochází k přehřívání půdních vrstev a ke ztrátě vláhy, jehož důsledkem je oslabení ochranného účinku vegetace, zhoršení půdních vlastností (obsahu humusu, půdní struktury, propustnosti apod.), což ve svých důsledcích vede ke zvýšení eroze (Sanetrník, Filip, 1991).

6.4 Vegetační poměry

Vliv vegetačního pokryvu na smyv půdy se projevuje:

- přímou ochranou povrchu půdy před destruktivním působením dopadajících dešťových kapek
- zpomalováním rychlosti povrchového odtoku
- působením vegetace na půdní vlastnosti, zejména na pórovitost a propustnost
- omezením možnosti zanášení pórů jemnými půdními částicemi
- mechanickým zpevněním půdy kořenovým systémem (Janeček et al., 2008)

Vegetační kryt chrání půdu před přímým dopadem dešťových kapek, které by byly velmi nebezpečnou příčinou rychlého povrchového proudění (Kluibr, 2010). Dochází k útlumu kinetické energie dopadajících kapek, a tím se snižuje riziko

rozbíjení půdních agregátů. Zachycováním, odrazem a stékáním vody po nadzemních částech rostlin dochází k prodloužení doby dopadu srážkové vody na půdu. Zvětšováním hydraulické drsnosti půdního povrchu dochází ke zmenšování rychlosti proudění povrchově stékající vody. Všechny tyto jevy podporují vsak vody do půdy, a tím zmenšují celkový povrchový odtok. Příznivý vliv na infiltrační schopnosti půdy má i zlepšení půdních vlastností vegetací, zejména obohacení půdy o organické látky a dusík, provzdušnění půdy, mikrobiální oživení apod. Nadzemní části vegetace také zastíňují půdní povrch a vytvářejí vhodné mikroklima, které má pozitivní vliv na stabilitu půdních agregátů (Vrána et al., 1998).

Větší schopnost chránit půdu mají zpravidla přírodní porosty jakéhokoliv druhu. Lesní porosty jsou zpravidla účinnější než trvalé travní porosty (louky, pastviny) (Kluibr, 2010).

Lesní porost s hustým korunovým zápojem, dobrým stavem podrostu a neporušenou vrstvou hrabanky vykazuje nejvýraznější vliv na utváření povrchového odtoku, a tím i na intenzitu a průběh eroze. Povrchový odtok ze zalesněné půdy nepřesahuje podle Cablíka a Jůvy (1963) zpravidla 10 % srážkového množství vody, proto lesní půdy kryté dobrým lesním porostem netrpí vodní erozí. *Travní porost s dobře vyvinutým drnem* má podobný příznivý vliv na velikost a průběh povrchového odtoku a na ochranu půdního povrchu jako lesní porost. Bennet (1955) zjistil, že povrchový odtok z pozemků chráněných dobrým travním krytem činil 0,3 až 5,5 % srážkového množství a smyv 0,029 až 0,132 t.ha⁻¹, zatímco ze zalesněné plochy za stejných podmínek naměřil odtok v hodnotě 0,1 až 3,6 %. Neprojevilo se tedy velký rozdíl mezi účinností lesního a travního krytu (Holý, 1994).

U polních porostů je stupeň chránění půdy podstatně odlišný. Obilniny, které jsou hustě seté, více zakrývají půdní povrch a jsou účinnější než okopaniny.

Pícniny mají bohatou kořenovou soustavu, která hustě prorůstá ornici a zasahuje i do dalších vrstev. Proto mají velmi dobrý ochranný účinek. Mezi tyto pícniny se řadí směsky jetelovin s kulturními travami. Vytvářejí silnou drnovou vrstvu, která dobře propouští vodu do spodiny i při velmi silných dešťových srážkách. Půda uvedených travin má většinou drobkovitou strukturu. Pokusy bylo zjištěno, že z plochy 1 ha obnažené půdy může erozní činností nastat úbytek až 500 tun zeminy, u pšenice 100 tun, u pozemku s vytrvalou pícninou jen 4 tuny zeminy (Kluibr, 2010).

Tab. č. 12 Intenzita vodní eroze pod různými kulturami (Musgrave, 1954).

Okopaniny – úhor	100 %
Pšenice – úhor	75 %
Strniště – pšenice	10 %
Neohrazené pastviny	5 až 10 %
Velmi dobrý travní porost	0,001 až 1,0 %
Lesní porost	0,001 až 1,0 %

6.5 Hospodářsko – technické poměry

Hospodářsko – technické poměry jsou charakterizovány především způsobem využívání půdy a obhospodařování půdy, volbou a polohovým rozmístěním kultur a návrhem a realizací různých typů technických protierozních opatření (Vrána *et al.*, 1998).

Eroze je přirozeným morfogenetickým jevem, a v přírodě ji žádný lidský zásah nemůže zastavit, avšak změnou vegetačního krytu v nevhodných podmínkách ji může enormně zvětšit. Mýcení lesů na velkých plochách (holoseče) může v krátké době zvýšit povrchový odtok vody až 7 krát, a tím spojený odnos plavenin až 125 krát (Mráček, Krečmer, 1975).

Eroze mívá největší intenzitu na půdách, na nichž byl rozrušen původní porost, tedy převážně na zemědělských půdách zbavených porostu z různých důvodů (výstavba sídlišť, komunikací, výcvikových prostorů apod.). Každý zásah do přirozeného vegetačního krytu půdního povrchu je nutno posuzovat z hlediska možných důsledků, vyústujících obvykle v intenzivní erozní procesy, a proto se v každém připravovaném projektu mají navrhovat účinná protierozní opatření (Holý, 1994). Metody protierozní ochrany půdy musí především sledovat vyloučení odstranitelných příčin eroze a jejich kumulaci. Nejefektivnější způsob využití půdy vyžaduje, aby se veškeré zásahy do přírody děly s hlubokou znalostí přírodních zákonů (Sanetrník, Filip, 1991).

Na zemědělských půdách má na intenzitu a průběh erozních procesů výrazný vliv *polohové a tvarové uspořádání pozemků*. Šetření prokázalo, že svahové pozemky umístěné delším rozměrem po vrstevnicích a tímto směrem obdělávané trpí – ve srovnání s pozemky umístěnými a obhospodařovanými ve směru sklonu – vodní erozí menší intenzity (Holý, 1994).

Velice důležitým protierozním opatřením je používání vhodné agrotechniky. Jedná se zejména o vrstevnicové obdělávání pozemků, kde vrstevnicové brázdy tvoří přirozené překážky povrchovému odtoku a zvyšují výrazně povrchovou půdní retenci a infiltraci vody do půdního profilu. Zvýšení půdní vlhkosti pak působí příznivě na stabilitu půdních agregátů (Vrána *et al.*, 1998).

Tab. č. 13 Vliv agrotechniky na smyv půdy (Holý, 1994).

Agrotechnika	Sklon (%)	Děšť (mm h ⁻¹)	Smyv půdy (kg ha ⁻¹ h ⁻¹)	Sklon (%)	Děšť (mm.h ⁻¹)	Smyv půdy (kg ha ⁻¹ h ⁻¹)
orba po svahu	20,0	30,5	7453,7	25,1	29,5	11568,9
zvláčeno	20,1	28,1	1074,0	26,2	27,8	1610,9
orba po vrstevnicích	21,7	30,3	129,4	28,7	25,5	263,0
porost vojtěšky	22,8	25,5	0,2	26,0	31,6	31,5

Erozi podporují také šikmo vedené cesty po svahu, příkopy po spádnici a všechny zářezy, které mohou koncentrovat povrchový odtok (Buzek, 1983).

7. Prostředky sloužící ke snížení odnosu sedimentů v zemědělské krajině – protierozní ochrana

Protierozní ochrana je, při stále se rozvíjející ekonomické aktivitě společnosti a při snaze účelně a hospodárně využívat přírodních zdrojů, nezbytná. Jejím úkolem je chránit dva nejcennější z těchto zdrojů – půdu a vodu – a zabránit nepříznivým důsledkům, jež by mohlo mít jejich poškození pro různá odvětví národního hospodářství, zejména pro zemědělství a vodní hospodářství i pro utváření prostředí pro život člověka (*Holý, 1994*).

Protierozní ochrana půdy je soubor opatření k zeslabení nebo zamezení účinku eroze na půdu, půdní vláhu a povrchovou vodu a pěstované plodiny (*Hovorka et al., 1990*).

Opatření protierozní ochrany umožňují erozi omezovat na přípustnou míru. Protierozní ochrana slouží především v zemědělství, současně však chrání před účinky eroze vodní zdroje, intravilány, důležité komunikace a další stavby, dále území s potřebou zvýšené protierozní ochrany, jako jsou pásma hygienické ochrany vodních zdrojů apod. (*Pasák et al., 1984*).

