

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Zemědělská fakulta

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Řešení protierozní ochrany na modelovém povodí
matematickým modelováním

Autor: Jan Kříha

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Ondr, CSc.

2010

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Katedra pozemkových úprav

Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KRÍHA**

Studijní program: **M4101 Zemědělské inženýrství**

Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**

Název tématu: **Řešení protierozní ochrany na modelovém povodí
matematickým modelováním.**

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

- Cílem práce je posoudit a vyhodnotit erozní jevy na modelovém povodí.
- Provést průzkum povodí z hlediska pedologického, hydrogeologického a klimatologického.
- Vyhodnotit srážkové úhrny pro nejbližší meteorologické stanice.
- Vyhodnotit a propočítat erozní parametry pro místní podmínky.
- Posoudit možnosti využití softwarového modelování v návrhu protierozních opatření.
- Navrhnout zobecnění a upřesnění jednotlivých faktorů pro řešenou oblast .

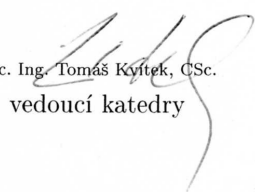
Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: **50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- Forman, R.T., Godron, M.: Landscape ecology. J.Wily and sons, New York, 1986**
Sklenička, P.: Základy krajinného plánování. Naděžda Skleničková, Praha, 2003
Dumbrovský, M.: Metodický návod pro pozemkové úpravy a související informace. VÚMP Praha,2000.
Holý, M.: Protierozní ochrana. SNTL, Praha, 1978
Časopis Soil and Water.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavel Ondr, CSc.**
Katedra pozemkových úprav
Datum zadání diplomové práce: **13. března 2008**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2010**


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

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


doc. Ing. Tomáš Kyřtek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 13. března 2008

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci 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 – diplomové 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 30.4.2010

Jan Kříha

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád vyjádřil své poděkování panu Ing. Pavlu Ondrovi, CSc. za vedení diplomové práce, praktické rady a čas strávený při konzultacích. Také děkuji všem těm, kteří mi vyšli vstříc a poskytli cenné informace. Nakonec bych chtěl poděkovat svým rodičům za poskytnuté zázemí a trpělivost.

ANOTACE

Náplní diplomové práce je posouzení a vyhodnocení erozních jevů na povodí Budského potoku. Zájmové území spadá do třech katastrálních území, a to Malče, Besednice a Soběnov. Rozloha řešeného povodí je 7.1 km². Nedílnou součástí práce je průzkum území z hlediska pedologického a hydrogeologického. Dále bylo vyhodnoceno nakládání s odpady v přilehlých obcích. Na povodí má významný vliv nádrž Besednice. Bylo proto provedeno zhodnocení jejího vlivu na okolí a její protierozní funkce. S využitím nabytých informací byl proveden výpočet N-letých vod a množství splavené půdy dle Wischmeiera a Smithe. Dalším cílem je takto získaná data zpracovat za pomoci softwarového modelování a analyzovat získaný výstup. Na základě těchto podkladů a výsledků jsou doporučena opatření vedoucí ke snížení smyvu půdy z těchto pozemků.

Klíčová slova: eroze, univerzální rovnice ztráty půdy dle Wischmeiera a Smithe, splavená půda, nádrž, povodí, protierozní opatření, N-leté vody, softwarové modelování

ANNOTATION

The contents of this thesis is an examination and assessment of erosion processes in the catchment Budského stream. The area of interest falls into three cadastral territory, Malče, Besednice a Soběnov. Catchment area is 7.1 km². Integral part of work is the pedological and hydrological research. It was evaluated the impact of waste in the surrounding villages. In the catchment basin, has a significant influence Besednice reservoir. It was assessing its impact on the environment and erosion control functions. Using the acquired information has been calculated N-year water and the amount of drifted soil by Wischmeier and Smith. Another goal is to process this data using software modeling and evaluate output. Against this background and the results are recommended measures to reduce soil loss from these plots.

Key words: erosion, universal soil loss equation by Wischmeier and Smith, catchment basin, reservoir, erosion control, N-year water, software modeling

Obsah

1. ÚVOD	1
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED	2
2.1 EROZE	2
2.1.1 Hydrologický cyklus	2
2.1.2 Důsledky a projevy eroze	3
2.1.3 Ochrana proti erozi v KPÚ	4
2.2 DRUHY EROZE	5
2.2.1 Třídění eroze podle činitele	5
2.2.2 Třídění eroze podle formy	7
2.3 PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ	10
2.3.1 Organizační opatření	11
2.3.2 Agrotechnická opatření	12
2.3.3 Biotechnická protierozní opatření	13
2.3.4 Opatření proti větrné erozi	16
2.4 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ	19
2.4.1 Statistický model	20
2.4.2 Vývoj modelů	21
2.4.3 Simulační modely odtoku vody a eroze půdy	23
2.4.4 Problémy při budování datové základny	24
3. CÍL A METODIKA PRÁCE	27
3.1 CÍL	27
3.2 METODIKA PRÁCE	27
3.2.1 Výpočet specifického odtoku	27
3.2.2 Určení erozní ohroženosti pozemků	32
4. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉ OBLASTI	35
4.1 GEOMORFOLOGICKÉ ČLENĚNÍ	35

4.2 GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA	35
4.2.1 Základní charakteristika regionu	35
4.2.2 Soběnovská vrchovina	36
4.2.3 Podrobná geologická charakteristika zájmového území	36
4.2.4 Charakteristika území z hlediska radonu v podloží	36
4.2.5 Pedologická charakteristika	
4.3 VODOHOSPODÁŘSKÉ ÚDAJE	37
4.3.1 Vymezení zájmové oblasti	37
4.3.2 Hydrologické poměry	37
4.3.3 Nádrž Besednice	38
4.3.4 Besednická nádrž jako prvek protierozní ochrany	40
4.4 NAKLÁDÁNÍ S ODPADY V PŘÍLEHLÝCH OBCÍCH	40
4.4.1 Besednice	41
4.4.2 Malče	42
4.4.3 Soběnov	42
5. VÝSLEDKY A DISKUSE	44
5.1 URČENÍ N-LETÝCH VOD BUDSKÉHO POTOKU	44
5.2 VYHODNOCENÍ OHROŽENOSTI PŮD	45
5.3 HODNOCENÍ FUNKČNOSTI NÁDRŽE	49
6. ZÁVĚR	50
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
8. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	54
9. SEZNAM PŘÍLOH	55

1. ÚVOD

Půda jako jeden z hlavních zdrojů biosféry je podle definice OSN „omezený a nenahraditelný přírodní zdroj a v případě degradace a její ztráty se stává tento zdroj v mnoha částech světa hranicí dalšího rozvoje lidské společnosti“. Jestliže by úrodná půda přestala existovat, přestala by existovat biosféra a to s ničivými následky pro lidstvo.

Eroze, z latinského výrazu *erodere*, tj. rozhlodávat, značí rozrušování zemského povrchu působením exogenních sil, zejména působením vody, ledu, větru a člověka. Rozrušování půdního povrchu je doprovázeno přemísťováním uvolněné hmoty působením kinetické energie některých činitelů (zejména větru a vody) a ukládáním hmoty při poklesu energie. (Holý, 1978)

Podmínky pro výskyt erozních procesů v naší republice jsou specifické, neboť při přechodu na velkovýrobní způsob zemědělského obhospodařování a při další intenzifikaci zemědělské výroby, byl problém eroze u nás značně podceňen a následky zrychlené eroze zemědělských půd vážně ohrožují jejich úrodnost včetně mnohamilionových škod v intravilánech obcí, způsobovaných povrchovým odtokem a smyvem půdy ze zemědělských pozemků. Eroze půdy ochuzuje zemědělské pozemky o nejurodnější část – ornici, zhoršuje fyzikálně chemické vlastnosti půdy, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozují plodiny a kultury, způsobuje ztráty osiv a sadby. 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 a velké povodňové průtoky poškozují budovy, komunikace, koryta vodních toků apod. (Janeček a kol., 1992)

Náplní diplomové práce je posouzení a vyhodnocení erozních jevů na povodí Budského potoku. Nedílnou součástí je též průzkum území z hlediska pedologického a hydrogeologického. Dalším cílem je takto získaná data zpracovat za pomoci softwarového modelování a analyzovat získaný výstup. Na základě těchto podkladů a výsledků doporučit budoucí směr vývoje v boji proti erozi.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 EROZE

Geografické rozšíření eroze je vázáno na výskyt dvou základních erozních faktorů - srážek a větru a na seskupení erozních činitelů – morfologie území, vegetačního krytu půdy, půdních vlastností. Vodní eroze je způsobena srážkami a k největšímu rozšíření dochází v oblastech se středními a velkými hodnotami ročních srážek, kde došlo k odstranění přirozeného půdního povrchu. Výrazný vliv má charakter srážek. Přívalové srážky o značných intenzitách jsou v mnoha případech rozhodující pro intenzitu erozních procesů. Podle Hudsona se takové srážky vyskytují převážně mezi 40 stupni severní a 40 stupni jižní zeměpisné šířky. Větrná eroze vzniká působením větru na suché půdě. Větrnou erozí jsou ohroženy obvykle oblasti s průměrnými ročními srážkami menšími než 250 až 300 mm, se stálými větry s převládajícím směrem. (Holý, 1978)

Základem veškerého úsilí redukce eroze je systém obdělávání půdy, který je hlavně doprovázen zlepšením ochranného vegetačního krytu půdy různými agrotechnickými a lesnickými zásahy. (Janeček, 1978)

2.1.1 Hydrologický cyklus

Erozní jevy (vodní eroze) jsou také součástí tzv. hydrologického cyklu. Voda se vypařuje z hladiny oceánů a z povrchu kontinentů do vzduchu v podobě srážek, odtéká potoky a řekami (procházejíc přitom jezery a rybníky) a ústím řek se navrácí zpět do oceánů. V tomto zjednodušeném hydrologickém cyklu má každá molekula vody šanci dostat se zpět na místo odkud vyšla.

Z ekologického hlediska jsou důležité některé variace tohoto základního cyklu. Srážky mohou mít podobu sněhu a v tom případě se může stát, že budou ležet hodiny, měsíce nebo ještě déle, než roztají a jako voda odtečou řekami. Voda může odtékat jednak povrchovým odtokem, jednak podpovrchovým odtokem. Základní rozdíl mezi oběma způsoby spočívá v tom, že při povrchovém odtoku může docházet k vodní erozi, zatímco podpovrchový odtok s sebou z území odnáší rozpuštěné živiny. Vyskytuje-li se pod povrchem půdy vrstva písku nebo porézní hornina, obvykle se naplní vodou a vytvoří podzemní vodní rezervoár. Tam se

shromažďuje podpovrchová voda a odtud je povolna uvolňována do toků. (Forman, Gordon, 1993)

2.1.2 Důsledky a projevy eroze

Eroze se většinou projevuje jako eroze normální, při níž erozní jevy probíhají zvolna při stavu rovnováhy v přírodě, a jako eroze abnormální neboli zrychlená, při porušení přírodní rovnováhy. Zrychlená eroze je příčinou nebezpečného uvolňování a transportu půdních částic a chemických látek. Při normální erozi je ztráta půdních částic doplňována tvorbou nových částic z půdního podkladu, transportní procesy jsou nevýrazné. Při zrychlené erozi dochází k takovému výskytu smyvu půdních částic a živin, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem a chemické látky dodané půdě jsou často odneseny v plném množství. (Holý, 1978)

Působení eroze - vodní nebo větrné - je natolik dominantním faktorem, že vůbec nezáleží na typu horniny, modelovaný reliéf vždy vypadá úplně stejně. Bylo by možné každý svah každého malého údolí a každého specifického typu horniny považovat za samostatnou plošku. Avšak charakteristiky společné všem těmto nepatrným svahům - tj. kolísání teplot, malá vlhkost, nedostatek živin - mají takovou ekologickou váhu, že nám dovolují považovat celé toto území za jednotnou krajinnou matici. (Forman, Gordon, 1978)

Důsledky ztráty půdy jsou zejména: pokles úrodnosti půdy, odnos rostlinných živin, změna půdní struktury a snížení vodní kapacity půdy, obnažení kořenů vegetace, která usychá, hluboké rýhy a výmoly, které znesnadňují možnost ekonomického mechanizovaného obdělávání.

Důsledky transportu a sedimentace půdy jsou: - splaveniny zanášejí přirozené i umělé vodní toky, vodní nádrže a stavby na tocích, zvyšují niveletu dna, jež vyvolává nebezpečí nežádoucích inundací a zvýšení hladiny podzemní vody. Ve vodních nádržích dochází ke zmenšování vodní kapacity prostoru. Při větrné erozi dochází k zavátí kultur a půdní částice znečišťují atmosféru.

Důsledky transportu chemických látek jsou: - chemické látky pronikají do povrchových i podzemních vod a ohrožují využití vodních zdrojů. Nejvýznamnějším zdrojem těchto látek jsou průmyslová hnojiva, různé druhy pesticidů, zemědělských i průmyslových odpadů. Vysoký obsah dusíku spolu s fosforem, způsobený aplikací průmyslových hnojiv, způsobuje eutrofizaci mnoha vodních nádrží. (Holý, 1978)

Eroze působí také na pohyb semen a jiných rozmnožovacích tělísek půdou, což se může stát důležitým zdrojem nových rostlin v jiných oblastech. Členovci, úlomky rostlin a mnohé organismy přežívají transport a touto cestou se rozšiřují do nových prostorů.

Další důležitou negativní funkcí eroze je mimo obnažení určitých oblastí i uložení sedimentu pod svahy. Tyto sedimenty tvoří převážně jíl a naplaveniny, které mohou pokrýt přijímací složku krajiny a obohatit ji živinami. V oblastech s nevhodným obhospodařováním krajiny se značná část těchto usazenin unáší proudem vody v toku a ukládá se přímo v něm nebo v dalších vodotečích. Na dnech toků se vytváří vrstva sedimentů, které pak zaplňují jezera a rybníky hrázemi. (Forman, Gordon, 1993)

2.1.3 Ochrana proti erozi v KPÚ

Realizace protierozních opatření by měla vždy vycházet z odborně zpracovaného projektu pozemkových úprav a speciálního projektu protierozních opatření, který by měl především obsahovat:

- Hydrologické posouzení daného povodí
- Posouzení současného uspořádání a využití pozemků z hlediska ohrožení půdy před erozí
- Variantní řešení protierozní ochrany území s doporučením optimální varianty tak, aby ztráty půdy nepřekročily tzv. přípustné hodnoty a další požadované limity

Při zpracování návrhu KPÚ musí být dána přednost protierozním opatřením před požadavky na nejvhodnější tvar a velikost pozemku z hlediska mechanizace. Tato opatření, bere-li se v úvahu jejich efekt z dlouhodobého hlediska, nebudou sloužit jen ku prospěchu vodního hospodářství, ale i k prospěchu těch, kdo hospodaří na takto chráněných pozemcích (ochrana přirozené produkční schopnosti půd). (Dumbrovský et al., 2000)

2.2 DRUHY EROZE

2.2.1 Třídění eroze podle činitele dle Holého

Podle činitele, který způsobuje vznik a působení erozních procesů, rozeznáváme

- Erozi vodní
- Erozi ledovcovou
- Erozi sněhovou
- Erozi větrnou
- Erozi zemní
- Erozi antropogenní

Uvedené druhy eroze se mohou vyskytovat jednotlivě nebo v kombinaci, což způsobuje různou intenzitu erozních procesů. Největší škody způsobuje eroze vodní a větrná, zvětšují se nepříznivé důsledky antropogenní eroze. (Holý, 1978)

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.

Na nerovných a svažitéch pozemcích se stékající voda postupně soustřeďuje a na vegetací dostatečně chráněné půdě působí erozně a vytváří v ní drobné rýžky, rýhy až strže. Snížením sklonu terénu nebo rozptýlením povrchového odtoku klesá jeho unášecí síla a dochází k sedimentaci unášených půdních částic. Vzhledem k tomu, že se nejdříve usazují nejhmotnější půdní částice, bývají dolní části pozemků pokrývány hrubozrnným materiálem, zatímco nejjemnější minerální a zejména organické částice a rozpuštěné látky vnikají do stálé hydrografické sítě – toků. Ve vtocích do průtočných nádrží vznikají dejekční kužele transportovaných hrubých splavenin (štěrků) a nádrže se postupně zanášejí. (Janeček, 1992)

Ledovcová eroze

Ledovcovou erozi způsobují ledovce pohybující se působením tíže do údolí a tím erodují skalní podloží, které se jednak obrušuje a vyhlazuje, jednak rýhuje valouny zamrzými v ledu. Ledovec strhuje a odnáší do nižších poloh velké množství horninových zvětralin, jež po uložení vytvářejí morény. Podle způsobu

dopravy vznikají při dopravě sutě na povrchu ledovce morény svrchní, při dopravě při okrajích ledovce morény boční a při dopravě materiálu při dně ledovce morény spodní. U paty ledovce se vytváří obloukovitá moréna čelní. Materiál morén se s tající vodou z ledovců dostává do vodních toků, v nichž tvoří významný podíl splavenin. V České republice se o existenci ledovcové eroze v době čtvrtohorního zalednění můžeme přesvědčit v Krkonoších.

Sněhová eroze

Sněhová eroze vzniká pohybem sněhu ve formě lavin, jejichž erozní činnost probíhá při velkých tlacích a rychlostech sněhu. Často devastuje zasažený pás území. Sněhová eroze může být vyvolána i pomalým pohybem vrstvy sněhu po neumrzlém půdním povrchu při jarním tání. Projevuje se zejména v podhorských oblastech.

Větrná eroze:

Větrná eroze spočívá v rozrušování půdní hmoty kinetickou energií větru, v přemísťování uvolněných částic a jejich ukládání při poklesu energie vzdušného proudu. Větrná eroze není v celosvětovém měřítku tak závažným problémem jako eroze vodní, přesto se však vyskytují rozsáhlé oblasti, v nichž větrná eroze působí velké škody. Větrná eroze je typickým jevem v aridních a semiaridních oblastech na půdě s nepříznivými fyzikálními vlastnostmi a nekryté vegetací.

Antropogenní eroze

Člověk má vliv na vznik a průběh erozních procesů svými zásahy do přírody. Je výrazným činitelem při vzniku zrychlené eroze a na erozní procesy působí nepřímým i přímým. Nepřímý vliv se projevuje ničením přirozeného vegetačního krytu půdy a jeho nahrazením vegetací s nízkým ochranným účinkem, zhoršením fyzikálních, chemických i biologických vlastností půdy, soustředěním povrchového odtoku různými úpravami území, znečištěním půdy odpady. Přímý vliv se projevuje zejména realizací technických staveb a urbanizací. Mezi nejvýznamnější druhy antropogenní eroze patří eroze vyvolaná intenzifikací zemědělské výroby, výstavbou komunikací a urbanizací. (Holý, 1978)

Zemní eroze:

Zemní erozi nazýváme dle Zachara erozní činnost suťových proudů, jež jsou tvořeny suťovým materiálem prosyceným vodou. Při svém pohybu do údolí rozrušují suťové proudy půdu i její podklad a vytvářejí hluboké rýhy. Materiál suťových proudů ohrožuje údolní polohy, komunikace i technické stavby. Známé jsou suťové proudy v Alpách zvané mury. (Zachar, 1970)

2.2.2 Třídění eroze podle formy dle Holého

Formy eroze jsou odvozeny z působení exogenních činitelů na půdním povrchu – eroze povrchová a pod půdním povrchem – eroze podpovrchová. Povrchová vodní eroze může být podle účinků vody na povrch: plošná, výmolová, proudová.

Plošná vodní eroze

Plošná vodní eroze je charakterizována rozrušováním a smyvem půdní hmoty na celé ploše území. Jejím prvním stupněm je eroze selektivní, při níž povrchový odtok odnáší jemné půdní částice a na ně vázané chemické látky. Dochází ke změně půdní textury a obsahu živin v půdě. Půdy podléhající selektivní erozi se stávají hrubozrnnějšími a mají výrazně snížený obsah živin, půdy obohacené smyvem jsou jemnozrnnější a bohaté na živiny. Selektivní eroze probíhá zvolna a nezanechává viditelné stopy. Lze ji zjistit z jemného materiálu akumulovaného v dolní části svahu po přivalovém dešti. Selektivní vodní eroze způsobuje nestejný vývoj vegetace, projevuje se rozdílným růstem, barvou a kvalitou. Při větší kinetické energii povrchově stékající vody a nepříznivém utváření půdního profilu dochází ke smyvu půdní hmoty ve vrstvách. Tato forma eroze se nazývá vrstevná. Obvykle dochází ke ztrátě celé orniční vrstvy.

Výmolová vodní eroze

Výmolová vodní eroze vzniká postupným soustředěním povrchově stékající vody, která vyrývá v půdním povrchu mělké zářezy, postupně se

prohlubující. Prvním stadiem výmolové eroze je eroze rýžková a brázdová. Při rýžkové erozi vznikají v půdním povrchu drobné úzké zářezy, které vytvářejí hustou strukturu. Brázdová eroze se vyznačuje mělkými širšími zářezy, jejichž hustota na svahu je menší než u eroze rýžkové. Vzhledem k tomu, že rýžková i brázdová eroze postihují obvykle velkou část povrchu svahu, který rozrušují na celé ploše, označuje se tato eroze jako nejvyšší stupeň plošné eroze. (Holý, 1978)

Vývoj těchto rýh vzrůstá na svazích se vzdáleností od rozvodnice, avšak zpětnou erozí při dlouhodobých deštích se rýhy zařezávají proti spádu. Dlouhodobý soustředěný odtok vody podmiňuje vznik výmolů a strží, které mohou dosáhnout několika desítek metrů. Tento mezitvar se stává již součástí reliéfu a jeho asanace je velmi nákladná. (Buzek, 1983)

Proudová vodní eroze

Proudová vodní eroze probíhá ve vodních tocích působením vodního proudu. Je-li rozrušováno pouze dno, mluvíme o erozi dnové, jsou-li rozrušovány břehy o erozi břehové. Dnová eroze je formou podélné eroze, břehová formou příčné, kolmo na soutoku. Nejvýrazněji se projevuje v bystřinách, jež nesou velké množství splavenin. (Holý, 1978)

Podpovrchová vodní eroze

V půdách podléhajících lehce destruktivnímu účinku vody, zejména ve spraších, dochází k vymílací činnosti podzemních vod, jež se hromadí na nepropustné vrstvě. Vznikají tunely, jež snižují stabilitu nadložních vrstev. Často dochází k proboření stropu tunelů, čímž vznikají hluboké výmoly.

Rozpuštěné látky se přenášejí hlavně podpovrchovým tokem. Voda většinou proniká půdou, a ta, která není zachycena kořeny, prosakuje (pohybuje se dolů vertikálním nebo téměř vertikálním pohybem). V tomto případě nás zajímá struktura půdy, kterou voda proniká, protože půdní struktura ovlivňuje jak perkolací rychlost vody, tak schopnost půdy filtrovat látky z vody.

Půdní struktura je dána pospojováním minerálních částic do stabilních agregátů. Agregaci půdy ovlivňuje několik faktorů, které nazveme souhrnně vazebnými faktory. Jde především o organické hmoty, kyselost a přítomnost kořenů. Podle proměnlivého obsahu těchto faktorů mohou částice jílu nebo prachu držet

pohromadě a tvořit větší agregované částice. Vzhledem k tomu, že větší částice mají mezi sebou větší volný prostor, zvyšuje se tak pórovitost půdy. Konečným důsledkem všeho je, že voda teče rychleji půdami s vyšší pórovitostí. Pórovitost záleží na textuře půdy (relativním obsahu jílu, prachu, a písku) a na vazebných faktorech (organická hmota, kyselost a kořeny). Dalším důsledkem agregace půdy také je, že rozpuštěné látky a částice nesené pasívně vodou se účinně filtrují půdou, tj. některé jí rychle procházejí a jiné jsou půdou zadržovány. (Forman, Gordon, 1993)

Je-li krajina nadměrně nebo úplně přetvořena, přírodní mechanismy regulace již nejsou při obnově její původní kvality dostatečně účinné.

Formy větrné eroze

Větrná eroze se liší od vodní tím, že působí plošně, jen v ojedinělých případech v pruzích ve směru proudění větrů. Rozlišujeme dvě formy větrné eroze deflaci a korazi.

Deflace

Deflace je odnos uvolněných půdních částic silami větru. Jejím výsledkem je přemísťování půdní hmoty na různé vzdálenosti a vznik písečných přesypů.

Koraze

Koraze spočívá v obrušování hornin půdními částicemi podléhající deflaci. Intenzita koraze je dána odolností materiálu, druhem a tvarem částic nesených větrem a rychlostí větru. Nejvíce podléhají korazi lehce opracované horniny např. pískovec. Korazí vznikají skalní sloupy, mosty viklany apod. (Holý, 1978)

Degradaci půdy může způsobit také pastva, kdy chodníčky po průchodu dobytka se stávají dráhami pro koncentrovaný odtok vody a pro vývoj intenzivních svahových procesů, zvl. sesuvů. Vyšlapáváním jsou poškozovány pastviny především na písčitéch a skeletových půdách se slabým zadrněním. (Buzek, 1983)

Mechanismus erozních procesů dle Holého

Mechanismus erozních procesů se řídí působením a vzájemnou interakcí faktorů, které je vyvolávají a ovlivňují. Nejvýznamnější faktory jsou:

- Klimatický a hydrologický
- Morfologický
- Geologický a půdní
- Vegetační
- Hospodářsko-technický
- Sociálně ekonomický (Holý, 1978)

2.3 PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ

Půda je základním přírodním bohatstvím a výrobním prostředkem pro zabezpečení výživy obyvatelstva. Pedosféru, jako integrální složku životního prostředí, je nutno chránit a zvyšovat její úrodnost.

Jedním z faktorů, který může ovlivnit její destrukci, je eroze, která s postupnou mechanizací zemědělských resp. i lesnických prací má rostoucí trend, a to v budoucnu může ohrozit vodní zdroje a ovlivnit další složky fyzicko-geografické i socioekonomické sféry. Proto je nutno znát nejen důsledky erozních procesů, ale také fyzikální faktory, které mohou erozi modifikovat. (Buzek, 1983)

Prakticky veškeré erozi lze zabránit – mimo suché oblasti. K erozi přispívají hlavně:

- a) intenzivně obdělávané zemědělské pozemky, na nichž se používají herbicidy,
- b) plochy silně sešlapávané nebo intenzivně spásané a
- c) těžba dřeva, stavba silnic a jiné narušení strmých svahů.

V uvedených situacích působí následující faktory, jak je uvádějí práce o silně narušených oblastech z pera pedologů, ekologů, lesníků, zemědělců, a jiných. (Wischmeier, Smith, 1978)

Odstranění nadzemní části vegetace brání velkým plochám zachycovat srážky, takže přímo na povrch půdy dopadá více vody, a tím se podporuje eroze. Zachycení srážek vegetací v lesích mírných oblastí se měří nebo odhaduje v rozmezí 5 - 20 % celkových srážek.

Odstranění opadu a humusu ponechává minerální půdu nechráněnou vůči srážkám, tím se dále podporuje eroze. Důvodem je fyzikální síla dopadu kapek na minerální půdu spojená s nepřítomností organické hmoty blokující tvorbu malých povrchových stružek.

Eroze se zrychluje odumřením kořenů. Zmizí totiž hlavní síla vážící částice půdy dohromady – jemné kořínky, bez lupy neviditelné. Od této chvíle eroze rychle narůstá a pokračuje, až zbývá jen skalnaté podloží, jak se často stává v blízkosti metalurgických výroby.

Proces eroze lze zastavit a dokonce zvrátit vysazením rostlin. Navrácení krajiny ke stavu, ve kterém byli živočichové a rostliny před erozí, je zdlouhavý proces. Jeho realizace na pozemcích, kde už došlo k odumření kořínků, může být nemožná. (Forman, Gordon, 1993)

Je zřejmé, že způsob využívání pozemku nezabezpečuje dostatečnou protierozní ochranu půdy. Proto je nutné uplatnit protierozní opatření, jejichž účinnost lze vyjádřit změnou některého z faktorů univerzální rovnice a opětovným výpočtem se přesvědčit, zda navržené ochranné opatření je dostatečné a zajišťuje snížení dlouhodobé ztráty půdy erozí pod přípustnou mez. (Janeček, 1992)

2.3.1 Organizační opatření

Základem organizačních opatření jsou návrhy změn druhů pozemků a protierozní rozmístování plodin. Podle rozdílného stupně ochrany půdy proti vodní erozi lze rámcově rozdělit některé pěstované plodiny do těchto skupin:

- Plodiny s vysokým protierozním účinkem po celou dobu vegetace (travní porosty, jetelotrávy, jeteloviny)
- Plodiny s dobrou protierozní ochranou půdy po větší část vegetačního období (obilniny, meziplodiny, luskoviny)
- Plodiny s nedostatečnou protierozní ochranou půdy po převážnou část vegetačního období (kukuřice, brambory, cukrovka)

Vegetační kryt půdy snižuje erozní činnost na půdě. Největší smyv půdy nastává na půdě bez vegetace. Ve srovnání s půdou bez vegetace je v porostech okopanin a kukuřice smyv půdy poloviční, obiloviny snižují smyv na čtvrtinu až desetinu podle výsevu a sklizně, jeteloviny na padesátinu a víceleté travní porosty až dvouseťtinu.

Mezi základní organizační opatření patří:

- Velikost a tvar pozemku
- Delimitace druhu pozemku
- Ochranné zatravnění
- Ochranné zalesnění
- Protierozní oseední postupy
- Pásové střídání plodin
- Protierozní směr výsadby ve speciálních kulturách (Dumbrovský et al., 2000)

2.3.2 Agrotechnická opatření

Erozi ohrožená půda by neměla zůstat bez dostatečného vegetačního krytu, nebo alespoň bez krytu z posklizňových zbytků, zejména v období častého výskytu přívalových dešťů. V tomto období lze ornou půdu chránit oseedními postupy bez těchto plodin. Dále při tání sněhu dochází ke značným smyvům půdy z pozemků s pozdním výsevem ozimé pšenice. Z tohoto vyplývá požadavek vysévat ozimou pšenici na erozně ohrožených pozemcích přednostně na začátku agrotechnické lhůty. (Dumbrovský et al., 2000)

Výše uvedené skupiny opatření vyžadují přihlídnutí k základním přírodním faktorům, především sklonu a délce svahu. Důležitá je především tzv. kritická délka svahu, kterou chápeme jako vzdálenost, na níž dochází k přeměně povrchového plošného odtoku na odtok soustředění to znamená, že se plošná eroze mění v erozi výmlovou. (Buzek, 1983)

Ve srovnání s výsevem do zorané půdy snižuje bezorebný výsev kukuřice do meziplodiny smyv půdy na čtvrtinu až desetinu, podle hustoty meziplodin. Bezorebné setí obilovin, zvláště na mělkých půdách na skonech nad 15% snižuje

smyv půdy na třetinu až desetinu a přitom spotřeba energie na bezorebné setí je poloviční.

Při pěstování brambor na erozí ohrožených pozemcích je výhodné jejich zařazení po víceletých pícninách. Účinným protierozním opatřením v bramborách je příčné hrázkování v brázdách brambor, které omezuje povrchový odtok v brázdách a zvyšuje akumulaci vody na pozemku. Hrázkování se doporučuje zařazovat na svahy max. 300 m dlouhé, kde omezuje smyv půdy na sklonech 2 – 6 % na 15 % a na sklonech 6 – 10 % na 60 %.