Protierozní ochranu je třeba realizovat jako komplexní systém. V daném území se řeší variantně a z řešených variant se volí varianta nejvhodnější z hlediska záboru půdy, finančních nákladů na realizaci a následný provoz protierozních opatření i z hlediska účelného stupně protierozní ochrany (*Vrána et al., 1998*).

Správně provedený protierozní návrh musí vyžadovat velké množství geografických a dalších dat (*Wang et al., 2008*).

Před zahájením prací na projektové přípravě protierozních opatření je nezbytné shromáždit všechny dostupné podklady a dříve provedené průzkumy, ověřit a doplnit je terénní pochůzkou a místním šetřením (*Hovorka et al., 1990*).

Složitost vlivů, způsobujících erozi vyžaduje kombinaci opatření pro její omezování. Podle míry erozní ohroženosti se v projektu navrhnou protierozní opatření. Vypočtené množství smyvu porovná projektant se smyvem přípustným a na základě tohoto porovnání navrhne příslušná opatření (*Pasák et al., 1984*). Při návrhu protierozní ochrany je nutno brát v úvahu všechny vlivy, které erozi způsobují:

- klimatické
- morfologické
- geologické a půdní
- vegetační
- hospodářsko – technické (*Hůla et al., 2006*)

Některé vlivy jsou neodstranitelné, jiné je možno pouze usměrnit (*Deumlich et al., 2006*).

7.1. Opatření proti vodní erozi

Zemědělskou půdu na svazích je třeba chránit před vodní erozí vhodnými protierozními opatřeními. O použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje jejich účinnost, požadované snížení smyvu půdy a nutná ochrana objektů (vodních zdrojů, toků, nádrží, intravilánu měst a obcí atd.) při respektování zájmů vlastníků a uživatelů půdy, ochrany přírody, životního prostředí a tvorby krajiny (*Janeček et al., 2007*).

Ve většině případů jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, vzájemně se doplňujících a respektujících současné základní požadavky a možnosti zemědělské výroby (*Janeček et al., 2008*).

Hlavním účelem opatření na ochranu půdy před vodní erozí je:

- chránit půdu před účinky dopadajících kapek deště
- podporovat vsak vody do půdy
- zlepšovat soudržnost půdy
- omezovat unášecí sílu vody a soustředěného povrchového odtoku
- neškodně odvádět povrchově odtékající vodu a zachycovat smytou zeminu (*Janeček et al., 2002*)

7.1.1 Opatření organizačního charakteru

V zásadě se jedná o nejčastěji používaný způsob protierozní ochrany pozemků, protože jeho zavedení prakticky nevyžaduje žádné investiční náklady (Vrána *et al.*, 1998).

Organizační opatření spočívají v delimitaci kultur, rozmístování plodin a určení velikosti a tvaru pozemku, a jsou základem protierozní ochrany. Ovlivňují návrh agrotechnických i technických opatření (Holý, 1994).

Mezi organizační opatření patří:

- a) Delimitace kultur
- b) Protierozní oseední postupy
- c) Pásové střídání plodin
- d) Velikost a tvar zemědělských pozemků (Agroprojekt, 1987)

a) Delimitace kultur

Delimitací rozumíme návrh na rozmístění kultur, tj. ploch orné půdy, trvalých travních porostů (TTP – luk a pastvin), speciálních kultur (vinic, chmelnic, ovocných sadů), lesní půdy apod. V hlavních rysech jde při delimitaci půdy o to, řešit vzájemný vztah mezi ornou půdou a ostatními druhy zemědělské půdy, zejména loukami a pastvinami a rovněž o vyřešení poměrů na hranicích mezi zemědělským a lesním půdním fondem (Švehla, Vaňous, 1995). Delimitace kultur může podstatně ovlivnit faktor vegetačního krytu a tím omezit vodní erozi (Agroprojekt, 1987).

Při navrhování delimitačních opatření se přihlíží k možnému využití pozemků z hlediska jejich půdních vlastností, vodního režimu, konfigurace terénu (sklon, členitost, orientace) a vhodnosti k pěstování zemědělských plodin zejména speciálních, ale také z hlediska rizika znečištění vod. Základním podkladem při rozhodování o delimitaci pozemků je dnes systém bonitovaných půdních ekologických jednotek (Soukup, 2006).

Pro rozmístění kultur slouží následující kritéria rozdělující půdu na 3 základní skupiny: ornou půdu, trvalé travní porosty a lesní půdu (Švehla, Vaňous, 1995).

1) *Orná půda, sady, vinice, chmelnice*

Tyto druhy pozemků by se měly vyskytovat do sklonu 10° (18 %) s odchylkou do 13° (23 %), která nepřesáhne 20 % plochy pozemku (*Agroprojekt, 1987*).

2) *Trvalé travní porosty*

Vodítkem pro dislokaci TTP jsou tato kritéria:

- půdy klasifikované v systému BPEJ jako nevhodné pro orbu
- zemědělsky využívané pozemky se sklonem do 17° (31 %)
- pozemky s jinou než zemědělskou funkcí se sklonem až do 25° (47 %)
- pozemky s obsahem skeletu (štěrkovitost, kamenitost) v povrchové vrstvě větší než 50 %
- ochranná zatravnění v místech soustředěného odtoku v údolnicích, zatravnění hydrografické mikrosítě (*Soukup, 2006*)
- údolní nivní polohy kolem řek a potoků vystavené zaplavování, pozemky s trvale vysokou hladinou podzemní vody
- pozemky navržené k zatravnění v rámci územních systémů ekologické stability a protierozní ochrany
- zemědělské pozemky nad výškovou hranicí pěstování zemědělských plodin (800 – 850 m) (*Švehla, Vaňous, 1995*)

3) *Lesní pozemky*

Lesní půda by se měla nalézat všude tam, kde je splněna jedna nebo současně několik podmínek:

- pozemky se svažitostí nad 25° (47 %)
- půdy klasifikované jako nevhodné pro agrosystémy
- pozemky se sklonem nad 8,5° až 14° (15 až 25 %), pokud jsou nevhodné k obdělávání a náchylné k erozi
- zalesnění pozemků z důvodů protierozní ochrany
- stanoviště lužních lesů v inundačních územích (*Soukup, 2006*)

b) Protierozní osevní postupy

Osevní postup znamená rozmístění zemědělských kultur do honů tak, aby se pravidelně za určitý počet let vystřídaly. Obiloviny, okopaniny, píceňiny a technické plodiny se střídají v rotaci tak, aby se zachovala úrodnost půdy a zajistily se vysoké výnosy se zřetelem na předplodinu. Vhodná základní struktura v našich podmínkách je dána 45 % až 50 % zastoupením obilovin, 25 % až 30 % zastoupením okopanin a 25 % až 30 % zastoupením pícnin a luštěnin.

Při správném použití jsou osevní postupy významným prostředkem k ochraně půdy před erozí. Skladba osevních postupů se však musí volit tak, aby se v rotaci vyskytovalo co nejvíce plodin s ochranným účinkem (*Holý, 1994*).

Při tradičním pěstování lze plodiny podle jejich protierozní účinnosti seřadit od nejvyšší po nejnižší protierozní účinnost, v pořadí: travní porosty – jetel – vojtěška – obilnina ozimá – obilnina jarní – řepka ozimá – hrách – plodiny okopaninového charakteru (slunečnice, brambory, cukrovka) a podle toho i rozmisťovat plodiny na pozemcích (*Janeček et al., 2007*).

Příklad protierozního osevního postupu:

1) půdy s dostatkem živin:

1. – 5. rok vojtěškotravní směska (90 % vojtěšky, 10 % trav)
6. rok olejnina
7. rok obilnina (ozim) s podsevem

2) půdy s menším obsahem živin:

1. – 4. rok jetelotravní směska
5. rok obilnina s podsevem (*Kluibr, 2010*)

Na půdách značně ohrožených erozí neskýtají plodiny v polních osevních postupech dostatečnou ochranu. Je nutno zakládat protierozní osevní postupy s převahou plodin vytvářejících po několik let souvislý drn. Je to zejména jetel a vojtěška, jejichž častým zařazením dostává osevní postup pícninářský charakter. Na území značně ohroženém erozí se kombinují protierozní osevní postupy s trvalými loukami (*Holý, 1994*).

c) Pásové střídání plodin

Pásové střídání plodin sleduje snížení erozního účinku vložení různě širokých pásů s plodinami erozně méně ohroženými (travní porost, vojtěška, jetel, příp. obilovina) na pozemek s pěstovanou erozně ohroženou plodinou (*Podhrázská et al., 2008*).

Tento způsob ochrany je vhodný na sklonech 3 až 7° (5 až 12 %), na sklonech 7 až 11° (12 až 20 %) jen tehdy, jsou-li použity víceleté pícniny (*Švehla, Vaňous, 1995*). Šířka pásů je závislá na sklonu a délce svahu, propustnosti půdy, její náchylnosti k erozi. Obecně se doporučuje šířka pásů od 20 do 40 m (podle sklonu pozemku) (*Janeček et al., 2007*).