Mezi základní agrotechnická opatření patří:

- protierozní agrotechnologie na orné půdě
- Výsev do ochranné plodiny, strniště, mulče či posklizňových zbytků
- Hrázkování a důlkování povrchu půdy
- Protierozní agrotechnologie ve speciálních kulturách
- Zatravnění meziřadí
- Mulčování
- Hrázkování a důlkování povrchu půdy v meziřadí (Dumbrovský et al., 2000)

2.3.3 Biotechnická protierozní opatření

Technická opatření proti plošnému a soustředěnému odtoku jsou zaměřena především na úpravu sklonových poměrů a délky odtoku vody. Tyto úpravy by měli převést povrchový odtok na odtok podzemní. Technické zásahy v terénu by měli mít návaznost na zásahy biologické a agrotechnické. (Buzek, 1983)

Celý systém biotechnických opatření je nutno chápat pouze jako tzv. kostru protierozních opatření v řešených území, kterou je nutno doplnit systémem organizačních, agrotechnických, popřípadě stavebně technických opatření. Biotechnické prvky mají vedle základní funkce protierozní spolu s doprovodnou dřevinnou zelení na nich rostoucí velký význam i z hlediska krajinně estetického a ekologického. Systém liniových protierozních prvků v kombinaci se zelení může fungovat v krajinně i jako nezbytná součást lokálních biokoridorů a tvořit základ ÚSES krajiny.

Základní prvky systému biotechnických opatření jsou protierozní meze a zatravněná hydrografická mikrosít', což především vyžaduje identifikaci a stabilizaci drah soustředěného odtoku. Zatravněná hydrografická síť, která má být základním prvkem systému PEO, je neekonomičtější způsob odvedení odtoků z přívalových srážek ze zemědělsky obdělávaných pozemků. (Dumbrovský et al., 2000)

Důležitou protierozní funkci má také les, především na svazích s většími sklony. Nadzemní část dřevin mírní dopad dešťových kapek a také zabraňuje silnému proschnutí povrchu vody a tím snadnějšímu odnosu. Lesní hrabanka a pórovitá lesní půda podporuje zásak vody, čímž se snižuje její povrchový odtok. Kritický sklon svahů pro erozi lesních půd je 20 - 30° . (Buzek, 1983)

Celková ochrana území musí sledovat tři základní cíle:

- Co nejvíce podpořit vsakování vod do půdy
- Omezit možnost, aby se odtok soustřeďoval do stružek, tedy podpořit jeho rozptylování
- Zpomalovat a neškodně odvádět povrchový odtok tak, aby nenabyl unášecí síly schopné odnášet zeminu a více podpořit jeho vsak.

Komplexně pojatá PEO povodí zahrnující vegetační stabilizaci drah soustředěného odtoku by měla tyto cíle naplnit zejména v rámci realizace schváleného projektu PÚ. Většina biotechnických opatření patří svým charakterem do systému společných zařízení a jako taková je nutno je v návrhu KPÚ přesně plošně vymezit a bilancovat. Podle zákona se na jejich plošném nároku podílejí poměrnou částí jednotliví vlastníci v závislosti na jejich celkové výměře, když již předtím přednostně pro tyto účely byla použita státní a obecní půda. (Dumbrovský et al., 2000)

Protierozní ochrana půdy se stává ve všech vyspělých státech součástí péče o půdu, protože při intenzivním využívání jsou narušeny přírodní procesy její obnovy. Protierozní opatření musí mít komplexní charakter a v našich morfogenetických poměrech převládající erozi vodní musí být opatření realizována v rámci povodí jako základní odtokové jednotky. Tento postup může ovlivnit i větrnou erozi, protože úpravou vláhových poměrů se ovlivní i působení větru. (Buzek, 1983)

Mezi základní biotechnická opatření patří:

- Systém protierozních mezí
- Zasakovací pásy
- Protierozní průlehy
- Stabilizace drah soustředěného povrchového odtoku
- Protierozní manipulační pásy
- Protierozní příkopy
- Protierozní nádrže (Dumbrovský et al., 2000)

Rozšířeným a finančně nenáročným zásahem k zabránění intenzivních povrchových odtoků je budování vsakovacích pásů, které mají formu mělkých příkopů, orientovaných po vrstevnici. Ke zvýraznění jejich funkce mohou být v jejich horní části vysazeny travní nebo křovinné pásy, které zachytí část unášeného materiálu, takže zanesení je méně intenzivní. Jestliže tyto pásy jsou mělké a široké, nazýváme je průlehy a zpravidla je možno je také zemědělsky využívat.

Protierozní nádrže zadržují okamžitou vlnu odtoku povrchové vody, čímž se zabrání v níže ležícím území tvorbě erozních a akumulacích fluviálních tvarů. V nádrži sedimentuje unášený materiál a kromě toho tyto nádrže mohou mít omezenou mikroklimatickou funkci, protože se upravuje vodní režim půdy a z části i vláhový režim ovzduší. Protierozní nádrže se zpravidla sdružují v soustavu nad sebou, kdy vodní nádrže zadrží vodní příval a dolní unášený materiál. (Buzek, 1983)

Vliv vodních toků

Vodní toky hospodářsky ovlivňují sousední oblasti. Rozsah vlivu vyplývá z velikosti povodí, z hydrologických charakteristik průtoků a z možností hospodářského využívání toku. Úpravami vlastních koryt vodních toků nebo jejich zahrázováním se často uměle zasahuje do odtokových poměrů i do režimu pohybu splavenin. Tato opatření mají vést k lepšímu využití nebo zamezit či zmírnit její škodlivé účinky. Základním účelem úprav tedy bude ochrana před povodněmi, čili zamezení nebo zmenšení rozlití vody za velkých průtoků na inundační území, tedy ochrana přilehlých sídlišť, zemědělských pozemků, průmyslových oblastí a komunikací, dále stabilizace koryta toků zvládnutím erozní a akumulacní činnosti toku, stabilizace hladiny podzemní vody v údolní nivě, ovládnutí zimního režimu

v zájmu hospodářské činnosti podél toků a odvodnění území, zejména zemědělských a někdy i lesních pozemků. K těmto základním požadavkům patří ještě některé speciální úkoly, např. odběr vody spojený s úpravou toku v okolí místa odběru, umožnění plavby, energetického využití toku, vodní rekreace a provozování vodních sportů a zajištění správné funkce v životním prostředí. (Němec, 1974)

2.3.4 Opatření proti větrné erozi

Organizační opatření

- **Protierozní uspořádání pozemků**

Základem organizačního řešení PEO je uspořádání pozemků. Pozemky by měly mít obdélníkový tvar s delší stranou kolmou na směr převládajícího směru větru. Na písčitých půdách nechráněných vegetací by neměla šířka pozemku ve směru převládajících větrů přesáhnout 50 m.

- **Protierozní rozmíst'ování plodin**

Při tomto způsobu PEO se využívá přirozené odolnosti některých plodin vůči erozi. Jednotlivé plodiny lze z tohoto pohledu rozdělit do tří skupin:

b1) plodiny odolné - travní porosty, víceleté pícniny, ozimé obiloviny,

b2) plodiny středně odolné - jarní obiloviny, řepka ozimá,

b3) plodiny málo odolné – okopaniny, slunečnice, kukuřice, zelenina, speciální plodiny (např. majoránka, kmín apod.).

Na silně ohrožené pozemky se umísťují málo odolné plodiny pouze s doporučením a návrhem kombinace jiných protierozních opatření (pásové střídání, vhodná agrotechnologie, biotechnická protierozní opatření).

- **Pásové střídání plodin**

Pásové střídání plodin sleduje snížení erozního účinku vložení různě širokých pásů plodin odolných proti erozi na pozemek s pěstovanou erozně ohroženou plodinou. Účinek tohoto opatření se při větrné erozi ještě zvýší při použití systému pěstování výškově rozdílných plodin. Mezi pásy vyšších rostlin (kukuřice,

slunečnice) se pěstují málo odolné plodiny, např. zelenina. Pásky vyšších rostlin se zakládají na jaře a ponechávají se i po vegetační době (přes zimu) až do založení nových pásů. Pásky vždy umísťujeme kolmo k převládajícímu směru větru. (Dumbrovský et al., 2000)

Plodinové pásky, které mají ochrannou funkci proti vodní erozi, jsou uspořádány tak, aby srážkové vodě, odtékající z pásu osázeném plodinami se sníženou protierozní funkcí, byla zachycena ochranným pásem a v něm zasákla. V protideflačních plodinových pásech se střídají vysoké kultury a pásky nízkých plodin, které mají slabý protideflační účinek. (Buzek, 1983)

- **Protierozní směr výsevu**

Tento způsob PEO se využívá zejména u plodin s typickým řádkovým výsevem. Toto opatření nemá v případě větrné eroze příliš vysoký účinek, ale situováním řádků kolmo k převládajícímu směru větru můžeme částečně negativní působení větru snížit. Organizační opatření jsou nejjednodušším a nejméně nákladným protierozním opatřením, které při správné aplikaci poskytuje poměrně vysoký účinek. Proto by tato opatření měla být (v kombinaci s dalšími opatřeními) doporučována a navrhována v projektech a studiích, ale hlavně v praxi maximálně používána a dodržována.

Agrotechnická opatření

- **Úprava a způsob zpracování půdy**

Půdu je nutné udržovat trvale ve strukturním stavu s dostatečnou vlhkostí (hnojením, organickými látkami, zvýšením obsahu jílnatých částic, použitím strukturotvorných látek, závlahou) a tak zvyšovat její odolnost. Při kultivaci půd ohrožených větrnou erozí by měly být používány takové typy nářadí, které půdu nerozprašují, ale naopak vytvářejí hroudy. Půdy silně náchylné k větrné erozi by neměly být orány, neboť jsou tak zaklápěny zbytky vegetace a povrch zorané půdy rychle vysychá. Kultivace půd náchylných k větrné erozi by měla být prováděna jen při takové vlhkosti, kdy se vytváří dostatek druhotných agregátů (hrud), zdrsňujících povrch půdy. Zejména na písčitéch půdách je nutné kypření povrchu půdy zcela minimalizovat. (Dumbrovský et al., 2000)

Orbu je nutno provádět po vrstevnici, protože hřebeny brázd vytvářejí překážky nejen pro odtok vody, ale také brzdí rychlost přízemních větrů a půdní částice odváte z hřebenů brázd jsou ukládány do sníženin mezi nimi. (Buzek, 1983)

- **Výsev do ochranné plodiny, strniště, mulče nebo posklizňových zbytků**

Půda ohrožená větrnou erozí by v žádném ročním období neměla zůstat nechráněná.

Tento požadavek lze realizovat dvojím způsobem:

- ponecháním posklizňových zbytků na půdním povrchu.
- pěstováním ochranných (krycích) meziplodin.

Agrotechnická opatření jsou časově i finančně náročnější, nežli opatření organizační (použití speciální mechanizace, aplikace herbicidů, náklady na osivo i vlastní zasetí meziplodin apod.), avšak i tato opatření by měla mít své pevné místo v systému ochrany proti větrné erozi.

Technická (biotechnická) opatření

Snížení rychlosti větru a jeho škodlivého účinku lze dosáhnout tím, že se větru postaví překážka. Tato překážka může být buď umělá nebo přirozená (vegetační).

- **Umělé větrné zábrany**

Jako umělé zábrany se používají přenosné ploty z odpadových prken, odpadních hliníkových fólií, rákosu apod. Nejúčinněji zmírňuje rychlost větru síťové uspořádání zábran. Tyto umělé překážky se umísťují tam, kde je třeba dočasně chránit plodiny (např. zeleninu) před účinky větru. (Dumbrovský et al., 2000)

Větrolamy, které vytvářejí překážku vzdušnému proudění, ochrání v přízemní vrstvě půdu před deflací (v zimním období také zabraňují odvívání sněhu) a zmenšují výpar z půdy. Chráněné polohy umožňují také infiltraci sněhové vody do půdy. Rychlost větru se působením větrolamu snižuje na návětrné straně do vzdálenosti pětinasobku jeho výšky a na závětrné straně se tento brzdící účinek projevuje na vzdálenost 15-20 násobku výšky stromů. (Buzek, 1983)

2.4 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ

Environmentální modely byly vyvinuty k řešení úzce vymezených otázek. Protože se tato problematika rozrostla a vědecké poznání roste, matematické modely se staly složitějšími. Vyvinuly se nové metodiky environmentálních modelů s mnohostrannými otázkami, jako analýzy s více proměnnými nebo analýza rizik. (Ahrends, Mast, Rodgers, Kunstmann, 2007)

Systémy, kterými se budu zabývat, jsou reálná rozvodí. Systémy obdrží přírodní vstupy vody a energie, a možná i lidské vstupy chemických látek, jako jsou hnojiva a pesticidy a uvolňují výstupy v takových formách, jako množství a kvalita vody v řekách, evapotranspirace, a mnoha ztrátám materiálu a energie skrz přenos tepla a radiaci. Takové vstupní a výstupní procesy mohou být vyjádřeny přes jednoduché situace. Ale rozvodí nejsou jednoduchá. I malé rozvodí je nadměrně komplikované. Z praktických důvodů si je musíme představit jako jednodušší, ale adekvátní procesy. Formalizaci těchto zjednodušených konceptů procesů produkuje hydrologický model, který můžeme aplikovat na reálné rozvodí.

Model je též náhražka pro systém, který může být stanovený ve vztahu k jeho účelu. Používáme modely k předpovědi prvků informace, kterou potřebujeme pro průzkum, plánování, návrh, úkon a údržbu mnoha aspektů lidské interakce s přírodním prostředím. Model použitý pro takovou předpověď by měl být co nejjednodušší, a pokud možno levný a bude sloužit danému účelu. (McCuen, Snyder, 1986)

Zřejmě každý zná definici slova „model“. Nadšenec staví model železnice v určitém měřítku. Inženýr tvoří fyzikální model k zodpovězení otázek ohledně konstrukce prototypu. Toto jsou příklady materiálních nebo fyzikálních modelů. Hydrologické modely, o kterých se zmiňuji, nejsou materiální modely. Jsou to formalizované ideje nebo koncepty. Konceptuálních modelů je mnoho, a jsou využity v mnoha disciplínách. Hydrologické modely jsou nejlépe definovány důsledně ve vztahu ke konceptu systému. Může použít těchto definic:

- **Systém:** Systém může být považován za dané shromáždění propojených prvků, které transformují v daném čase některé měřitelné vstupy na výstupy.

Vstupy a výstupy jsou obvykle reprezentovány jako funkce v čase. Tyto funkce mohou být nepřetržité nebo oddělené (diskrétní).

- Modely: Modely jsou zjednodušené systémy, které jsou použity k reprezentaci systému ve skutečném světě a mohou být náhražky reálných systémů pro některé účely. Modely vyjadřují formalizované koncepty reálných systémů. (Argent, Perraud , Rahman, Grayson, Podger, 2008)

Enviromentální modelování je prováděno z mnoha různých důvodů, ale zásadní je touha prozkoumat, pochopit a prezentovat nějaký přírodní úkaz. V souvislosti s integrovaným enviromentálním managementem, jako je modelování, které nezahrnuje pouze jevy v ovzduší, půdě, vodě, zvířectvu a rostlinách, interakce a toky mezi těmito, ale zahrnuje také jevy, jako interakce nepřírodních systémů, které zahrnují vybudovanou infrastrukturu, ekonomiku a sociální systémy. Jádrem většiny ekologických modelových aplikací je touha reprezentovat přírodní procesy způsoby, které zahrnují:

- Pochopení procesů,
- Testování reprezentace procesů,
- Vývoj otázek nebo dat musí umožnit lepší reprezentace,
- Poskytnout odpovědi na konkrétní otázky týkající se pravděpodobného budoucího stavu životního prostředí systému,
- Podporu výzkumu alternativních budoucích stavů v rámci alternativních manažerských zásahů. (Argent, 2003)

2.4.1 Statistický model

Statistické modely se skládají ze dvou vektorů, dvou prvků: vstupní proměnné a empirické konstanty. Jsou dva typy proměnné: kriteriální a prognostická proměnná. Kriteriální je proměnná, kterou je třeba vytvořit předpovídanou hodnotu. Prognostická je proměnná, pro níž se hodnoty měří a mohou být použity k vytvoření odhadu kriteriální proměnné. Odvodněná plocha, svažitost, dvouleté srážky jsou příkladem prognostické proměnné a měsíční odtok z pole je příklad kriteriální.

Hodnoty empirických konstant jsou odvozeny z vhodných modelů s měřenými hodnotami proměnných. Tyto konstanty jsou nazývány ostatními koeficienty parametrů. Zde jsou definice:

- Parametr: Numerické měřítko vlastnosti nebo charakteristiky a je konstantou pro systém v specifických podmínkách
- Koeficient: Proměnná nebo konstanta objevující se v matematickém modelu. Každá hodnota definuje specifickou formu modelu. (Váška a kol., 1996)

V praktických analýzách hydrogeologických dat je nezbytné vzít v úvahu, aby porce informací v datech byly vysvětlitelné, bylo jim rozumět a byly definovatelné. Samotným procesem formulace a kvantifikace hydrologických faktorů použijeme jen faktory, které jsou vysvětlitelné. Hydrologové mohou užít jenom té formy, která reprezentuje naše současné chápání. (McCuen, Snyder, 1986)

2.4.2 Vývoj modelů

Obvykle vývoj modelů tvoří čtyři vývojové stupně. Tyto stupně jsou konceptualizace, formulace, programování a testování.

Konceptualizace zahrnuje zdaleka největší část úsilí ve vývoji nových modelů. Moderní počítačová technologie významně pomohla k vytváření matematických a numerických analýz. Tato fáze znamená složení všech myšlenkových procesů, se kterými se setkáme v analýze nového problému a navrhnutí řešení problému. Přibližně osmdesát procent z celkového úsilí tvoří konceptualizace. Je to nedefinovaný mix umění a vědy. Věda poskytuje informační základ pro konceptualizaci. V této úrovni zahrnuje modely vyvinuté pro předchozí problémy, intelektuální abstrakce logických analýz procesů, a matematické a numerické metodologie, stejně jako vypořádanou hydrologickou realitu. A montáž do adekvátního a efektivního řešení je umění.

Formulace vývoje modelů znamená konverzi konceptu do formy, kterou je možno vypočítat. Formulace umožňuje implementovat matematické rovnice nebo vzorce. Rovnice také může být modelová forma. Nicméně, každý algoritmus nebo sekvence kalkulace, jenž konvertuje vstup na výstup, je akceptovatelná formulace. Jako může sekvence obsahovat rovnice, tak může

obsahovat i grafické vztahy a tabulky. Může také obsahovat sofistikované konečné diference řešení diferenciálních rovnic. Formulace je něco jako příprava detailního vývojového diagramu řešeného problému. (McCuen, Snyder, 1986)

Vzhledem k času a finančnímu omezení, což je současný přístup v oblasti životního prostředí, modely rozvíjí pár starších modelů, software se nahradí pouze v případě, že je to nezbytné. Při spojovacích stávajících modelů, k identifikaci komponent potřebných k jejich spojení jsou zásadní spoje, jejichž výsledkem je systémová integrace problému. Hlavní překážky existují ve spojích starších modelů. Například, některé modely byly navrženy a sladěny pro specifické zeměpisné oblasti, a proto nejsou obecnými modely.

Uplatnění těchto modelů v jiné oblasti vyžaduje rozsáhlé ladění nebo jsou nepoužitelné. Kromě toho některé modely byly napsány pomocí počítačových programů. Tyto modely vyžadují buď přeprogramování nebo musí být používány na omezeném množství počítačových systémů, kde je pro modely k dispozici zdrojový kód (např. proprietární modely) a jsou limitovány následným použitím. (Argent, Perraud, Rahman, Grayson, Podger, 2008)

Programování popisuje mechanické, ale značně kvalifikované úsilí na přeložení vypočtené formy do počítačového jazyka. Testování je poslední stupeň v modelovém vývoji, popisuje všechny kroky k zajištění bezproblémového běhu programu a zaručuje, že vypočtené formy a programové struktury jsou uspokojivé.

V širším kontextu, testování může také znamenat zkoušku modelu, abychom viděli, jak dobře zpracovává nahraná data. Výsledek testování výkonu poměrně jednoduše vyčísluje, jak pečlivě se vytvořila testovací kritéria.

Předtím, než může být model testován, musí být také kvantifikovaný. Model musí být schopný akceptovat numerické vstupy a konvertovat je do numerických výstupů. Některé numerické testy mohou být navrhнуты k ukázání, jak dobře vypočtené numerické výstupy souhlasí s pozorovanými numerickými výstupy. Vyplovává pochopitelná otázka. Jak by měly být kvantifikovány modely před zkoušením. Částečná, ale pochopitelná odpověď je, že kvantifikace a testování by měli jít ruku v ruce.

Cílem statistického hydrologického modelování je formulace informace v pozorovaných výstupech použitých ke kvantifikování empirických prvků modelu.

Procedury jsou obvykle nazývány optimalizace technik, obsahující optimální hodnoty parametrů pro daný balíček výstupů. (McCuen, Snyder, 1986)

Hodnocení modelu

Praktické hodnocení hydrologických modelů je mnohem více komplikované než hodnocení na základě hodnocení teoretického. Pokaždé, když použijeme pozorovaná data, musíme očekávat nějakou úroveň chyb v těchto datech. Chyby se řadí od jednoduchých omylů, přes nepřesnosti, k vlastní variabilitě. Musíme najít cestu k využití mnoha sad pozorování a pokusit se zjistit jejich vlastní chyby. Nejčastěji používanou metodou je metoda nejmenších čtverců. Její výhodou je jednoduchá aplikace a je rozšiřitelná na komplexní formy modelů. (Brandmeyer, Karimi, 2000)

2.4.2 Simulační modely odtoku vody a eroze půdy

Procesy spojené s rychlým odtokem vody z povodí byly donedávna studovány za zjednodušených podmínek a pro závislosti mezi jednotlivými elementy byly odvozovány jednoduché empirické vzorce. V praxi bylo přitom nutno soustředit se na několik málo kritických situací, tzv. návrhových stavů, matematicky popsitelných. Výše uvedený postup je dosud základem inženýrství. Objevuje se však i jiná možnost: namísto několika málo navrhovaných stavů napodobit výpočtem složité přírodní děje co nejvěrněji. Tento přístup bychom mohli označit jako „metodu simulovaných scénářů“.

Metoda simulovaných scénářů je nemyslitelná bez výkonných počítačů a složitého softwaru, jehož sémantickým jádrem jsou simulační modely přírodních procesů. Vedle tohoto jádra, programátorsky často triviálního, avšak nenahraditelného, jsou součástí simulačního softwaru pre-procesy výstupů, databáze, geografické informační systémy a další obslužné programy. (Váška, 1996)

Proto je modely třeba používat v heterogenním, síťovém výpočetním prostředí. Kromě toho, prostorové a časové stupnice musí být rozšířeny pro všechny složky simulace. Nyerges (1992) vyvinul čtyři kategorie spojů environmentálních modelů s geografickým informačním systémem (GIS): izolovaný, volný, těsný a

integrovány. Podobně Karimi a Houstonu (1996) identifikovali generalizované metodiky volných spojů (údaje jsou přenášeny mezi modelem a GIS) a pevných spojů (buď model je zakotven v GIS nebo GIS je zakotven v modelu). Lilburne (1996) nabídl jiný krychlový pohled integrace funkčnosti s využitím GIS: funkce, rozhraní a integrace. (Ames, Rafn, Kirk, Crosby, 2008)

2.4.4 Problémy při budování datové základny

Ponecháme-li stranou potíže typické pouze pro počáteční období, přinášejí simulační modely zejména tyto problémy:

- zvýšené nároky na vstupní data
- nekompatibilitu mezi modely, tj. mezi jejich vstupy, výstupy i algoritmy
- nutnost mít na paměti meze aplikovatelnosti modelů, zejména v odlišných podmínkách
- potíže při správném stanovení simulační strategie a při interpretaci výstupů, vzhledem k jejich velkému rozsahu a sugestivnosti (vypadají jako výsledky měření).

K vytvoření modelů potřebujeme tyto hlavní druhy dat:

- a) Data o podnebí a počasí
- b) Data polohopisná (hranice pozemků, kultur, vodní toky, komunikace, dráhy soustředěného odtoku, stavební objekty)
- c) Data výškopisná
- d) Data o půdě a matečné hornině
- e) Data o povrchových vodách (průtoky hladiny, kvalita)
- f) Data o podzemních vodách
- g) Data o vegetaci
- h) Data o povrchové vrstvě půdy a mulče
- i) Data o hospodářských operacích na půdě (setí, zpracování půdy, sklizeň, těžba dřeva)
- j) Data o parametrech a funkci hydromeliorací
- k) Data o hnojivech, pesticidech a spadu škodlivin

Osvojovat a aplikovat simulační modely odtoku a eroze půdy je nezbytné a současně i proveditelné. Datová základna může být snadno budována na uspokojivé úrovni s využitím dat již naměřených. Je třeba zlepšit koordinaci úsilí v tomto směru a konfrontovat dílčí výsledky. (Doležal, 1996)

Simulační modely erozních procesů pro rozhodovací činnost v ochranně a organizaci povodí

Nedílnou součástí ekologické stabilizace území je jeho organizace, řešená v rámci různých projektů (komplexní pozemkové úpravy, revitalizační programy, apod.). Ochrana a organizace území, kterou je třeba řešit na bázi povodí, slouží k optimalizaci využití území z hlediska různých uživatelů a vlivu jejich činnosti na základní zdroje, především na vodu a půdu.

Erozní procesy v území, jejichž rozsah a intenzita jsou zvyšovány činností člověka, vedou k degradaci zemědělské půdy a negativně ovlivňují kvalitu vodních zdrojů. Protierozní ochrana povodí v souvislosti s jeho organizací se řeší v zásadě na dvou úrovních:

- a) Rozhodovací – řešení celkové koncepce využití povodí včetně systému protierozní ochrany, kdy cílem řešení je vyhodnocení kritických míst v území z hlediska vzniku extrémních povrchových odtoků, erozních a transportních procesů a posouzení různých scénářů využití území a jeho ochrany.
- b) Návrhové – podrobný technický návrh jednotlivých prvků (organizačních, agrobiologických a technických opatření) protierozního systému. (Váška a kol., 1996)

Umělá inteligence je generátor širokého spektra idejí, algoritmů a metodologií, které mohou být úspěšně použity pro řešení problému z oblasti modelování a řízení. Jak již bylo konstatováno, jakékoliv neustálené chování musí být vždy reprezentováno např. nějakou cestou v přechodovém grafu. Tento fakt například dovoluje identifikovat podezřelé chování modelu (pravděpodobně poruchu). Jsou-li kvalitativní degradované on-line data (měření) k dispozici, mělký kvantitativní

model může být použit jako sub-algoritmus v samoučícím se regulátoru. Predikováno může být i dynamické chování některých neměřitelných veličin.

Základní výhoda kvalitativní analýzy je její nenumerická orientace a to, že množina řešení je vždy nadmnožina inženýrsky rozumných řešení. To znamená, že nic rozumného nemůže být přehlédnuto, například při optimalizaci, za předpokladu, že je k dispozici dobrý kvalitativní model. (Brandmeyer, Karimi, 2000)

Simulační modely povrchového odtoku, eroze a transportu látek jsou založeny na popisu a matematickém vyjádření základních fyzikálních dějů, které při těchto procesech probíhají. Tyto modely dnes představují moderní inženýrské nástroje, za jejichž hlavní přednosti se ve srovnání s empirickými postupy považuje:

- Jejich fyzikální základ, který umožňuje univerzálnější použití a spolehlivější extrapolaci výsledků v různých podmínkách
- Teoreticky přesnější reprezentace různých forem eroze (plošná, výmlová, proudová), včetně přímého zahrnutí procesu ukládání transportovaných částic a určení intenzity těchto procesů.
- Možnost přímého zahrnutí simulace transportu znečišťujících látek, vázaných na povrch půdních částic nebo rozpuštěných v povrchovém odtoku
- Spolehlivější a přesnější řešení jednotlivých srážkoodtokových situací, které jsou ve většině případů rozhodující při řešení ekologických důsledků odtokových erozních jevů a pro návrh ochranných opatření v povodí,
- Přesnější geometrická schematizace území, zohlednění nehomogenity (půdních a vegetačních poměrů, využití půdního fondu), včetně zahrnutí nerovnoměrnosti zasažení vyšetřované plochy deštěm
- Možnost rychlého a poměrně levného vyšetření odtokových, erozních a transportních procesů v území pro velký počet scénářů využití a ochrany území v různých časových horizontech
- Dokonalá grafická prezentace výsledků simulace, usnadňující jejich správnou interpretaci a využití pro další činnosti (Váška a kol., 1996)

3. CÍL A METODIKA PRÁCE

3.1 CÍL

Hlavním úkolem diplomové práce je posouzení a vyhodnocení erozních jevů na modelovém povodí Budského potoku. Zájmové území se nachází 16 kilometrů východně od města Český Krumlov.

Prvními úkoly je průzkum území z hlediska pedologického a hydrogeologického. Posoudit nakládání s odpady v přílehlých obcích a vzít v úvahu případná rizika. Dále provedu výpočet N-letých vod a vyhodnocení funkce největší vodní nádrže v povodí Besednice. Následuje určení ohroženosti pozemků pomocí univerzální rovnice ztráty půdy – USLE dle Wischmeiera a Smithe, tedy výpočet splavené půdy. Neméně důležitým cílem prolínajícím se celou prací je takto získaná data zpracovat za pomoci softwarového modelování a analyzovat získaný výstup. Na základě těchto podkladů a výsledků nakonec doporučím opatření vedoucí ke snížení vzniku nežádoucích erozních jevů.

3.2 METODIKA PRÁCE

3.2.1 Výpočet specifického odtoku

V případě, že nemáme pozorování průtoků, ani nemůžeme použít analogii, počítáme kulminační průtok určitého významu empirickými vzorci. Můžeme tedy určit maximální průtoky bez přímých pozorování. V řadě malých povodí (od 1 do 50 km²) je často třeba určovat VQ_n bez jakýchkoli pozorování. Tyto metody můžeme aplikovat i na zájmovou oblast Budského potoku. Pro výpočet odtoku budou použity dva vzorce, a to vzorec D.L. Sokolovského a A. Čerkašina. Popisované vzorce určují maximální průtoky vzniklé z dešťů, jež lze považovat co do významu za průtoky stoleté. (Kemel, 1994)

Sklonitost toku

Základní charakteristikou vodního toku je jeho sklon, tedy přesněji jeho absolutní spád. Je to rozdíl mezi nejvyšší nadmořskou výškou toku a nejnižší nadmořskou výškou toku.

$$\Delta H_T = H_{Tmax} - H_{Tmin} \text{ [m] kde:}$$

H_{Tmax} = maximální nadmořská výška na trase toku (kóta pramene),

H_{Tmin} = minimální nadmořská výška na trase toku (kóta uzavírajícího profilu povodí).

Sklon toku I_T je poměr absolutního spádu toku ΔH_T k délce toku, vyjádřený v procentech:

$$I_T = \Delta H_T / L_T \cdot 100 \text{ [%] kde:}$$

ΔH_T = spád toku [m]

L_T = délka toku [m] (Kvítek a kol., 2004)

Délka toku

Měření délky toku se provádí většinou z mapy. Měříme tzv. střednici toku. Toky se ovšem zakreslují zkráceně, bez podrobných zákrutů. Pro určení správné délky toku je třeba při značné vlnitosti toku z mapy násobit změřenou délku koeficientem 1,01 až 1,10. Vlastní měření provádíme odpichovátkem s rozevřením 1 až 2 mm. Zapisujeme počet rozevření na celé délce toku a násobíme jeho skutečné vzdálenosti dle měřítka mapy.

Vzorec D.L. Sokolovského pro malá povodí:

$$VQ_n = \frac{0,28 \cdot h_{S_T} \cdot C \cdot P \cdot f}{t} \text{ (m}^3\text{/s) kde je:}$$

h_{S_T} - výška deště za dobu trvání T pro zvolené opakování N (mm)

C – objemový součinitel odtoku za povodeň, který lze při nedostatku přímých pozorování nahradit dlouhodobou hodnotou (roční) pro povodí

T – doba koncentrace $t = L/3,6v$ (hod)

v – průměrná rychlost stékání vody (m/s), určení z tabulky

P – plocha povodí (km²)

f – koeficient tvaru hydrografu povodně, jehož průměrná hodnota je 0,6

T – doba trvání deště, určená z rovnice $T = (t+1)^{-0,20} t$

Vzorec A. Čerkašina pro vyčíslení velkých vod na malých povodí

$$VQ_{100} = \frac{24,7 \cdot C \cdot \sqrt{v^2} \cdot P}{p \cdot \sqrt[3]{L^2}} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{kde je:}$$

C - objemový součinitel odtoku, pro který byla sestavena mapa izolinií (obr.)