Plodinové pásy jsou vedeny délkovým rozměrem napříč svahu a pokud možno sledují směr vrstevnic. Střídání plodin musí být promyšlené a volené tak, aby voda stékající z pásu, jehož plodina neodolává erozi, byla zadržována a v erozních účincích zneškodňována plodinou ochranného pásu (*Sanetrník, Filip, 1991*).

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 (*Janeček et al., 2008*). V některých lokalitách (zvláště silně vystavených účinkům eroze) se doporučuje založit buď dočasné nebo trvalé pásy, které nejsou složkou osevního postupu (nejčastěji z vojtěšky, ale i travní křovinné apod.) (*Sanetrník, Filip, 1991*).

Obr. č. 5 Pásové střídání plodin (*Janeček et al., 2002*)



d) Velikost a tvar zemědělských pozemků

Uspořádání zemědělských pozemků v poloze, tvaru, velikosti a přístupnosti je druhým, neméně důležitým úkolem organizace půdního fondu. Situačně neupravený půdní fond je velmi závadný, poněvadž nedovoluje vhodně umísťovat jednotlivé kultury a plodiny, nepřipouští změny v obhospodařování pozemků a zesiluje škodlivé účinky eroze. Odstranění těchto závad řeší komplexně pozemkové úpravy (*Jůva, Hrabal, Tlapák, 1977*).

Velikost, tvar i umístění zemědělských pozemků se řídí ve vyspělých zemích požadavkem uplatnění velkovýrobní technologie a mechanizace. Nejlépe vyhovují souvislé pravidelné územní celky se stejnými poměry sklonu a stejnými půdními podmínkami (*Holý, 1994*).

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. 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 (*Janeček et al., 2008*).

Z hlediska protierozní ochrany je žádoucí, aby rozměry 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 účinně zachycovat povrchový odtok (*Janeček et al., 2007*).

Ideálním tvarem pozemku je obdélník, stejně vhodný však je i n-úhelník, který má dvě protější strany (v jejichž směru se provádí obdělávání) navzájem rovnoběžné a jehož dvě zbývající strany nesvírají se směrem obdělávání úhel menší než 45° (*Pasák et al., 1984*).

Tvar a velikost pozemků, jež se zvolí pro rovinná území, se musí v oblastech ohrožených erozí upravit podle požadavků protierozní ochrany a musí se účelně přizpůsobit reliéfu, který výrazně ovlivňuje vodní i větrný režim území. V území ohroženém erozí mají být na půdách se sklonem větším než 5 % pozemky delší stranou ve směru vrstevnic a stejným směrem se mají obdělávat. Vrstevnicové obdělávání podporuje vsakování srážkové vody do půdy a zmenšuje nebezpečí

vzniku erozně působícího povrchového odtoku. Zjištění podstatně většího smyvu půdy při umístění a obdělávání pozemků ve sklonu svahu (místo podél vrstevnic) ukazuje v mnoha případech na nutnost umístit pozemky delší stranou po vrstevnicích (Holý, 1994).

Zjištění prokázalo, že erozní smyv z pozemku umístěného ve směru sklonu a obdělávaného delší stranou tímto směrem činil při jarním tání 388,4 t.ha⁻¹, povrchový odtok dosáhl průměrné výše 1,2 mm zatímco za stejných podmínek při umístění pozemku delším rozměrem po vrstevnici byl smyv půdy pouze 13,3 t.ha⁻¹ a průměrná výška povrchového odtoku 0,1 mm (Cablík, Jiřina, 1963).

Obecně je možné doporučit vytváření půdních bloků o velikosti do 50 ha na rovinných územích a do 20 ha ve členitějších územích s převládajícími délkami ve směru vrstevnic (Janeček et al., 2007).

7.1.2 Opatření agrotechnického charakteru

Agrotechnická opatření navazují na navržená organizační opatření a mají prvořadý význam v omezení eroze za použití minimálních finančních nákladů. Navrhují se na orné půdy, ve speciálních kulturách a při obnovách trvalých porostů s ohledem na mechanizační prostředky a svahovou dostupnost (Hovorka et al., 1990).

Hlavním účelem agrotechnických opatření je zvýšení vsakovací schopnosti půd, drsnosti jejího povrchu a vytvoření dodatečné ochrany povrchu půdy. Obojí především v obdobích výskytu přívalových srážek a v těch fázích vegetačního období, kdy plodiny, zejména širokořádkové, svým vzrůstem a zapojením nedostatečně kryjí půdu (Soukup, 2006).

Pro ochranu orné půdy vegetačním krytem je důležité, jak jsou porosty pěstovaných plodin vyvinuty v období ohrožení půdy erozí, tj. v době tání sněhu a především v době výskytu přívalových dešťů. Z výzkumů vyplývá, že v našich klimatických podmínkách je výskyt přívalových dešťů soustředěn na období od května do září (Podhrázská, Dufková, 2005).

V první třetině tohoto období vykazuje nedostatečnou pokrývnost povrchu půdy kukuřice, slunečnice a okopaniny (brambory, cukrová řepka). Vzhledem k velké výměře orné půdy každoročně osévané kukuřicí je využití účinných agrotechnických

protierozních opatření při pěstování této plodiny zvláště aktuální (*Janeček et al., 2007*).

Zvláště intenzivně jsou v poslední třetině období postihována erozí pole připravená k setí a osetá letními meziplodinami a ozimou řepkou. Východiskem je letní bezorebné setí meziplodin a ozimé řepky, které se při dostatečné protierozní ochraně vyrovnává tradičnímu setí do zorané půdy. Při tání sněhu dochází k značným smyvům půdy z pozemků s pozdním výsevem ozimé pšenice. Povrch půdy je předsetřovou přípravou a setím rozmělněný a urovnaný, což jsou rozhodující předpoklady pro intenzivní odnos zeminy z půdního povrchu, zatímco ochranný účinek pozdě vzešlé pšenice je nepatrný. Z této situace vyplývá požadavek vysévat ozimou pšenicí na svazích přednostně na počátku agrotechnické lhůty (*Podhrázská, Dufková, 2005*).

Mezi agrotechnická opatření patří:

- a) Výsev do ochranné plodiny nebo do strniště
- b) Vrstevnicové obdělávání
- c) Brázdování
- d) Důlkování povrchu půdy
- e) Hrázkování
- f) Zatravnění v meziřadí
- g) Krátkodobé porosty v meziřadí
- h) Mulčování (*Sklenička, 2003*)

Soustava agrotechnických opatření v našich podmínkách je výslednicí osvědčených zkušeností z praxe, zemědělského výzkumu a vědy (*Jonáš et al., 1990*).

a) Výsev do ochranné plodiny nebo strniště

Ochranný účinek plodin, jejichž agrotechnická lhůta setí je v období přívalových dešťů, a plodin širokořádkových lze významně zvýšit jejich výsevem do ochranné plodiny, nebo do strniště předchozí plodiny (*Agroprojekt, 1987*). Tudíž je to velmi efektivní opatření z hlediska ochrany půdy i z hlediska omezení povrchového odtoku. Vhodně může být uplatněno na mělkých půdách. Je nutné použít stroje pro bezorebný výsev. Doporučuje se při výsevu ozimého žita a ovsa v mírně teplém a chladném klimatickém regionu, dále u kukuřice (po strništní meziplodině – hořčice,

svazenka apod.). Uvádí se velmi vysoký protierozní efekt (snížení eroze až na 1/10) (*Sanetrník, Filip, 1991*).

b) Vrstevnicové obdělávání

Orbou po vrstevnicích nebo s malým odklonem od vrstevnic oboustrannými otočnými pluhy, tzv. obracáky, které překlápějí půdu proti svahu, je možné významným způsobem přispět k ochraně půdy před erozí (*Soukup, 2006*).

Vrstevnicová orba a další zpracování půdy i její osetí po vrstevnicích vedou k zachycení povrchově stékající vody v brázdách a řádcích, k akumulaci vody a k plošnému rozptylu i zvýšené infiltraci vody do půdy (*Holý, 1994*).

Vrstevnicové obdělávání se doporučuje aplikovat do sklonu terénu 7° (12 %) (*Švehla, Vaňous, 1995*).