V – průměrná rychlost dobíhání, závislá na průměrném spádu údolí toku a procentu zalesněnosti povodí, závislost je udána grafem a louky se počítají jako lesy

p – koeficient závislý na tvaru povodí, jeho hodnota je udána grafem v závislosti na charakteristice L^2/F (obr.)

L – délka údolí (hlavního toku) (km)

P – plocha povodí (km^2)

Autor vzorce dále doporučuje:

1. Délku údolí měřit bez započtení drobných meandrů na mapě v měřítku 1: 25000
2. Rozvětvuje-li se tok na dvě nebo více ramen, považuje se za délku toku rameno, které je nejdelší. Při velkých meandrech toku se měří místo toku údolnice.
3. Pro povodí, která nemají zřetelně vyvinutý tok se p zvětšuje 1,3 násobně až 1,6 násobně.
4. Je-li tok umístěn výstředně při jedné straně povodí, zvětšuje se p podle stupně výstřednosti 1,1 násobně až 1,5 násobně.
5. Pro povodí, které se v dolní části náhle zužuje, provede se výpočet pouze pro širokou část povodí a výsledek se přiměřeně zvětší o příspěvek z úzké části povodí.

6. U profilů pod soutokem dvou nebo více menších toků se počítá VQ_{100} pro část povodí s nejdelším tokem. S tím se pak počítá pro celé povodí. Při nápadně různé délce přítoků je třeba zmenšit výsledek o 10 až 20 %.

Uvedené typy vzorců udávají VQ_{100} , tj. průtok s opakováním v dlouhodobém průměru $N = 100$ let (vodou stoletou). Pro převod VQ_{100} na VQ_n s $N < 100$ lze použít koeficientů a_N typických „čar opakování“ VQ_n přičemž $a_N = \frac{VQ_N}{VQ_{100}}$.

Pro menší toky o velikosti povodí 3 až 30 km² je možné průměrné a_N pro ČR odvodit. Mám-li spočítáno VQ_{100} dle uvedených vzorců, lze je tedy převést pomocí této tabulky na VQ_n dle rovnice $VQ_n = VQ_{100} \cdot a_N$, popřípadě lze takto sestavit čáru opakování VQ_n .

Jsou-li v povodí rybníky (nebo jiné nádrže), je třeba jejich retenční vliv vyjádřit opravným součinitelem o_r , který lze vypočítat z rovnice:

$$O_r = 1 - \log(1+a)$$

Kde $a = \frac{P_r}{P} \cdot 100$ %, tj. poměr plochy rybníků P_r k celkové ploše povodí P .

Kemel uvádí, že tak složitý jev, jakým je tvorba stoletého průtoku, nemůže být zcela přesně sestaven, budou v něm vždy vystupovat určité koeficienty, takže je zde nebezpečí subjektivního přístupu jednotlivých zpracovatelů. Proto Čerkašin doporučuje stoletý průtok počítat podle většího počtu vzorců (Čerkašin, Sokolovský) a brát z nich, v případě že se výsledky příliš neliší, průměr.

Výpočet maximálního specifického odtoku

V následující části se zabývám výpočtem maximálního specifického odtoku VQ_n . Je to odtok, který se opakuje v průměru jedenkrát za N let (m³/s.km²). Jako první jsem provedl výpočet podle vzorce Sokolovského. Nejprve je potřeba určit základní hodnoty h , S_T , C , f , T a pomocné hodnoty v a T . Dále jsem ze základních map České republiky (měřítko 1 : 10000), z mapových listů 32-24-08, 32-24-09, 32-24-13 a 32-24-14 odvodil zalesnění území a to v rozsahu 40 %. Hodnota průměrného spádu toku je určena pomocí Základní vodohospodářské mapy 1: 50

000 na mapovém listu 32-24 jako 2,46 %. Hodnota $v = 1,8$ m/s určena z tabulky průměrné rychlosti stékání vody v povodí:

Tab. č. 1 Průměrná rychlost stékání vody v povodí

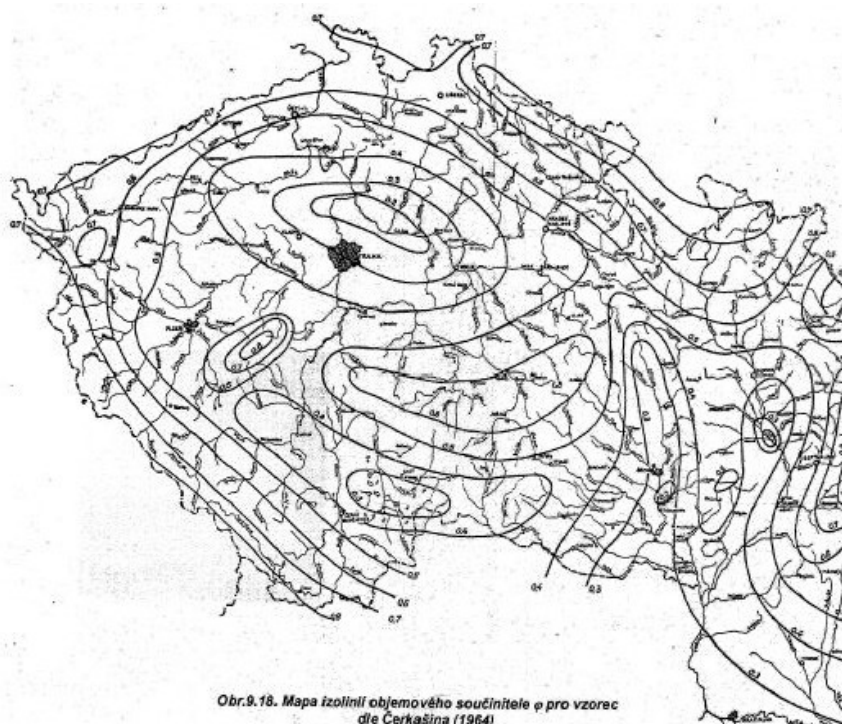
Průměrná rychlost stékání vody v povodí Dub, Němec (1969)

Charakter povodí	rovinné	slabě členité	kopcovité	podhorské	horské
	střední sklon svahu [%]				
	0,5	2	5	10	30
močálovité	0,07	0,15	0,3	-	-
zalesněné	0,12	0,2	0,5	0,8	1,2
travnaté pastviny	0,2	0,5	0,8	1,2	2,0
pozvolné údolí	0,4	0,7	1,0	1,6	2,5
strmé údolí	-	-	1,2	2,2	4,0
skalnaté prudké svahy	-	-	-	3,0	5,0

Doba koncentrace $t = 1,8$ hodiny, trvání deště $T = 108$ minut, výška deště (za dobu trvání T pro zvolené opakování N) $h_{ST} = 64$ mm byly vypočteny ze vzorců. Koeficient tvaru hydrografu povodně f byl vzat jako jeho průměrná hodnota 0,6.

Objemový součinitel odtoku za povodeň $C = 0,6$ odvozen z mapy izolinií.

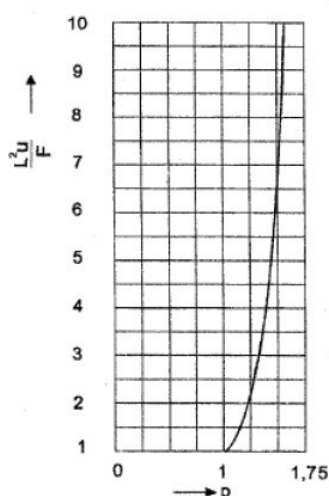
Obr. č. 1 Mapa izolinií objemového součinitele dle Čerkašina



Následuje vzorec podle Čerkašina. Zde stačilo zjistit hodnoty $c \sqrt[3]{v^2}$, a, p a vypočítat $\sqrt[3]{L^2}$. Hodnoty objemového součinitele odtoku za povodeň $C = 0,6$ a plochy povodí P se mohou převzít z výpočtů pro vzorec Sokolovského.

Hodnota $\sqrt[3]{v^2} = 0,8$ m/s určena z grafu závislosti spádu údolí a zalesnění povodí. Koeficient závislý na tvaru povodí p odvozen z grafu závislosti.

Graf č. 1 Vliv tvaru povodí na Q_{100}



3.2.2 Určení erozní ohroženosti pozemků

Univerzální rovnice ztráty půdy – Universal Soil Loss Equation – USLE (WISCHMEIER, SMITH, 1978) je základní a univerzální metodou pro hodnocení vodní eroze, tedy výpočtu splavené půdy. Určuje se jako průměrná roční ztráta půdy z jednoho hektaru. Je možno ji aplikovat před i po uplatnění protierozních opatření.

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

- G = vypočítaná ztráta půdy v t.ha-1.rok-1
- R = faktor erozní účinnosti deště. Je to součin celkové kinetické energie deště a jeho maximální třicetiminutové intenzity. Pro oblast ČR byly stanoveny hodnoty faktoru v rozmezí 16 pro Jihozápadní Čechy až po 30 pro oblast Znojemska. Pro většinu území je hodnota faktoru R rovna 20.

- K = faktor náchylnosti půdy k erozi. Charakterizuje půdní vlastnosti a erodovatelnost půdy.
- L = faktor délky svahu. Vychází z průměrné délky povrchového odtoku na pozemku.
- S = faktor sklonu svahu. Vyjadřuje průměrnou svažitost pozemku.
- C = faktor ochranného vlivu vegetace. Představuje poměr smyvu na pozemku s pěstovanými plodinami ke ztrátě půdy na kypřeném černém úhoru při stejných podmínkách.
- P = faktor účinnosti protierozního opatření.

Faktor K (faktor náchylnosti půdy k erozi) byl zjištěn z druhého a třetího místa kódu BPEJ (bonitovaná půdně ekologická jednotka) každého řešeného pozemku. Hodnoty BPEJ nalezeny na serveru Českého úřadu zeměměřického a katastrálního s pomocí aplikace nahlížení do katastru nemovitostí. Následně pomocí tabulky byly odvozeny hodnoty faktoru K.

Tab. č. 2 Tabulka hodnot faktoru K

Faktor K vztahovaný k jednotkám základní půdní mapy KPP v měřítku 1 : 10 000 (1 : 5 000) a k hlavním půdním formám ekologicko-půdních (bonitačních) map v měřítku 1 : 5 000.

Jednotky půdní mapy KPP	Jednotky ekologicko-půdní mapy (druhé a třetí místo pětimístného kódu)	Faktor K
HM (smyté) - 57,58	08	0,72
CM, HM (smyté) - 24,25	08	0,67
IP, HMi - 57,58	14	0,60
HMg - 57,58	(11), 42	0,59
IPg - 57,58	43	0,58
OG - 57,58	44	0,58
HM - 57,58	11	0,52
HM, HMi, ČM1 - 24,25	09, 10	0,51
IP - 63	15	0,47
ČM, ČM1 - 24,25	01, 02, (0 3, 05)	0,41
HM, HMg - 63	12, (45)	0,41
HP, HPa, RA, RAh - 1, 14, 43, 44, 45, 53, 54,	18, 19, 24, 25, 26, 28, 33, 35, 38,	
	39, 41	0,39
OG, HPg - 63	46, 47, 48, 50, 51	0,39
HPt - 6, 7, 8, 9	28	0,31
OG - 49	52	0,30
OG, HPg, RAhg - 16, 17, 18, 21, 51, 52, 56	49, 54	0,30
OG, HPg - 51	53	0,28
HP, HPa - 47, 48	30, 31	0,21
HP, HPa - 39, 40, 41, 42	29, 34, 37, 40	0,21
HP, HPa - 34, 35, 37, 38	32	0,20
HP - 16, 17, 18, 21, 51, 52, 56	20, 24, 27	0,17
ČM, ČM1 - 16, 17, 18, 21, 52, 56	06, 07 (0 8)	0,16
HPp - 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 55	36, 40	0,16
HP, HPa - 15, 19, 22, 45, 49, 69, 71	31	0,13
ČM - 26, 52	04	0,13
IP - 15, 19, 26, 71	16, 17	0,13
DA - 71, 72	21, 22	0,13
CMsm - 16, 17, 18, 21, 52, 56	07	0,09

Po dosažení odpovídajících hodnot faktorů šetřených pozemků daného území do univerzální rovnice pro jednotlivé pozemky se určí dlouhodobá průměrná ztráta půdy vodní erozí těchto pozemků při uvažovaném způsobu jejich využívání a porovnává se s přípustnou ztrátou půdy podle Janečka a kol. (2005):

- pro mělké půdy (do 30 cm) – $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$
- středně hluboké (30 – 60 cm) – $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$
- hluboké (nad 60 cm) – $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$

Orientačně lze hloubku půdy zjistit podle bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Hloubka půdy je v systému BPEJ vyjádřena 5. číslicí sdruženého kódu BPEJ pro skeletovitost a hloubku půdy. Kódy 7, 8 a 9 jsou určeny pro BPEJ pozemků se sklonem $> 12^\circ$ a pro BPEJ nevyvinutých (rankerových) půd. Pro půdy s kódem 8 a 9 je hloubku půdy nutné zjistit terénním průzkumem. (Janeček, 2005).

Jestliže přípustná ztráta půdy přesáhne tyto hodnoty, je třeba přistoupit k návrhu vhodných protierozních opatření.

Příprava dat za využití softwaru

Pro přípravu dat, zejména mapových podkladů, byl použit GIS. GIS (Geografický informační systém) umožňuje ukládat, spravovat a analyzovat prostorová data – data o geografické poloze prvků či jevů v území. Gis má schopnost pracovat s polohou prvků, tedy s zeměpisnými souřadnicemi. Pracuje s efektivní metodou organizace dat. Tato data umožňuje ukládat spolu s popisnými informacemi, následně zobrazovat, analyzovat, vytvářet, aktualizovat a rozčleňuje objekty do tzv. „tematických vrstev“. Konkrétně byl využit ArcGIS firmy ESRI a jeho součásti ArcCatalog a ArcMap.

4. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉ OBLASTI

Zájmové území povodí Budského potoku se nachází v Jihočeském kraji, 16 kilometrů na východ vzdušnou čarou od města český Krumlov. Studované území spadá do třech katastrálních území, a to Malče, Besednice a Soběnov. Rozloha řešeného povodí je 7.1 km². Zhruba 40% rozlohy území zaujímají lesy a 60% území představuje zemědělský půdní fond. Nejvyšším vrchem je Kohout se svými 869 m.n.m., na němž také pramení Budský potok.

4.1 GEOMORFOLOGICKÉ ČLENĚNÍ

SYSTEM	PROVINCIE	OBLAST	CELEK	PODCELEK	OKRSEK
Hercynský	Česká vysočina	Šumavská hornatina	Novohradské podhůří	Soběnovská vrchovina	Pořešínská pahorkatina

4.2 GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA

4.2.1 Základní charakteristika regionu

Českokrumlovský okres je z hlediska přírodních poměrů územím velmi pestrým, ať už jde o územní členitost, geologickou stavbu nebo klima. Geologická stavba regionu je velmi členitá, orograficky (horopisně) je celé území součástí podsoustavy Šumava, a jako celek náleží k orografické soustavě Jihočeské vysočiny. Samostatnou horskou skupinou v jihovýchodním pohraničí okresu jsou Novohradské hory. Území okresu patří ke krystaliniku vltavsko-dunajské oblasti zvanému moldanubikum. Z hlediska stratigrafického jsou zde zastoupeny všechny hlavní stavební jednotky, tzv. série. *Jednotvárná série* krystalinika je charakterizována poměrně monotónní stavbou a kyselými horninami. Českokrumlovskem však prochází pestrá série s hojnou příměsí drobných vložek odchylných hornin, často bazického charakteru. Dalšími jednotkami tu jsou ještě série svorů a svorových rul kaplických a dva granulitové masívy (křišťanovský a Blanského lesa). Mezi horniny, jež vytvářejí převážnou část podloží pohraniční části

okresu a jsou místy zastoupeny i ve vnitrozemí, patří různé typy žul a granodioritů. Další významnou horninou jsou svorové ruly a svory na Kaplicku a biotitické pararuly, které v širokém pruhu rovnoběžném se sérií kaplických svorů vyplňují střední část okresu a jsou základní horninou pestré série krystalinika. (Ckumlov.cz [online], 2008)

4.2.2 Soběnovská vrchovina

Soběnovská vrchovina o rozloze 161 km² je název geologického podcelku Novohradského podhůří, na kterém se nachází zájmové území a sousedí na jihu s Kaplickou brázdou, Pohořskou hornatinou a na severu Stropnickou pahorkatinou. Pohoří je kerné a členité, převážně složené z hrástí a prolomů. Jako geologické podloží Soběnovské vrchoviny převažují žuly moldanubického plutonu a plášť tvoří cordieritické ruly. Nejvyšším bodem je vrch Kohout ve výšce 870 m n.m. na němž také pramení Budský potok. Nejnižší místo leží na kótě 468 m n.m., střední výška je 627,8 m n.m a střední sklon 5° 09'.

4.2.3 Podrobná geologická charakteristika zájmového území

Údaje pocházejí ze Zjednodušené geologické mapy 1:50 000. Na zájmovém území se nachází jako základní hornina **granit (žula)** (stáří: svrchní paleozoikum, typ hornin: magmatity hlubinné, geologický region: moldanubikum). V bezprostředním okolí podél vodního toku se nachází : **svahové sedimenty (hlína, písek)** (stáří: kvartér, typ hornin: sedimenty nezpevněné, geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat. V menší míře na zájmovém území můžeme nalézt: **pararula** (stáří: paleozoikum až proterozoikum, typ hornin: metamorfity, geologický region: moldanubikum). Tyto informace lze celkem snadno získat i v mapové podobě v mapové aplikaci serveru České geologické služby – www.geology.cz. Tento výstup je součástí práce jako příloha č.1.

4.2.4 Charakteristika území z hlediska radonu v podloží:

Převažující radonový index je vysoký, místy kolem vodního toku přechodný. Lokální měření radonového indexu geologického podloží nebylo provedeno.

V zájmové oblasti je nutné věnovat zvýšenou pozornost protiradonovým opatřením ve stávajících budovách nebo při výstavbě nových. Při využívání místních zdrojů podzemní vody pro pitné účely je nutná analýza podzemní vody na radioaktivní prvky; je pravděpodobná potřeba technologických úprav. Tuto charakteristiku je také možno získat ze České geologické služby – www.geology.cz v podobě mapového výstupu i s legendou. Uvádím jako přílohu č. 2.

4.2.5 Pedologická charakteristika:

Na řešeném území na svazích převažují půdy kyselé hnědé a podzolové, dále zde nacházíme půdy oglejené a půdy hydromorfni v zamokřené údolní nivě podél vodního toku. (Česká geologická služba [online]. 2002)

4.3 VODOHOSPODÁŘSKÉ ÚDAJE

4.3.1 Vymezení zájmové oblasti

Zasažené mapové listy ZM 1 : 50 000 (ČÚZK): 32-24

Povodí Budského potoka, č.h.p. 1-06-02-034

Katastrální území: Malče, Besednice, Soběnov

Okres: Český Krumlov, kraj: Jihočeský

4.3.2 Hydrologické poměry

Budský potok je povodí IV. Řádu, č.h.p. 1-06-02-034 o ploše povodí 7,111 km².

Vlívá se do řeky Malše jako pravý přítok – č.h.p. 1-06-02 a pramení na vrchu Kohout.

Na toku Budského potoku se nacházejí také 4 průtočné nádrže (pořadí od pramene):

Výhuň

Zatopená plocha: 0,7ha

Objem:3 tis.m³

Hloubka vody u hráze:1m

Nepojmenovaná rekreační nádrž

Mlýnek

Zatopená plocha:0,7 ha

Objem:3,5 tis.m³

Hloubka vody u hráze:1m

Besednice

Zatopená plocha:2,2 ha

Objem:67 tis.m³

Nepojmenovaný potok vlévající se do Budského potoku:

Na Budském potoku se nachází pravý přítok beze jména na němž se nachází průtočná nádrž Loužník.

Loužník

Zatopená plocha:0,6 ha

Objem:3 tis.m³

Hloubka vody u hráze: 1,9m

4.3.3 Nádrž Besednice

Besednická nádrž je největším a nejdůležitějším vodohospodářským objektem v povodí a hlavním účelem je zdržení vody a tím předčištění vody před vodní nádrží Římov (vodárenská nádrž), a také jako výsledek protierozní ochrany. Odběry z nádrže se neuvažují. Druh této nádrže je sedimentační, dočist'ovací a nádrž je průtočná. Stavba byla započata v průběhu roku 1983. Průměrná roční teplota v okolí je 6,7° C, průměrné roční srážky 715 mm, výpar činí 730 mm.

Rozdělení prostoru nádrže

Zásobní objem 48750 m³

Neovladatelný retenční objem 13050 m³

Celkový prostor nádrže 61 800 m³

Kóta maximální hladiny 512,00 m³

Kóta koruny přepadu 511,40 m³

Kóta koruny hráze 512,70 m³

Spodní výpust má průměr 400 mm o průtoku $Q = 2,08 \text{ m}^3/\text{s}$.

Popis vodního díla

Hráz

Je homogenní s návodným foliovým těsněním. Šířka koruny je 4 m. Koruna hráze je zpevněná železobetonovými panely, které jsou uloženy do 20 cm štěrkopísku. Sklon svahu je 1:2 a je zpevněn síťovinou a oset. Návodní svah je ve sklonech 1:2, 1:3, 1:5. Vrchní část svahu ve sklonu 1:2 je opevněna polovegetačními tvárniciemi, které jsou uloženy do štěrkopískového lože. Toto opevnění je opřeno o patku z lomového kamene. Zbytek svahu je neopevněn. Folie je umístěna na štěrkopískové vrstvě o tloušťce 20 cm. Tato folie je zavázána před límcem hráze betonovou zavazující zídou. Prosáklá voda je zachycována drénem o průměru 16 cm, který pro vylepšení účinnosti je obsypán štěrskem.

Vypouštěcí objekt

Slouží k regulaci hladiny a množství vypouštěné vody. Objekt je ponořený požerák. V čele jsou dvě trouby o průměru 40 cm a kanalizační šoupata. Průtok ve štolě je netlakový. Stoka je tvořená železobetonovými troubami o průměru 120 cm. Celková délka štoly je 45 m. Celá štola je dělena dilatačními spárami, které jsou těsněny gumovým profilem. Vtok do spodních výpustí je opevněn dlažbou a betonovým prahem. Obě šoupata jsou oddělena zídou tak, aby byla možná oprava jednoho při přepouštění vody druhým. Manipulace šoupat je z lávky.

Bezpečnostní přeliv

Slouží k převedení velkých vod. Přepadová část objektu je železobetonový U-profil. Přes hráz je voda vedena obdélníkovým korytem o šířce 3m. Objekt přechází ve skluz, který je opevněn tvárnicemi uloženými do betonu. Délka skluzu je 80 m, celková délka objektu včetně přepadu je 105 m.

Převádění povodňových průtoků

Kapacita bezpečnostního přelivu je $Q_{100} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$. Snížení vlivem malého retenčního prostoru je malé (1%). Retenční prostor je neovladatelný. Během povodně, ani před ní není tedy třeba žádná manipulace, působí automaticky. Využívání zásobního prostoru po snížení povodňového maxima, tudíž vypouštění nádrže před příchodem povodňové vlny, nelze využít. Díky velmi krátkému a malému povodí je příchod povodňové vlny velmi rychlý.

4.3.4 Besednická nádrž jako prvek protierozní ochrany

Nádrž jako prvek protierozní ochrany má za úkol zadržet velké množství vody a tím chránit níže položené území před povodněmi a erozními účinky vody. Příznivě tedy ovlivňuje průběh velkých vod („zploštění“ povodňové vlny). Protipovodňový efekt nádrže závisí zejména na velikosti tzv. ovladatelného retenčního prostoru (tj. prostoru mezi kótou provozní hladiny a hranou bezpečnostního přelivu). Po povodni se následně pomalu vyprazdňuje. Další funkce nádrže je záchytná díky odstraňování sedimentačních splavenin. Tato záchytná činnost závisí zejména na průměrné rychlosti proudění vody v nádrži a na velikosti půdních částic přinesených do nádrže. Velikost retenčního prostoru Besednické nádrže se blíží velikosti objemu povodňové vlny o průměrné době překročení 50 až 100 let. Besednická nádrž tedy plně splňuje požadavky protierozní ochrany a ochrany před povodněmi.

4.4 NAKLÁDÁNÍ S ODPADY V PŘÍLEHLÝCH OBCÍCH

V této kapitole je řešena problematika nakládání s domovními odpady, a to z pohledu jejich rizik a následného dopadu na vodní režim oblasti povodí Budského potoku a vliv na okolní životní prostředí. Tuto záležitost je potřeba vzít v úvahu, zejména díky vysokému počtu (4) nádrží, vzhledem k velikosti povodí. Případný únik nebo výskyt nebezpečných látek může velmi negativně ovlivnit nejen blízké okolí zdroje, ale vsakem a podpovrchovým transportem částic ohrozit přímo funkční stabilitu nádrže. Kontaminace zde může nastat vypouštěním odpadních vod, toxickými látkami, průmyslovými hnojivy, nebo také následkem eroze. Ohrožení nelze brát na lehkou váhu i vzhledem ke skutečnosti, že tato vodní díla předcházejí vodárenské nádrži Římov, která slouží jako zdroj pitné vody pro celé České Budějovice a široké okolí.

4.4.1 Besednice

Obci Besednice (555,00 – 604,00 m n.m.) zásobuje pitnou vodu vodovod ve vlastnictví VAK a.s. se střediskem v Kaplici a vlastní jej obecní úřad Besednice.

Obec Besednice vlastní jednotnou kanalizaci, ke které je napojeno cca 70% obyvatel. Splaškové vody odvádí jednotná kanalizace do obecní čističky odpadních vod (dále jen ČOV). Díky studii, kterou si nechal zpracovat Jihočeský kraj, jsou dispozici tato data:

Dešťové vody jsou odlehčovány před ČOV ve dvou odlehčovacích komorách, které jsou zaústěny do Besednického potoka. Linka mechanicko – biologické ČOV se sestává z mechanického předčištění (sdružený objekt- jemně ručně stírané česle, štěrbinový lapák písku LPŠ 1200, lapáku plovoucích nečistot LN 180) a biologické části (stabilizační dočišťovací nádrže 0,75 ha – nádrž je rozdělena normou stěnou na dvě sekce, první je provzdušňována povrchovou aerační turbínou Sigma Oplachové vody ze zemědělského areálu jsou čištěny ve stabilizační nádrži 0,5 ha, která je zaústěna do druhé stabilizační nádrže. ČOV je vyústěna do Besednického potoka. U části zástavby jsou splaškové vody předčišťovány v septicích s přepadem do kanalizace. V obci Besednice je uvažováno s dostavbou kanalizační sítě.(Horejš, 2005)

Městys Besednice se řídí dle obecně závazné vyhlášky č. 03/2008 o systému shromažďování, sběru, přepravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů vznikajících na území městyse Besednice a o nakládání se stavebním odpadem. Jednotlivé složky komunálního odpadu, které jsou vytríděny dle vyhlášky se ukládají na sběrném místě ve „VACHLOVCI.“ Ani nezodpovědní občané již nemají důvod tvořit tzv. „černé skádky“ v okolí.

4.4.2 Malče

Malče (530 - 542 m n.m.) je místní část obce Besednice. Voda je distribuována pomocí obecního vodovodu. Zdrojem tohoto vodovodu jsou studny nacházející se zhruba 400m severovýchodně od Malče. Vydatnost těchto zdrojů je $Q_{prům} = 0,5$ l/s, $Q_{max} = 0,7$ l/s. Odtud je voda vedena gravitačně.

Malče - místní část obce Besednice se nachází v ochranném pásmu VD Římov a je zde vybudována dešťová kanalizace, která je správě obce. Kanalizace ústí do rybníka na návsi. Splaškové vody jsou z cca 50 % předčišťovány v septicích s následným vypouštěním do dešťové kanalizace. Zbylá část splaškových vod je vypouštěna do kanalizace přímo bez předčištění. Dešťové vody jsou z 80 % zaústěny do dešťové kanalizace ve správě obce. Zbylé dešťové vody jsou odváděny systémem příkopů, struh a propustků. Pro čištění splaškových vod je uvažováno s výstavbou nové čistírny odpadních vod. (Horejš, 2005).

Tento stav je možný brát jako možnou hrozbu v podobě lokálního zdroje znečištění. Tyto septiky jsou mnohdy za hranicí životnosti a nemají potřebnou funkčnost. Často propouštějí nebezpečné splaškové vody do blízkého okolí. Z domácího odpadu je tekutý obsah septiku znečištěn nejvíce dusíkatými látkami ve vodném roztoku. Velkým rizikem je pak fosfor z pracích prostředků a některé rozpustné soli Mg, Ca Na K. Může dojít ke kontaminaci povrchových vod a hrozí i bakteriologické znečištění zdrojů pitné vody. Množství a složení odpadních vod upravuje nařízení vlády 171/92 sb., které stanovuje přípustné ukazatele vypouštění odpadních vod a znečištění povrchových vod.

4.4.3 Soběnov

V obci Soběnov (604 - 644 m n.m.) pitnou vodu distribuuje vodovod, jehož vlastníkem je obecní úřad Soběnov a provozovatelem je VAK a.s. středisko Kaplice.

Vodovod je zásoben dvěma zdroji. Prvním zdrojem je původní prameniště (jímací zářezy, studna), jejichž vydatnost je $Q_{\text{prům}} = 0,05$ l/s, $Q_{\text{max}} = 0,2$ l/s. Z prameniště je voda gravitačně svedena do pramenní jímky, která slouží jako akumulační 1×9 m³ (655,0/? m n.m.-odhad). V pramenní jímce je voda hygienicky zabezpečována (dávkovač chlornanu sodného). Druhým zdrojem pro vodovod jsou tři studny, jejichž vydatnost je $Q_{\text{prům}} = 0,5$ l/s, $Q_{\text{max}} = 1,1$ l/s. Voda ze studní je gravitačně svedena přes odkyselovací stanici do vodojemu Soběnov 1×150 m³ (665,0/662,5 m n.m.- odhad). Z vodojemu je voda přes pramenní jímku (hygienické zabezpečení) gravitačně dopravena do obytných a zemědělských objektů. Obec Soběnov se nachází v ochranném pásmu VD Římov. (Horejš, 2005)

V obci Soběnov je zbudována jednotná kanalizace. Touto kanalizací se odvádí i 60% dešťových vod. Zbytek je odveden pomocí příkopů a propustků. Na kanalizaci se napojuje 60 % trvale bydlících obyvatel a 45% rekreatantů. Zbylé odpadní vody jsou svedeny do bezodtokových jímek a likvidují se v ČOV Kaplice. Kanalizaci vlastní obec, má délku 1,83 km a je vybudována z betonových a kameninových trub. Kanalizace je svedena pomocí místní vodoteče do biologického dočišťovacího rybníku o rozloze asi 0,5 ha. Tato vodoteč je přítokem řeky Černé.

Zbylá část obyvatel vlastní vyhnívací septiky na vyvážení. Tyto někteří obyvatelé vyváží ve velmi dlouhých intervalech nebo ještě hůře nevyvážejí vůbec. V obci je několik případů kdy septiky jsou napojeny na rouru vedoucí „do ztracena na pole“. Jako v lokalitě Malče zde sledujeme hrozbu v podobě bodového zdroje znečištění v okolí vyústění těchto septiků.