Při větších sklonech dochází k potížím při provádění vrstevnicové orby, dochází k soustředění odtoků, je malý akumulační prostor brázd a dochází k jejich protrhávání za dešťů. Pro svahy s většími sklony se konstruují speciální traktory s neseným nářadím (*Sanetrník, Filip, 1991*). Speciální traktory jsou bezpečné proti převržení a neodchylují se vlivem terénu ze stanoveného směru jízdy (*Holý, 1994*). Při nepřesnosti vedení orby vzniká riziko soustředění povrchového odtoku (*Soukup, 2006*).

c) Brázdování

Svah ohrožený erozí lze chránit i vyoráním ojedinělých vrstevnicových brázd v určitých vzdálenostech. Tento ochranný způsob, se nazývá brázdování (*Holý, 1994*). Brázdování je vhodné spojit s vrstevnicovou orbou. Provádí se prodlouženou odhrnovačkou poslední radlice pluhu při orbě. Pozemek se tím rozčlení na úzké vrstevnicové pásy se záchytným prostorem (brázdou) a dochází ke zlepšení zádržnosti hrubé brázdy pro vodu z tajícího sněhu a pro vody dešťové (*Sanetrník, Filip, 1991*).

d) Důlkování povrchu půdy

Důlkování se zadržuje srážková voda na povrchu půdy a prodlužuje se doba její infiltrace do půdního profilu. Důlky se vytváří speciálním důlkovačem (*Agroprojekt, 1987*). Důlkovač je konstruován tak, že na vodorovné hřídeli jsou čtyři radličky tvaru

špičatého rýče, které při volném otáčení vytvářejí důlky ve vzdálenosti 0,5 m a objemu 1,5 – 2 litry. Důlkování se používá většinou u kukuřice a brambor (*Sanetrník, Filip, 1991*).

Důlkování lze provádět při výsadbě v libovolném směru, při různých sklonech pozemku. Mezní sklon pozemku je dán svahovou dostupností důlkovače. Při směru výsadby po spádnici a větších sklonech terénu má nižší účinnost (*Podhrázská, Dufková, 2005*).

e) Hrázkování

Hrázkování omezuje možnost rozvoje povrchového odtoku vytvořením velkého množství malých akumulčních prostorů pro zachycení povrchové vody přímo na pozemku (*Soukup, 2006*). 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 pozemku se sklonem 2 – 8 % odtok vody z dešťů o úhrnech 25 – 35 mm. Hrázkování pozemků se osvědčilo na svazích do 7 % s max. délkou 300 m (*Janeček et al., 2007*).

f) Zatravnění v meziřadí

Účelem zatravnění meziřadí v sadech a vinicích, erozně ohrožených, je zajištění vegetačního krytu půdy plodinou s vysokým protierozním účinkem. Navržené opatření odstraní vodní erozi téměř na úrovni TTP. Z protierozního pohledu je použití všech meziřadí vhodné ve sklonech terénu 7 – 12° (12 – 21 %), při půdách nepropustných a snadno erodovatelných již od sklonu 4° (7 %) (*Agroprojekt, 1987*). Směr výsadby není rozhodující, avšak je třeba před výsadbou upravit terén tak, aby příkmené pásy byly vyvýšené nad pásy zatravněné. Tráva v meziřadí je opakovaně (4 – 8x) sečená a ukládána na povrch půdy v příkmeném pásu jako nastýlka (*Podhrázská, Dufková, 2005*).

g) Krátkodobé porosty v meziřadí

Porost podkultury ve výsadbách speciálních kultur snižuje vodní erozi podobně jako zatravnění, avšak s nižší účinností. Pěstování podkultury je možno aplikovat u všech meziřadí, nebo pouze u některých meziřadí, s přihlédnutím ke směru

výsadby. Po podkultury lze použít různé druhy plodin. Z důvodu hospodaření s vláhou jsou zvláště vhodné ozimé žito a ozimá pšenice, které se ve fázi sloupkování sežnou a ponechají jako mulč (*Agroprojekt, 1987*).

h) Mulčování

Mulčování půdy (nastýlání) se uplatňuje zejména ve vinicích a sadech. Výška nastýlky organické hmoty je 0,1 – 0,2 m. Mulčování výrazně omezuje erozi, zmenšuje nebo vylučuje potřebu kultivace, snižuje výpar a zvětšuje vsak (*Sanetrník, Filip, 1991*). K mulčování lze ekonomicky výhodně využít organické hmoty získané na místě (drcené větve, réví, ozimé podkultury apod.). Jiným zdrojem nastýlky může být dovezená sláma (obilniny, kukuřice). Doporučuje se na erozně ohrožených pozemcích sadů a vinic, především ve sklonu 12 – 18 % (7 – 10°). Mulčování umožňuje výsadbu po spádnici. Nevýhodou mulčování je posun kořenů blíže k povrchu a tím možnost jejich poškození (*Podhrázská, Dufková, 2005*).

7.1.3 Opatření technického (biotechnického) charakteru

Pokud nelze dosáhnout dostatečné protierozní ochrany organizačními a agrotechnickými opatřeními, je nutné použít opatření technická (*Pasák, Janeček, Šabata, 1983*).

Technická opatření slouží k vyrovnání příčných nerovností a snížení podélného sklonu velmi svažitéch pozemků, k ochraně pozemků před tzv. „cizí“ vodou např. přitékající z lesních porostů na zemědělskou půdu, k neškodnému odvedení povrchových vod z povodí, k retardaci povrchového odtoku a zachycení smyté zeminy (*Janeček et al., 2002*).

Technická opatření proti vodní erozi jsou dlouhodobé povahy a navrhují se v polohách silně ohrožovaných povrchovým odtokem. Tato opatření se navrhují na základě projektové dokumentace, která je zpracována odbornými projekčními složkami a podléhá předepsanému schvalovacímu řízení (*Sanetrník, Filip, 1991*).

Technické prvky však není možno navrhovat izolovaně a předpokládat, že jen ony vyřeší protierozní ochranu daného území. Celý systém těchto technických opatření je nutno chápat jako tzv. „kostru protierozních opatření“ v řešeném území, kterou je nutno doplnit systémem organizačních, agrotechnických opatření (*Podhrázská et al., 2008*).

Mezi technická opatření patří:

- a) Terénní urovnávky
- b) Protierozní meze
- c) Terasování
- d) Protierozní příkopy
- e) Průlehy
- f) Protierozní hrázky
- g) Polní cesty s protierozním charakterem
- h) Protierozní nádrže
- i) Asanace strží (*Dostál et al., 2003*)

a) Terénní urovnávky

Terénní urovnávky slouží k vyrovnání terénních nerovností. Ve vztahu k protierozní ochraně se jedná o úpravy terénu, které ovlivní: členitost terénu, sklon terénu, délku svahu, režim odtoku vod, přístupnost a roztržitost pozemků. Při terénních urovnávkách je vhodné terén upravovat do nakloněné roviny, vypuklého svahu či roviny s podélným sklonem k obvodu lokality. Výsledný sklon pozemku po terénní urovnávce je závislý na kultuře (orná půda, sady, vinice) neměl by však přesáhnout 18 %. Toto opatření je možné provádět jen na velmi hlubokých půdách (zejména na spraši) (*Sanetrník, Filip, 1991*).

b) Protierozní meze

Meze je nutno používat a vnímat jako systémová opatření prováděna v rámci ochrany pozemků v povodí. Jde vlastně o nízké terasy o sklonu svahu meze přibližně 1:1,5 a výšce 1 – 1,5 m, výjimečně i vyšší. Meze musí být vedeny ve směru vrstevnic s mírným sklonem do 3 % (*Soukup, 2006*).

Protierozní meze jsou často navrhované s průlehy ve spodní nebo horní části či bez průlehů jako bezodtokové, jsou trvalou překážkou soustředěného povrchového odtoku. Jsou podstatně složeny ze tří základních částí: zasakovacího pásu nad mezí, vlastního tělesa meze a odváděcích prvků (*Podhrázská, Dufková, 2005*).

c) Terasování

Jednou z možností, jak před erozí chránit extrémně svažité pozemky o sklonu vyšším než 20 % na hlubokých až velmi hlubokých půdách, je terasování (*Janeček et al., 2008*).

Terasování je protierozní opatření, jehož účelem je zmenšení sklonu svahu terénními stupni a také zmenšení délky odtokové dráhy, což omezí erozi (*Sanetrník, Filip, 1991*).

Terasy musí být navrhovány tak, aby vytvářely tvary, které optimálně vyhovují využití pozemků, zajišťují komunikační přístupnost a umožňují optimální regulaci vodohospodářských poměrů. Budují se jako terasy úzké, o šířce terasové plošiny umožňující výsadbu 1 nebo 2 řad ovocných stromů nebo vinné révy, nebo jako široké, o šířce terasové plošiny umožňující výsadbu 3 a více řad, případně pěstování běžných zemědělských plodin. Umožňují i vybudování protierozních hydrotechnických objektů (příkopů, průlehů, kanálů) (*Janeček et al., 2007*).