Městský úřad Kaplice vydal počátkem roku 2010 územní rozhodnutí o umístění stavby Soběnov - Čistička odpadních vod. Tato stavba jistě pomůže ke zkvalitnění výstupů z kanalizace v obci a pomůže ke snížení ekologických zátěží. Projekt na zbudování kanalizace v té části obce, kde není kanalizace, je již zpracován. Zde se ponechají domovní septiky jako předčištění. Dále je v plánu vybudovat dočišťovací stabilizační nádrž.

5. VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1 URČENÍ N-LETÝCH VOD BUDSKÉHO POTOKU

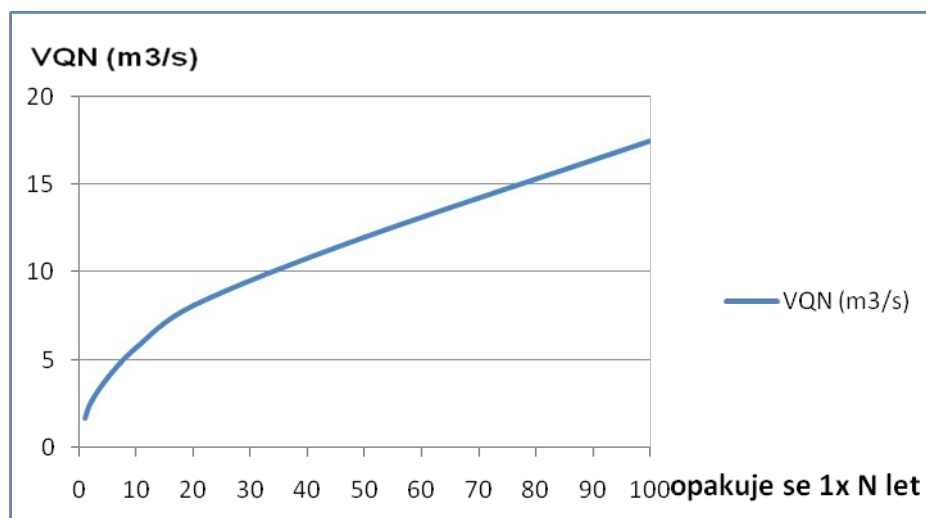
Po dosazení vypočítaných hodnot do rovnice pro výpočet maximálního specifického odtoku dle Sokolovského byla získána hodnota $VQ_{100} = 18,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dále po aplikování do Čerkašinoва vzorce byl vypočítán maximální specifický odtok $VQ_{100} = 16,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Získal jsem tedy dvě různé hodnoty pro VQ_{100} , a to 18,8 a 16,1 m^3/s . Pro charakter následujícího výpočtu jsem vypočítal jejich průměrnou hodnotu 17,5 m^3/s . K odvození VQ_N pro $N = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ jsem použil rovnici $VQ_N = VQ_{100} \cdot a_N$, přičemž koeficient a_N jsem odvodil podle charakteru povodí z tabulky. Získal jsem tedy čáru opakování VQ_N . Hodnoty uvádím v tabulce. Tuto čáru lze vynést do grafu.

Tab. č. 3 Tabulka specifických odtoků Budského potoku

N let	1	2	5	10	20	50	100
a_N	0,1	0,15	0,23	0,33	0,47	0,70	1
VQ_N (m^3/s)	1,7	2,6	4,0	5,7	8,1	12,0	17,5

Graf č. 2 Graf čáry opakování VQ_N



Obecně jsou oba vzorce, Sokolovského i Čerkašinův, celkem podobné. Jako vstupy používají podobné nebo stejné veličiny, jako například průměrný spád vodního toku, objemový součinitel toku a plocha povodí. Ze vzorců lze vypočítat patrný vliv spádu vodního toku a plochy povodí na výsledný specifický odtok. Volba těchto součinitelů je však často vázána na odečet z grafu nebo mapy a může tedy být do jisté míry subjektivní. Proto bych matematickou přesnost výpočtů hodnotil jako menší a hodnoty zaokrouhloval na celá čísla. To platí zejména k odvození N-letých průtoků touto metodou. Nevýhodou těchto vzorců je, že nepracují s místními hodnotami srážek. Avšak k zhodnocení průtoků na malých povodích považuji vzorce za dostačující i vzhledem k značné finanční náročnosti podrobných měření přímo na toku.

Pro porovnání uvádím hodnoty průtoků z technické dokumentace (viz. příloha) Besednické nádrže. Bohužel zde nebyla uvedena metodika získání hodnot. Nevíme tedy jestli byly hodnoty změřeny přímo na toku, nebo jakou metodou byly počítány. Výsledky jsou nicméně téměř shodné s mým výpočtem uvedeným výše a lze tedy považovat výsledné hodnoty za regulérní.

Tab. č. 4 N-leté vody uvedené v technické dokumentaci.

n-leté vody	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
Průtok (m ³ /s)	3,8	5,6	8,6	10,4	12,2	16,4	20,0

5.2 VYHODNOCENÍ OHROŽENOSTI PŮD

Po terénním průzkumu bylo do digitalizované mapy 1:10000 v souřadnicovém systému S-JTSK v prostředí ArcMap vyznačeno 14 pozemků. Tyto pozemky tvoří souvislé bloky a mají podobnou charakteristiku. Na tyto pozemky jsem poté aplikoval výpočet smyvu půdy z pozemku dle Wischmeiera a Smithe.

Faktor R (faktor erozní účinnosti deště) byl v zájmové oblasti pro všechny určen jako 20 podle průměrné hodnoty pro Českou republiku.

Na zájmovém území je nejčastější hodnota faktoru K rovna 0,21. Na třech pozemcích je hodnota rovna 0,39. Tyto hodnoty jsou nejčastějšími na území ČR.

Faktory L (faktor délky svahu) a S (faktor sklonu svahu) jsou odvozeny z převodní tabulky. K odvození jsem změřil délky zakreslených pozemků v prostředí ArcMap. Sklony pozemků určeny pomocí vzorce $S = \frac{p}{l} \cdot 100$ (%) kde :

p = převýšení (m)

l = délka (m)

S = sklon (%)

Tab. č. 5 Výsledky délek a sklonů svahů

Pozemek č.	Délka svahu (m)	Sklon svahu (%)
1	250	6,96
2	680	9,07
3	620	8,71
4	650	2,69
5	570	3,99
6	830	4,87
7	500	7,80
8	370	7,38
9	600	6,67
10	410	7,32
11	680	3,53
12	270	7,41
13	370	4,86
14	480	5,42

Faktor C (faktor ochranného vlivu vegetace) je pro zájmové území roven 0,22. Tato hodnota je obecně doporučována a nejčastěji používána pro území Jižních Čech.

Faktor P (faktor účinnosti protierozního opatření). Na řešeném území zatím nebylo aplikováno žádné protierozní opatření, a proto je faktor P roven 1.

V celém zájmovém území jsou půdy středně hluboké (30 – 60 cm) a přípustná ztráta půdy je stanovena na 4 t. ha⁻¹.rok⁻¹.

Výpočet byl proveden za pomoci programu MO Excel a výsledky uspořádány do přehledové tabulky.

Tab. č. 6 Výsledky výpočtu erozního smyvu pro jednotlivé bloky pozemků

Pozemek č.	Faktor R	Faktor K	Faktor L	Faktor S	Faktor C	Faktor P	Smyv G (t/ha/rok)
1	20	0,21	3,38	0,70	0,22	1	2,19
2	20	0,21	5,50	1,00	0,22	1	5,08
3	20	0,21	5,26	0,96	0,22	1	4,67
4	20	0,21	5,38	0,25	0,22	1	1,24
5	20	0,21	5,12	0,35	0,22	1	1,66
6	20	0,21	6,18	0,44	0,22	1	2,51
7	20	0,39	4,77	0,84	0,22	1	3,70
8	20	0,39	4,08	0,74	0,22	1	2,79
9	20	0,21	5,22	0,63	0,22	1	3,04
10	20	0,21	4,27	0,74	0,22	1	2,92
11	20	0,21	5,56	0,31	0,22	1	1,59
12	20	0,21	3,68	0,74	0,22	1	2,52
13	20	0,39	4,05	0,43	0,22	1	1,61
14	20	0,21	4,77	0,53	0,22	1	2,34
Průměr			4,80	0,62			2,70

Z údajů v tabulce lze vyčíst, že největší smyv půdy mají pozemky č. 2 (**5,08** t.ha⁻¹.rok⁻¹), 3 (**4,67** t.ha⁻¹.rok⁻¹), 7 (**3,70** t.ha⁻¹.rok⁻¹), 9 (**3,04** t.ha⁻¹.rok⁻¹). Při porovnání vypočítaných hodnot s metodikou zjistíme, že na těchto místech hodnoty překračují, nebo se přibližují přípustné ztrátě půdy pro středně hluboké půdy dle Janečka. Tyto pozemky (zejména 2 a 3) jsou ohrožené vodní erozí. Hodnoty lze považovat za přesné, zpracování zohledňuje všechny dostupné hodnoty.

Na tyto pozemky by bylo velmi vhodné aplikovat kombinaci protierozních opatření. Základní a nejschůdnější variantou jsou organizační protierozní opatření, v podobě protierozního rozmísťování plodin, pásové střídání plodin, ochranné zatravnění na části pozemku a změny osevního postupu. Výhodné je častější zařazení obilnin a meziplodin. Větší vegetační kryt sníží erozní činnost deště na

půdě a přispívá ke snížení smyvu z půdy. Jako vhodná se jeví z hlediska finančního i jednoduchosti realizace delimitace kultur formou převedení části pozemků na trvalé travní porosty. Avšak je potřeba vzít v úvahu pozdější výskyt chodníčkové eroze, kterou působí využití pozemku jako pastvu.

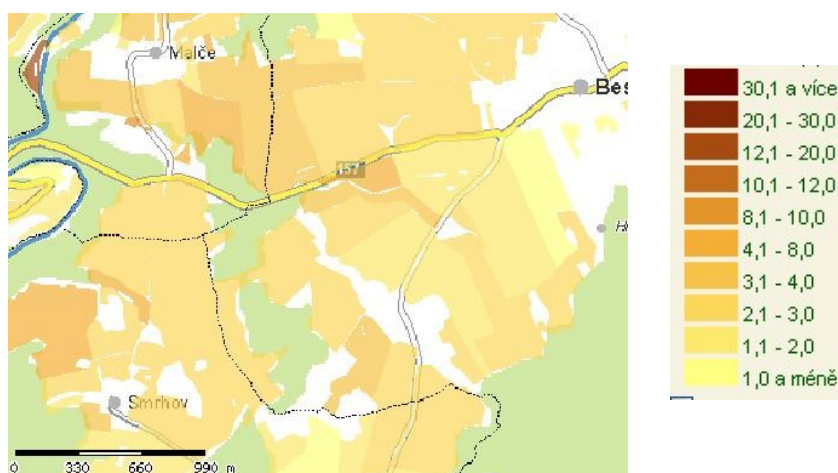
Tato opatření však nejsou zcela dostačující. Další variantou jsou agrotechnická opatření, jež mají za důsledek přerušení drah soustředěného odtoku. Jednoduchá a celkem nenáročná agrotechnická opatření, jako zanechání posklizňových zbytků nebo mulčování, významně sníží hodnoty smyvu.

Náročnější aplikaci představují biotechnické úpravy. I za cenu vyšších nákladů je vhodné je aplikovat zejména na pozemcích 2 a 3. Vznik liniových prvků, např. protierozní příkop, cesta nebo zasakovací pás orientované po vrstevnici velmi výrazně podpoří převedení povrchového odtoku na podzemní. Rozumné je tyto prvky orientovat uprostřed napříč pozemky, aby se přerušil odtok, a aby obdělávání pozemku nebylo znesnadněno. Tyto prvky navíc mohou v budoucnu začít fungovat jako lokální biokoridor, případně tvořit prvek ÚSES.

Je důležité zmínit, že protierozní ochranu musíme řešit jako soubor různých činností komplexně a trvale. Je mylné se domnívat, že aplikací jednotlivého opatření se vyřeší problém. Nesmíme zapomenout zahrnout do řešení i stávající prvky, v našem případě vodní nádrže. Ty ovlivňují vodní režim v okolí a zabraňují tvorbě akumulčních tvarů v území ležící níže.

Pro porovnání uvádím hodnoty smyvu půdy z internetového mapového serveru GIS SOWAC (GIS for Soil and Water Conservation) Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy. Hodnoty jsou nejčastěji v rozmezí 2,1 až 8.0 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Tyto hodnoty v zásadě odpovídají výpočtům a pro základní charakteristiku vodního smyvu mohou aplikaci GIS SOWAC doporučit. Díky shodě s aplikací GIS SOWAC můžeme výsledky prohlásit za věrohodné a správné.

Obr. č. 2 Obr. Mapa vodního smyvu na zájmovém území



5.3 Hodnocení funkce nádrže

Analýzou technické dokumentace nádrže Besednice lze vypočítat předdimenzované řešení tohoto objektu vzhledem k velikosti povodí a k výsledkům výpočtu specifických průtoků. Například blízká vodní nádrž Soběnov má svůj objem větší o 13 % a velikost povodí je dvacetinásobná. Kapacitu přelivu uvedenou v dokumentaci lze i při tzv. „stoleté povodni“ po výpočtu dle Sokolovského a Čerkašina považovat za odpovídající a není ohrožena bezpečnost přehradního tělesa.

Žádná vodní nádrž nemůže fungovat bez biomasy. Například vodní rostliny fungují jako stabilizátor kvality vody i ukazatel její jakosti. K stabilnímu stavu života jsou potřeba živiny, zejména ve formě dusíku a fosforu. Nádrž Besednice má přísun těchto látek zajištěn splachem z okolních pozemků. Díky zemědělskému obhospodaření, zejména hnojení dusíkatými fosforečnatými hnojivy je přísun těchto látek více než dostatečný. A spíše je třeba mít se na pozoru před nadlimitními koncentracemi těchto látek, která může vést ke snížení jakosti vody a k nadměrnému výskytu vodních květů sinic. Eutrofizace (např. výskyt orobince), tedy důsledek v podobě nadměrných stavů těchto prvků v nádrži, nebyla zaznamenána.

Minimalizace rychlého odtoku a správný způsob hospodaření, kdy se snažíme o maximální vsak spadlých srážek do půdy, vede ke zlepšení hydromorfologického stavu nádrže a je základem pro protipovodňovou ochranu. Ta se stává funkcí stále naléhavější díky stále více nerovnoměrnému rozložení srážek v průběhu roku. Také snížení nánosu jemných částic půdy z okolních pozemků je nezanedbatelným efektem protierozních opatření a přispívá k bezproblémovému fungování nádrže.

6. ZÁVĚR

Hlavním výstupem práce je vyhodnocení erozních jevů v povodí Budského potoku. Významný vliv v zájmovém území má na vodní režim okolí největší vodní nádrž Besednice, jež je předzařezaná vodohospodářské nádrži Římov, která je zdrojem pitné vody. Byl proto proveden průzkum nakládání s odpady v zájmovém území. Byl zde zjištěn lokální zdroj znečištění v pobobě splaškových vod z nevyvážených septiků. Zejména dusíkaté látky a fosfor v domovním odpadu představují riziko kontaminace povrchových vod.

Dále proběhl výpočet N-letých vod. Hodnota průtoku 17,5 m³/s opakujícího se jednou za sto let nepředstavuje riziko pro Besednickou nádrž, jež je na tento průtok dimenzovaná. Z hlediska přípustné ztráty půdy, které přesahovaly limitní hranici 4 t.ha⁻¹.rok⁻¹ jsou rizikové pozemky označené jako 2,3,7,9. Zde jsou navržena protierozní opatření, která při realizaci a dodržení metodiky povedou k zásadnímu snížení smyvu půdy z těchto pozemků. Tato investice následně pomůže i farmářům k vyšším výnosům, protože z pozemků se stále smývá ta nejurodnější část půdy. Dále se následně omezí náklady na údržbu nádrží, do kterých se zamezí přísun a akumulace jemných částic.