Terasování se rozděluje na:

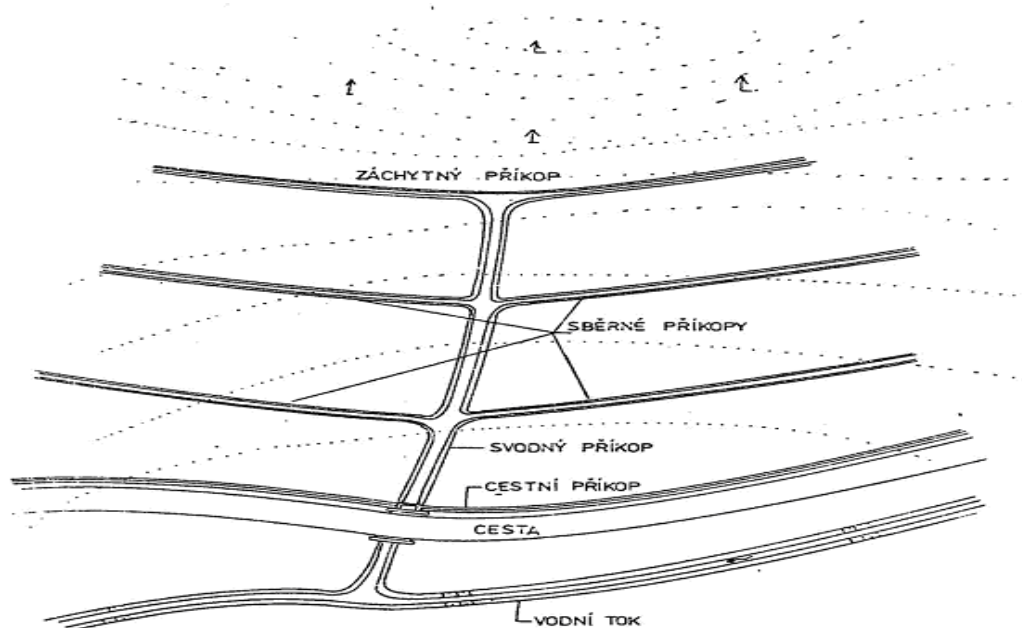
- 1) průlehové – vhodné do spádu 12 %
- 2) hrázkové – buduje se na svazích 20 – 30 %
- 3) stupňovité – pro spády od 30 % (*Kluibr, 2010*)

d) Protierozní příkopy

Používají se k doplnění existující hydrografické sítě a slouží k zachycování a odvádění povrchové vody i sedimentů. Z funkčního hlediska se dělí na:

- 1) záchytné, navrhují se pro zachycení nesoustředěného povrchového odtoku z cizích i řešených pozemků (vnější a vnitřní vody) a pro ochranu níže ležících pozemků. Záchytný příkop se doplňuje zatravněnými pásy, sedimentačními pásy, pásy zeleně a hrázkami (*Slavík, 2000*)
- 2) sběrné, pro zachycení vnitřních vod, zpravidla k omezení příliš velké délky povrchového odtoku po pozemku
- 3) svodné, pro zajištění neškodného odtoku do recipientů (*Soukup, 2006*)

Obr. č. 6 Soustava protierozních příkopů (Janeček et al., 2008).



e) Průlehy

Průlehy se navrhují k zachycování, infiltraci a odvádění krátkodobého povrchového odtoku způsobeného přívalovými dešti či náhlým jarním táním (Janeček et al., 2008).

Příčné dělení pozemků protierozními průlehy je považováno za jedno z nejdůležitějších podpůrných ochranných opatření na orné půdě, zejména v kombinaci s ostatními protierozními opatřeními (agrotechnickými, organizačními) a spočívá v rozdělení dlouhého svahu příčnými průlehy na několik menších (Podhrázká et al., 2008). Vzdálenosti mezi průlehy jsou závislé na sklonu pozemku, hydrologické charakteristice půd, úhrnu a intenzitě přívalových srážek (Podhrázká, Dufková, 2005).

Průlehy jsou použitelné na svazích s hlubšími půdami do sklonu nejvýše 15 %, výjimečně 18 %. Průlehy s nulovým nebo malým podélným sklonem slouží k zasakování veškeré po povrchu stékající vody. Průlehy s větším podélným sklonem musí být trvale zatravněny a slouží k odvádění po povrchu tekoucí vody. Sběrné průlehy jsou zaústřovány zpravidla do zatravněných údolnic nebo zpevněných příkopů (Janeček et al., 1992).

f) Protierozní hrázky

Protierozní hrázky se budují 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 (*Janeček et al., 2007*).

Voda může být hrázkami zachycena a odváděna (odváděcí hrázky) nebo může u hrázek s nulovým sklonem vsakovat (vsakovací hrázky) (*Sanetrník, Filip, 1991*).

g) Polní cesty s protierozní funkcí

Systém protierozní ochrany dobře doplňují polní cesty, pokud jsou opatřeny cestními příkopy nebo průlehy na straně ke svahu. Velmi záleží na jejich směrovém vedení a řešení odtoku. Pokud jsou cesty na svahu vedeny podél vrstevnic nebo v malém sklonu působí účinně jako protierozní opatření či zábrana, ovšem musí být opatřeny příkopy, průlehy nebo alespoň širokým travním pásem (*Soukup et al., 2008*). Výhodné je požadavky na komunikační propojení spojit s řešením protierozní ochrany. Povrchová voda z příkopů a průlehů podél cest musí být odváděna do recipientů, jinak by cesty byly zdrojem erozních škod. Pozemky tak nejsou zbytečně tříštěny a jejich ochrana před erozí je vyšší. Polní cesty vedené nad terénem mohou plnit i funkci protierozních hrázek (*Soukup, 2006*).

h) Protierozní nádrže

Malé vodní nádrže se navrhují v zemědělsky využívané krajině jako součást ochrany povrchových vod před rozptýleným zemědělským znečištěním. Jejich účelem je zadržet transportované látky z povodí nebo snížit jejich obsah a zadržet splaveniny, které vznikají rozvojem erozních procesů z povodí (*Gergel, 1992*). Tyto nádrže by měly být navrhovány všude tam, kde i přes opatření provedená v povodí dochází k zvýšenému transportu látek, zejména do povrchových zdrojů pitné vody (*Pasák, Janeček, Šabata, 1983*).

Vodní nádrže se rozlišují:

- 1) s vodním obsahem a vymezeným sedimentačním a retenčním prostorem
- 2) suché retenční nádrže (poldry), které slouží ke krátkodobému zachycení povrchového odtoku a usazení splavenin (*Janeček et al., 2002*)

V zájmu jejich maximální účinnosti při zachycování splavenin je nutné, aby jejich záchytný prostor byl tak velký, aby zachytil objem vody odtékající z přívalového deště, popř. z jarního tání, s průměrnou dobou opakování alespoň 50 let. Po usazení splavenin odtéká z nádrže relativně čistá voda zbavená nerozpuštěných látek. Z tohoto požadavku vyplývá i možnost stavby těchto nádrží pouze v malých povodích (*Janeček et al., 2007*).

Z hlediska vlivu na kvalitu vody jsou výhodnější tzv. suché nádrže, jejichž dno je možné obhospodařovat jako louku. Tyto nádrže se plní jen v době zvýšených odtoků a po pozvolném odtoku vody dochází k vysoušení nánosů a jejich prorůstání trvalými travními porosty. Z tohoto typu nádrží není zpravidla ani nutné tak často odstraňovat nánosy. Ani negativní vliv nánosů, spočívající v uvolňování látek v nich obsažených do vodního prostředí, se neprojevuje tak jako u nádrží zatopených, u kterých je nutno již v návrhu pamatovat na to, jakým způsobem bude sediment odstraňován a kde bude využit (*Janeček et al., 1992*).

Pro navrhování, výstavbu, rekonstrukci a provoz nádrží s celkovým objemem větším než 5000 m³ je závazná ČSN 73 6824 „Malé vodní nádrže“ (*Pasák, Janeček, Šabata, 1983*).

i) Asanace strží

V protierozní praxi se rozeznává asanace strží zachovaných a nezachovaných. U stržích nezachovaných znamená asanace jejich úplnou likvidaci, úpravu prostoru a plochy do stavu zemědělského pozemku a jeho následné zemědělské využívání (*Podhrázská, Dufková, 2005*).

Asanace strží zachovaných vychází z hydrologického posouzení a využití stabilizovaných strží jako svodných hydrotechnických zařízení pro odvod soustředěných přívalových vod. Rozsah a způsob úpravy strží vychází z hydrologického posouzení. Úprava musí zabezpečovat i funkci sedimentační (*Podhrázská et al., 2008*).

8. Možnosti využití delimitace k omezení odnosu sedimentů

Delimitace kultur znamená jejich umístění v rámci půdního fondu z hlediska terénních, půdních a klimatických podmínek se zřetelem k jeho účelnému využití pro zemědělskou a lesní výrobu (*Holý, 1994*).

Orientačním kritériem pro delimitaci kultur z hlediska protierozní ochrany (odnosu sedimentů) je sklonitost území:

- a) svahy se sklonem vyšším než 50 % by měly být zalesněny
- b) trvalými travními porosty by měly být chráněny:
 - plochy se svažitostí vyšší než 25 %
 - dráhy soustředěného povrchového odtoku
 - pozemky, které nelze využívat jako ornou půdu pro vysokou hladinu podzemní vody nebo terénní překážky, zamokřené údolní louky s nebezpečím záplav (podél vodních toků, v okrajích rybníků, apod.)
 - pozemky nad výškovou hranicí pěstování polních plodin (*Janeček et al., 2002*)

8.1 Ochranné zatravnění

Půdy, které jsou výrazně ohroženy erozí a které nelze ekonomicky obhospodařovat ani není účelné je zalesnit, mají být trvale zatravněny (*Holý, 1994*). Pozemky na svazích nad 25 % sklonu se musí trvale zatravněvat (*Kluibr, 2010*). Trvale se zatravnějí i nepravidelné územní útvary v polních tratích ohrožené erozí, pohyblivé písčité půdy, neplodné půdy, průmyslové výsypky, navážky aj. (*Holý, 1994*).

Cílem zatravnění ploch je především zvýšení zasakovací schopnosti půdy, ale také bezpečné odvedení povrchového odtoku. Tvar a velikost navrhované zatravněné plochy jsou určovány hlavně místními poměry a velikostí povrchového odtoku z daného území (*Soukup et al., 2008*).

Ochranné zatravnění se používá buď jako *plošné*, nebo *pásové* (pro ochranu údolnic, odvádějících soustředěný povrchový odtok nebo pro ochranu zastavěného území a vodních zdrojů, v podobě travních zasakovacích nebo sedimentačních pásů) (*Agroprojekt, 1987*).

Plošné zatravnění pozemku přichází v úvahu v případech, kdy přípustná šířka počítaná pro ornou půdu je za všech okolností velmi malá a podmínky pozemku odpovídají kritériím obecné delimitace pro trvalé travní porosty (Švehla, Vaňous, 1995).

Pro zatravnění svahů jsou vhodné vojtěška, jetel bílý a jetel červený, bojíněk luční aj. Přestárlé porosty půdu nechrání. Nutnou obnovou je zmlazování porostu, přisévání vhodných trav, přihnojení porostu, závlaha a včasné sekání nebo spásání skotem (Kluibr, 2010).

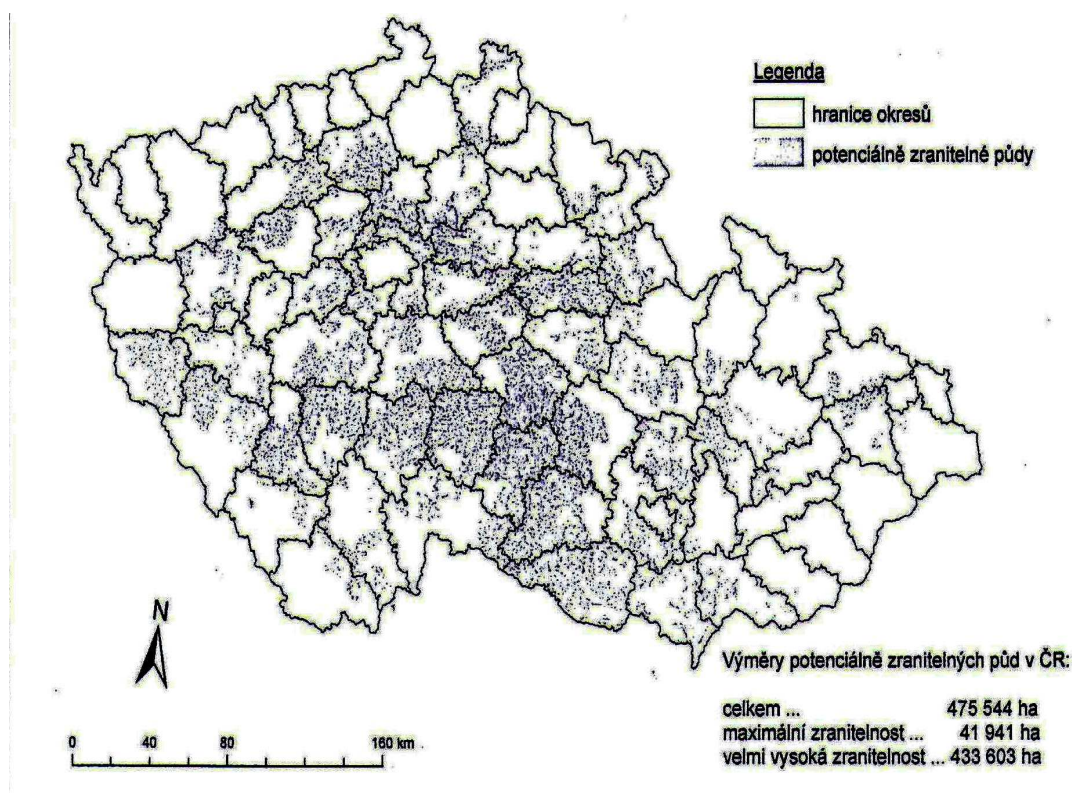
Zatravnění údolnic a drah soustředěného odtoku se navrhuje z důvodu ochrany zemědělských pozemků, tj. snížení eroze půdy. Povrchový odtok je soustředěn v přirozených údolnicích, úžlabinách a průlezech. V těchto místech dochází ke koncentrovanému odtoku a proto je nutné povrch chránit relativně odolným vegetačním materiálem (drnem), tj. zatravněním (Soukup et al., 2008). Účelem zatravněných údolnic nemusí být jen protierozní ochrana před účinky soustředěného odtoku, ale zároveň mohou eventuelně sloužit k vyústění vrstevnicově založených prvků protierozní ochrany, v nichž se zachycuje voda. Měly by se navrhovat všude tam, kde bylo provedeno scelení pozemků orné půdy rozoráním původně zatravněných údolnic. Šířku pásů je možno volit větší, aby tak vznikly samostatné pozemky travních porostů nebo se jejich profil a šířka upravuje tak, aby stačily odvést veškeré po povrchu stékající vody (s četností výskytu jednou za 10 let) a aby nebylo poškozeno opevnění, v tomto případě travní porost (Švehla, Vaňous, 1995).

Travní zasakovací pásy jsou v krajině často používaným protierozním a ochranným opatřením, navrhovaným pro snížení povrchového odtoku, podporu zasakování a zvýšení retence vody (Soukup et al., 2008). Účinnost zasakovacích pásů spočívá v převedení povrchově odtékající vody, zejména vody přitékající z výše ležících pozemků, v odtok podpovrchový (Podhrázská et al., 2008).

Zasakovací travní pásy jsou navrhovány ve směru podél vrstevnic nebo v mírném odklonu od jejich směru. Délka travních pásů závisí na lokalitě, především na velikosti a tvaru pozemku. Šířka závisí na sklonu pozemku a požadované účinnosti, kterou vzhledem k jejich hydrologické funkci zasakování (infiltrační schopnosti) chceme dosáhnout, min. šířka by však neměla být menší než 12 m (Soukup et al., 2008).

Sedimentační pásy podél toků slouží k zachycení erozního smyvu z výše položených míst, v údolních nivách mohou umožňovat i bezškodný krátkodobý rozliv vodního toku při povodňových situacích. Sedimentační pásy by měly mít minimální šířku 10 m. Vhodné je jejich šířku přizpůsobit místním podmínkám. K osetí pásu je nejvhodnější jetelotrávní směs nebo jen travní směs. Rozhodující pro volbu směsi je kvalita místní půdy a hladina spodní vody (Kluibr, 2010).

Obr. č. 7 Potenciálně zranitelné půdy vhodné pro zatravnění (Buzek et al., 2007).



8.2 Ochranné zalesnění

Ochranné zalesnění je nejvýhodnějším způsobem na horských předělech a obnažených úbočích se značným sklonem a nevhodnou expozicí a dále v polohách silně ohrožovaných erozí, jako jsou úžlabí, výmoly, strže, váté písky, šterkoviska apod., neboť správně založený a obhospodařovaný les vykazuje velmi prospěšné účinky půdoochranné, vodohospodářské a protierozní (Jůva, Hrabal, Tlapák, 1977).

Lesní porosty především zachycují a tlumí v korunách stromů a křovin přímý náraz deště na půdy a zeslabují jeho odtokovou i odnášecí schopnost. Zároveň kryt lesní půdy, tzv. hrabanka, tvořící se humifikací lesního opadu a bylinného krytu půdy, zadržuje velké množství vody, kterou kyprá, silně humózní lesní půda vydatně

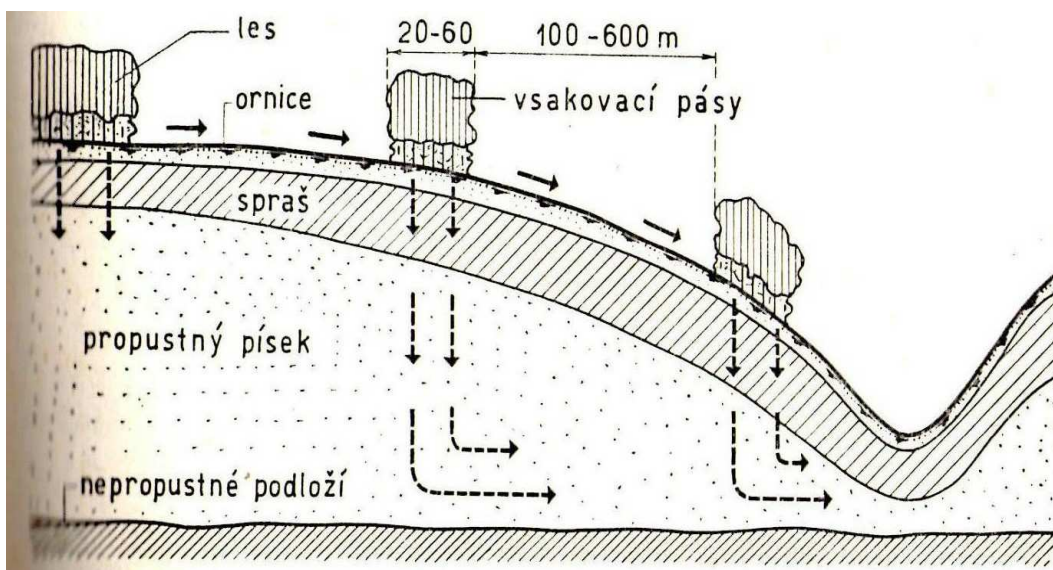
přijímá a průsakem propouští do hlubších vrstev. Tím se podstatně zmenšuje povrchový odtok i jeho erozní schopnost. Poněvadž půdu též upoutávají kořeny lesních stromů, keřů i bylinného společenstva, zlepšuje se její protierozní odolnost a ochrana proti vodnímu smyvu (*Jůva, Hrabal, Tlapák, 1984*). Je dokázáno, že vodní eroze je v zalesněných povodích třikrát, ale také až 600 krát menší než v některých nezalesněných územích. Rozhoduje stáří porostu a jeho druhové zastoupení (*Kluibr, 2010*). Pouze les s hustým, vertikálně zapojeným vegetačním krytem, s bohatým podrostem, s půdou bohatou humusem a krytou mocnou vrstvou hrabanky, může spolehlivě plnit protierozní funkci. Těmto podmínkám vyhovuje nejlépe smíšený les s patrovým profilem a vhodným zakmeněním (*Holý, 1994*).

Ochranné zalesnění se chápe jako *plošné zalesnění* a jednak jako *vsakovací lesní pásy*.

Plošné zalesnění se může týkat dosud nezalesněných pozemků nad 50 % sklonu (*Švehla, Vaňous, 1995*). Ochranné plošné lesy jsou situovány ve vyšších částech svahů tak, aby níže ležící svah byl chráněn před silným odtokem vody. Lesní plochy na rozvodích a v horních částech mají tedy nejen zemědělský, ale také vodohospodářský význam. Z hlediska vodohospodářské funkce mají vliv na zamezení rozrušování půdního profilu, tvorby plavenin a splavenin (*Buzek, 1983*).

Na svazích ohrožovaných vodní erozí jsou účinnou ochranou *vsakovací lesní pásy*. Vsakovací lesní pásy se vyznačují tím, že mají vysokou vsakovací schopnost, která jim umožňuje zachytit a převést na podzemní odtok nejen všechny srážkové vody, které spadnou na lesní pás, ale i povrchové vody přitékající z výše ležícího území (*Zachar, Jůva et al., 1987*). Vysazují se napříč svahu, zhruba po vrstevnicích ve vzájemné vzdálenosti podle délky i sklonitosti svahu a velikosti odtoku 100 – 600 m a v šířce 20 – 60 m, v užším vymezení 40 – 50 m. V dobře založeném a vzrostlém pásu se odtok deště nebo tajícího sněhu zadržuje a převádí vsakem do půdy, čemuž se ještě napomáhá zřizováním záchytných příkopů a hrázek na okrajích pásů. Nejlépe plní funkci vsakovací lesní pásy, které jsou umístěny uprostřed svahů nebo v místech náhlých (kritických) změn sklonu – viz. obr. č. 8 (*Jůva, Hrabal, Tlapák, 1977*).

Obr. č. 8 Vsakovací lesní pásy na zemědělsky obdělávaných půdách (Jůva, Hrabal, Tlapák, 1984).



9. Závěr

Z této bakalářské práce je patrné, že sedimenty představují velkou hrozbu vodnímu prostředí. Především zanášejí akumulární prostory vodních nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, znečišťují vodní zdroje, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují životní podmínky vodních organismů.

Odstranění těchto vážných problémů představuje pracovně i investičně nákladné úkony. Z tohoto důvodu je důležitá prevence, která spočívá hlavně v omezení odnosu sedimentu z povodí.

Příčinou odnosu sedimentu je eroze, a to především vodní eroze. Vodní eroze je vyvolána mechanickou silou proudící povrchové vody po prudších deštích a sněhovém tání. Vzniklý povrchový odtok splavuje půdní částice, které se následně ukládají ve vodním prostředí. Omezení odnosu sedimentu bude tedy přímo spojeno s ochranou půdy proti vodní erozi (povrchovému odtoku).

Snížení odnosu sedimentů bude možno dosáhnout prostřednictvím protierozních opatření: organizačních, agrotechnických a technických. Tyto opatření budou úspěšné pouze tehdy, když budou dostatečně zachycovat povrchově odtékající vodu na chráněném pozemku, převádět co největší částí povrchového odtoku na vsak do půdního profilu a snižovat rychlost odtékající vody. Tyto podmínky velmi efektivně splňují organizační opatření a to zejména delimitace kultur, která je řazena mezi tato opatření.

Delimitace kultur omezuje odnos sedimentů pomocí ochranného zatravnění a zalesnění. Tato ochranná opatření jsou umisťována především na pozemky ohrožené vodní erozí, hlavně se jedná o plochy se svažitostí vyšší než 25 %, dráhy soustředěného povrchového odtoku, pozemky nad výškovou hranicí pěstování polních plodin, horské předěly, obnažené úbočí a pozemky s vysokou hladinou podzemní vody. Principem delimitace je tudíž zvýšení vegetačního krytu na těchto ohrožených pozemcích. Vegetační kryt zachycuje a tlumí přímý náraz deště na půdu a zeslabuje jeho odtokovou i odnášecí schopnost a zároveň umožňuje zachycovat povrchové vody přitékající z výše ležících území, které následně převádí na podzemní odtok. Tím se podstatně zmenšuje povrchový odtok, a tudíž i odnos sedimentů.

Z mnoha vědeckých výzkumů je dokázáno, že povrchový odtok ze zalesněných pozemků nepřesahuje 4 % srážkového množství vody, což znamená, že tyto

pozemky nebudou trpět vodní erozí – odnosem sedimentu. Podobně příznivé hodnoty dosahují i zatravněné pozemky, kde povrchový odtok nepřesahuje 5,5 % srážkového množství. Z těchto uvedených hodnot tedy vyplývá, že ochranná zatravnění a zalesnění (delimitace kultur) mají významný vliv na snížení odnosu sedimentu.

10. Seznam použité literatury

- 1) **Agroprojekt.** Protierozní ochrana zemědělských pozemků. Typizační směrnice, Praha, SZN, 1987, 129 s.
- 2) **Annandale, G.W.** Reservoir Sedimentation. Amsterdam, Elsevier, 1987, 221 s.
- 3) **Babuška, V., Mužík, M.** Mineralogie, Petrografie a Geologie. Praha, SNTL, 1981, 472 s.
- 4) **Bennet, H.H.** Element of Soil Conservation. New York – Toronto – London, Mc Graw Hill, 1955, 322 s.
- 5) **Buzek, F. et al.** Zatravňování orné půdy s vysokým rizikem infiltrace – opatření pro cílené snižování koncentrací dusičnanů ve vodách. Metodika, Praha, VÚMOP, 2008, 110 s.
- 6) **Buzek, L.** Eroze půdy. Ostrava, Pedagogická fakulta, 1983, 257 s.
- 7) **Brady, N.C., Weil, R.R.** The nature and properties of soils. New Jersey, Prentice Hall, 1999, 881 s.
- 8) **Cablík, J., Jůva, K.** Protierozní ochrana půdy. Praha, SZN, 1963, 324 s.
- 9) **Deumlich, D., Kiesel, J., Thiere, J., Reuter, H., I., Völker, L., Funk, R.** Application of the Site Comparison Method (SICOM) to assess the potential erosion risk – a basis for the evaluation of spatial equivalence of agri-environmental measures. Journal of Hydrology 68, 2006, s. 141-152.
- 10) **Dostál, J., Handrle, J., Klír, J., Kozlovská, L., Kvítek, T., Růžek P.** Zásady správné zemědělské praxe zaměřené na ochranu vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů. Praha, ÚZPI, 2003, 44 s.
- 11) **Foster, R.J.** General Geology. Columbus, Merrill Publishing, 1988, 507 s.
- 12) **Gergel, J. et al.** Těžba a využití sedimentů z malých vodních nádrží. Metodika č. 18/1995, Praha, VÚMOP, 1995, 23 s.
- 13) **Gergel, J.** Ochrana krajinného prostředí pomocí malých vodních nádrží. Metodika č. 10/1992, Praha, VÚMOP, 1992, 29 s.
- 14) **Gergel, J., Janeček, M.** Revitalizace vodních nádrží. In: Povrchové vody a pozemkové úpravy: sborník z XI. setkání vodohospodářů. Kutná Hora, Sdružení vodohospodářů ČR, 1996, s. 125-130.

- 15) **Hassler, T.J.** Environmental influences on early development and year class strength of northern pike in lakes Oahe and Sharp, South Dakota. Transactions of the American fisheris society 99, 1970, s. 369-375.
- 16) **Holý, M.** Eroze a životní prostředí. Praha, Vydavatelství ČVUT, 1994, 383 s.
- 17) **Hovorka, V. et al.** Projektová příprava protierozních opatření. Metodika č. 5/1990, Praha, VÚZZP, 1990, 28 s.
- 18) **Hůla, J., Janeček, M., Kovaříček, P., Bohuslávek, J.** Agrotechnical erosion control measures, Praha, VÚMOP, 2006, 48 s.
- 19) **Janeček, M.** Vliv eroze půdy na znečištění povrchových vod. Praha, ÚVTIZ, 1978, 72 s.
- 20) **Janeček, M. et al.** Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika č. 5/1992, Praha, ÚVTIZ, 1992, 110 s.
- 21) **Janeček, M. et al.** Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, ISV, 2002, 201 s.
- 22) **Janeček, M. et al.** Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika, Praha, VÚMOP, 2007, 76 s.
- 23) **Janeček, M. et al.** Základy erodologie. Praha, Česká zemědělská univerzita, 2008, 172 s.
- 24) **Jonáš, F. et al.** Pozemkové úpravy. Praha, SZN, 1990, 512 s.
- 25) **Jiao, J., Zou, W., Jia, L., Wang, N.** Research progress on the effects of soil erosion on vegetation. Acta Ecologica Sinica 29, 2009, s. 85-91.
- 26) **Jůva, K., Hrabal, A., Tlapák, V.** Ochrana půdy, vegetace, vod a ovzduší. Praha, SZN, 1977, 180 s.
- 27) **Jůva, K., Hrabal, A., Tlapák, V.** Malé vodní toky. Praha, SZN, 1984, 256 s.
- 28) **Jůva, K., Klečka, A., Zachar, D. et al.** Ochrana krajiny ČSSR. Praha, Československá akademie věd, 1981, 568 s.
- 29) **Kluibr, J.** Meliorace 2. Vodňany, Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2010, 91 s.
- 30) **Klimaszewski, M.** Geomorfologija. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1978, 1098 s.
- 31) **Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Valla, M., Borůvka, L.** Pedologie. Praha, Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, 2002, 140 s.
- 32) **Kukal, Z.** Návod k pojmenování a klasifikaci sedimentů. Praha, Ústřední ústav geologický, 1985, 80 s.

- 33) **Kvítek, T., Gergel, J., Kvítková, G.** Využití a ochrana vodních zdrojů. České Budějovice, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2005, 169 s.
- 34) **Milliman, J.D., Meade, R.H.** World – wide delivery of river sediment to the oceans. *Journal of Geology* 91, 1983, s. 1-21.
- 35) **Mráček, Z., Krečmer, V.** Význam lesa pro lidskou společnost. Praha, 1975, SZN, 225 s.
- 36) **Musgrawe, G.W.** The Quantitative Evaluation of Factors in water Erosion. In: *Journal of Soil and Water Conservation*. Washington, 1954, s. 133-138.
- 37) **Mze.** Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR, 1999, 136 s.
- 38) **Novák, L., Ibllová, M., Škopek, V.** Vegetace v úpravách vodních toků a nádrží. Praha, SNTL, 1986, 244 s.
- 39) **Novotná, D.** Možnosti programu revitalizace říčních systémů. In: *Povrchové vody a pozemkové úpravy: sborník z XI. setkání vodohospodářů*. Kutná Hora, Sdružení vodohospodářů ČR, 1996, s. 117-124.
- 40) **Novotny, V., Chesters, G.** Handbook of nonpoint pollution sources and management. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1981, 555 s.
- 41) **Pasák, V. et al.** Ochrana půdy před erozí. Praha, SZN, 1984, 164 s.
- 42) **Pasák V., Janeček, M., Šabata, M.** Ochrana zemědělské půdy před erozí. *Metodika* 11/1983, Praha, ÚVTIZ, 1983, 77 s.
- 43) **Petránek, J.** Usazené horniny. Praha, Československá akademie věd, 1963, 720 s.
- 44) **Podhrázká, J. et al.** Návrh a hodnocení účinnosti systému komplexních opatření v pozemkových úpravách pro snížení škodlivých účinků povrchového odtoku. Metodický návod, Praha, VÚMOP, 2008, 96 s.
- 45) **Podhrázká, J., Dufková, J.** Protierozní ochrana půdy. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005, 99 s.
- 46) **Ritchie, J. C.** Sediment, fish and fish habitat. *Journal of Soil and water Conservation* 27, 1972, s. 124-125.
- 47) **Robinson, A.R.** Sediment. *Journal of Soil and Water Conservation* 26, 1971, s. 61-62.
- 48) **Roehl, J.W.** Erosion and its control on agricultural lands. Symp. land and erosion control. Proc. of the federal 970, Washington, 1965, s. 18-22.

- 49) **Sanetrník, J., Filip, J.** Meliorace. Brno, Vysoká škola zemědělská, 1991, 177 s.
- 50) **Sklenička, P.** Základy krajinného plánování. Praha, Naděžda Skleničková, 2003, 321 s.
- 51) **Slavík, L.** Biotechnické úpravy v krajině. Ústí nad Labem, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2000, 225 s.
- 52) **Soukup, M.** Opatření v zemědělské krajině pro zlepšení vodních útvarů. Praha, VÚMOP, 2006, 108 s.
- 53) **Soukup, M. et al.** Biotechnická opatření v krajině pro zvýšení retence vody na odvodněných pozemcích v pramenných oblastech. Metodika a katalog navrhovaných opatření, Praha, VÚMOP, 2008, 82 s.
- 54) **Šimek, M.** Základy nauky o půdě 1, Neživé složky půdy. České Budějovice, Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, 2005, 160 s.
- 55) **Šlezinger, M.** Stabilizace říčních ekosystémů. Brno, Akademické nakladatelství Cerm, 2005, 353 s.
- 56) **Švehla, F., Vaňous, M.** Pozemkové úpravy. Praha, Vydavatelství ČVUT, 1995, 146 s.
- 57) **Verstraeten, G., Poessen J.** Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds, an overview of existing methods and the implications for the assessment of sediment yield. Progress in Physical Geography 24, 2000, s. 219-251.
- 58) **Vojtěch, V.** Nepříznivé vlivy transportovaných sedimentů. In: Úloha meliorací při ochraně zemědělské půdy před erozí. Praha, Dům techniky ČSVTS, 1988, s. 38-46.
- 59) **Vrána, K., Beran, J.** Rybníky a účelové nádrže. Praha, Vydavatelství ČVUT, 1998, 150 s.
- 60) **Vrána, K., Dostál, T., Zuna, J., Kender, J.** Krajinné Inženýrství. Praha, Český svaz stavebních inženýrů, 1998, 200 s.
- 61) **Wang, X., Li, S., Sun, Y., Meng, X.** Application of visual simulation technology to a soil erosion protection project. Landscape and Urban Planning 84, 2008, s. 52-61.
- 62) **WCD.** Dams and development. A New Framework for Decision – Making. London, Earthscan Publications Ltd, 2000, 356 s.

- 63) **Westrich, B., Förstner, U.** Sediment Dynamics and Pollutant Mobility in Rivers. New York, Springer, 2007, 430 s.
- 64) **Zachar, D.** Erózia pôdy. Bratislava, Vydavateľstvo SAV, 1970, 528 s.
- 65) **Zachar, D., Jůva K. et al.** Využití a ochrana vod ČSSR. Praha, Československá akademie věd, 1987, 568 s.

Internetové zdroje

http://www.casopisstavebnictvi.cz/rekonstrukce-velkeho-pocernickeho-rybnika-vpraze-dolnich-pocernicich_N296

<http://www.sweb.cz/eroze/Eroze1.jpg>