Velmi potěšující zprávou je, že mnoho podkladů a potřebných informací lze dohledat pomocí internetu. Existují servery (např. geology.cz), kde lze pomocí mapových aplikací získat podklady a dokonce i výstupy jen za použití běžného internetového prohlížeče s adekvátním plug-inem, jenž má dnes v podstatě každý. Takto získaná data nejsou samozřejmě absolutně přesná, ale pro obecnou charakteristiku daného území jsou dostačující. Vždyť hodnoty smyvu půdy z pozemků získané z aplikace GIS SOWAC rámcově odpovídají výpočtům dle Wishmeiera a Smithe. Pro zjištění parametrů na jednotlivých pozemcích je potřeba už využít vzorců nebo přímých pozorování a počítání zjednodušit např. tabulkovým kalkulátorem MO Excel.

Zpracování dat za pomoci matematického modelování a softwarových prostředků stále nabývá na významu. Rozvoj informačních technologií v minulých letech a stále se rozšiřující množství specializovaných programů (např. GIS) nám umožňuje provádět i složité analýzy a srozumitelně formulovat a graficky znázornit výstupní hodnoty. Ty jsou navíc prakticky použitelné.

Závěrem je nutné zdůraznit, že protierozní ochraně musíme věnovat pozornost jako souboru různých činností komplexně a trvale, protože aplikace pouze jednoho konkrétního opatření na části území nebude mít požadovaný účinek. Dále je vhodné budoucí opatření zpracovat do programu ÚSES a tím pomoci vytvářet například lokální biokoridory. V neposlední řadě je důležité také úzce spolupracovat s majiteli vodohospodářských zařízení v povodí.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1) JANEČEK, Miloslav a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha : ÚVTIZ, 1992.
- 2) HOLÝ, Miloš. *Protierozní ochrana*. Praha : SNTL, 1978.
- 3) DUMBROVSKÝ, M. et al. *Metodický návod pro pozemkové úpravy a související informace*. Praha : VÚMOP, 2000.
- 4) MCCUEN, Richard; SNYDER, Willard; CLIFFS, Englewood. *Hydrologic Modeling: Statistical Methods and Aplikations*,. New Jersey : Prentice – Hall, 1986.
- 5) DOLEŽAL, František . *Voda v krajině*. Ostrava : Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, 1996.
- 6) VÁŠKA, Jiří. *Voda v krajině*. Ostrava : Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, 1996.
- 7) FORMAN, Richard; GORDON, Michel. *Krajinná ekologie*. Praha : Academia, 1993
- 8) WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. *Predikting Rainfall erosion losos – A guide to Conservation Planning*. D.C. : U.S. Dept., 1978.
- 9) ZACHAR, D. *Eroze půdy*. Ostrava : Pedagogická fakulta v Ostravě, 1983.
- 10) JANEČEK, Miloslav. *Vliv eroze půdy na znečištění povrchových vod*. Praha : ÚVTIZ, 1978.
- 11) PATOČKA, Cyril; MACURA, Lukáš. *Úpravy toků*. Praha : SNTL, 1989. 400 s.
- 12) KEMEL, Miroslav. *Hydrologie*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1994. 222 s.
- 13) NĚMEC, Jaromír . *Inženýrská hydrologie*. Praha : SNTL, 1964. 236 s.
- 14) *Ckrumlov.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-03-03]. Český Krumlov. Dostupné z WWW: <(http://www.ckrumlov.cz/cz1250/region/soucas/i_zchrck.htm)>.
- 15) *Česká geologická služba* [online]. 2002 [cit. 2010-02-03]. Dostupné z WWW: www.geology.cz>.
- 16) HOREJŠ, Martin. *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací na území Jihočeského kraje* [online]. 2006 [cit. 2010-03-03]. Jihočeský kraj. Dostupné z WWW: <www.kraj-jihocesky.cz>.

- 17) AHRENDTS, H.; MAST, M.; KUNSTMANN, H. Coupled hydrologicaleconomic modelling for optimised irrigated cultivation in a semi-arid catchment of West Africa. *Science Direct*. 2007, 23, s. 385-395.
- 18) AMES, Daniel; VAN KIRK, Robert ; CROSBY, Benjamin . Estimation of stream channel geometry in Idaho using GIS-derived watershed characteristics. *Elsevier*. 2008, 24, s. 444-448.
- 19) ARGENT, R.M., et al. A new approach to water quality modeling and environmental decision support systems. *Elsevier*. 2008, 24, s. 809-818.
- 20) ARGENT, Robert M. An overview of model integration for environmental applications— components, frameworks and semantics. *Science Direct*. 2004, 19, s. 219-234.
- 21) BRANDMEYER, Jo Ellen; KARIMI, Hassan . Coupling methodologies for environmental models. *Science Direct*. 2000, 15, s. 479-488.

8. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Tab. č. 1 Průměrná rychlost stékání vody v povodí str.31

Tab. č. 2 Tabulka hodnot faktoru K str. 33

Tab. č. 3 Tabulka specifických odtoků Budského potoku str. 44

Tab. č. 4 N-leté vody uvedené v technické dokumentaci.str. 45

Tab. č. 5 Výsledky délek a sklonů svahů str. 46

Tab. č. 6 Výsledky výpočtu erozního smyvu pro jednotlivé bloky pozemků str. 47

Graf č. 1 Vliv tvaru povodí na Q_{100} str. 32

Graf č. 2 Graf čáry opakování VQ_N str. 44

Obr. č. 1 Mapa izolinií objemového součinitele dle Čerkašina str.31

Obr. č. 2 Obr. Mapa vodního smyvu na zájmovém území str. 49

8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: **Geologická charakteristika zájmové oblasti**

Příloha č.2: **Charakteristika oblasti z hlediska obsahu radonu v podloží**

Příloha č.3: **Rozmístění řešených pozemků v povodí**

Příloha č.4: **Výřez z mapového listu 32-24 Základní vodohospodářské mapy**

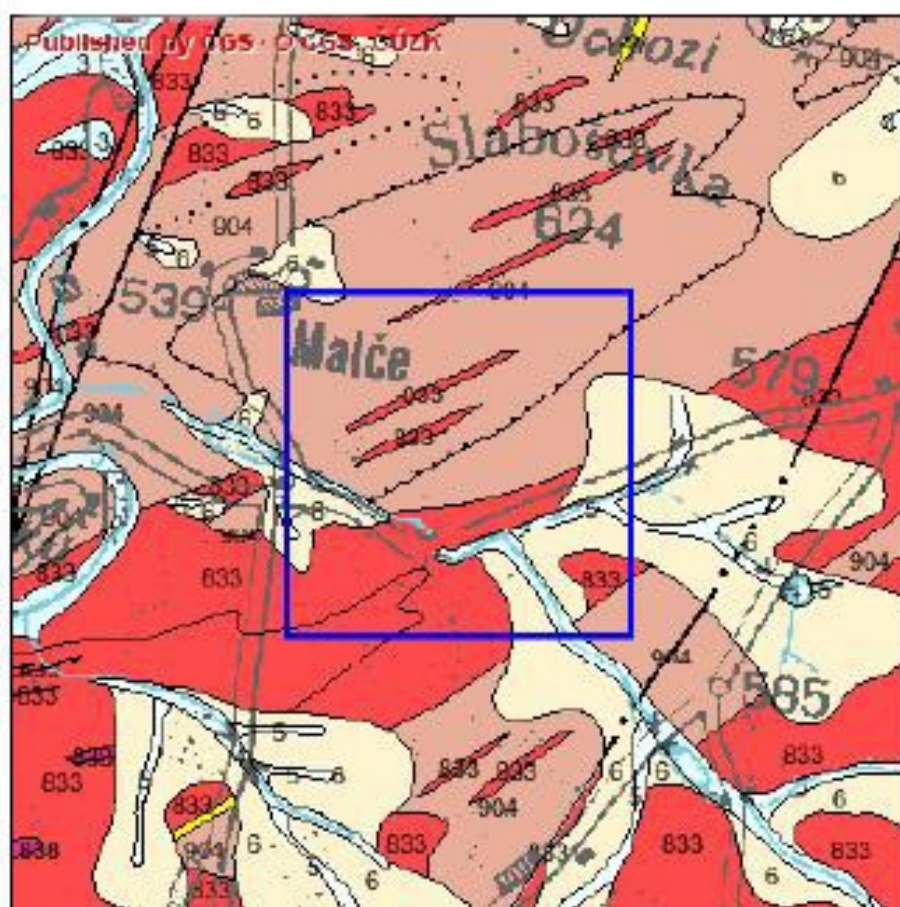
Příloha č.5: **Vzorový příčný profil hrází nádrže Besednice**

Příloha č.6: **Příčné profily hráze nádrže Besednice**


Příloha č.7: **Fotodokumentace**

Příloha č.1:

GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA



Měřítko 1 : 25 000 (1 cm = 250 m)

 vybrané území

0 0,5 1 km

Legenda

Index homina - typ horiny - stáří

REGION: KVARTÉR ČESKÉHO MASIVU A KARPAT

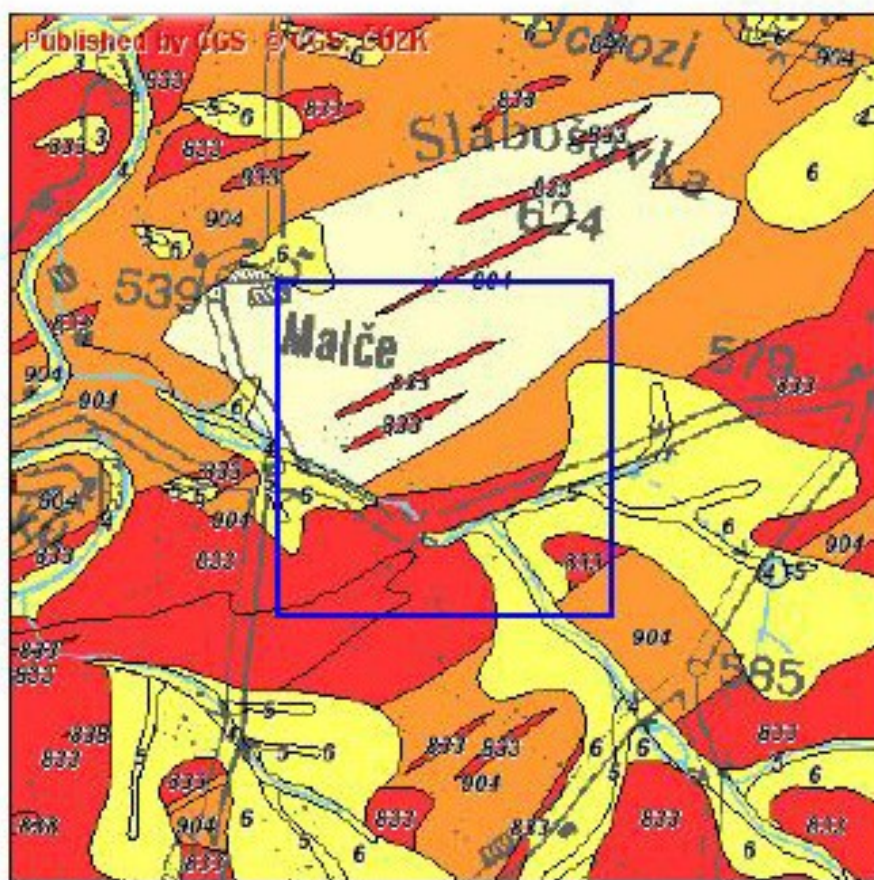
- 3 říční sedimenty (písek, štěrky) - sedimenty nezpevněné - kvartér
- 4 nívní sedimenty (hlína, písek, štěrky) - sedimenty nezpevněné - kvartér
- 5 splachové sedimenty (hlína, písek, štěrky) - sedimenty nezpevněné - kvartér
- 6 svahové sedimenty (hlína, písek) - sedimenty nezpevněné - kvartér

REGION: MOLDANUBIKUM- MOLDANUBICKÝ PLUTON


- 833 granit (žula) - magmatity hlubinné - svrchní paleozoikum
- 838 granodiorit - magmatity hlubinné - svrchní paleozoikum
- 846 aplit - magmatické intruze - svrchní paleozoikum

Příloha č.2:

CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ Z HLEDISKA RADONU V PODLOŽÍ - MAPY




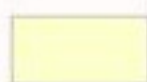
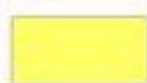


Měřítko 1 : 25 000 (1 cm = 250 m)

 vybrané území

0 0,5 1 km

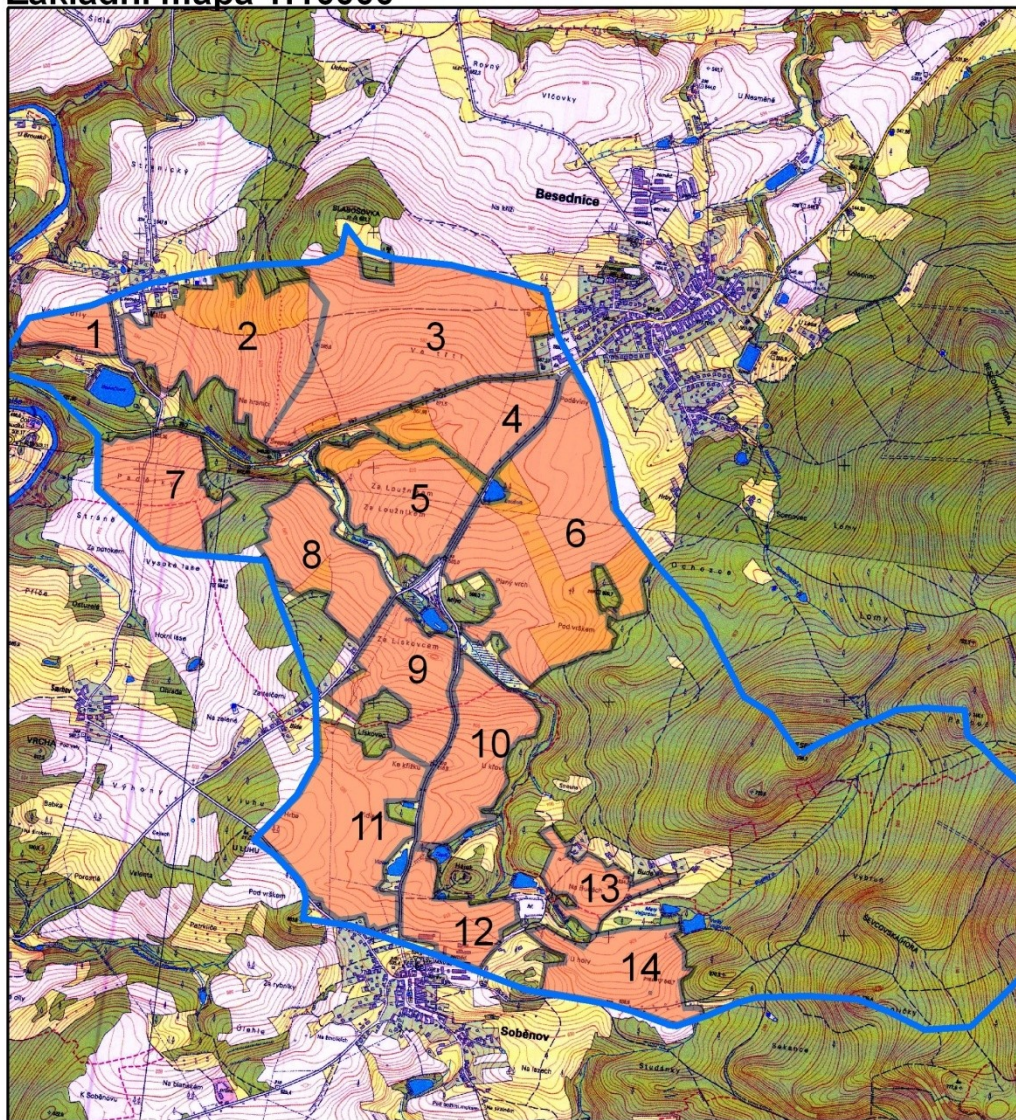
Legenda

Převažující kategorie radonového indexu geologického podloží:



-  nestanovena
-  nízká - 1
-  přechodná (nehomogenní kvartérní sedimenty) - 2
-  střední - 3
-  vysoká - 4

Povodí Budského potoku

Základní mapa 1:10000

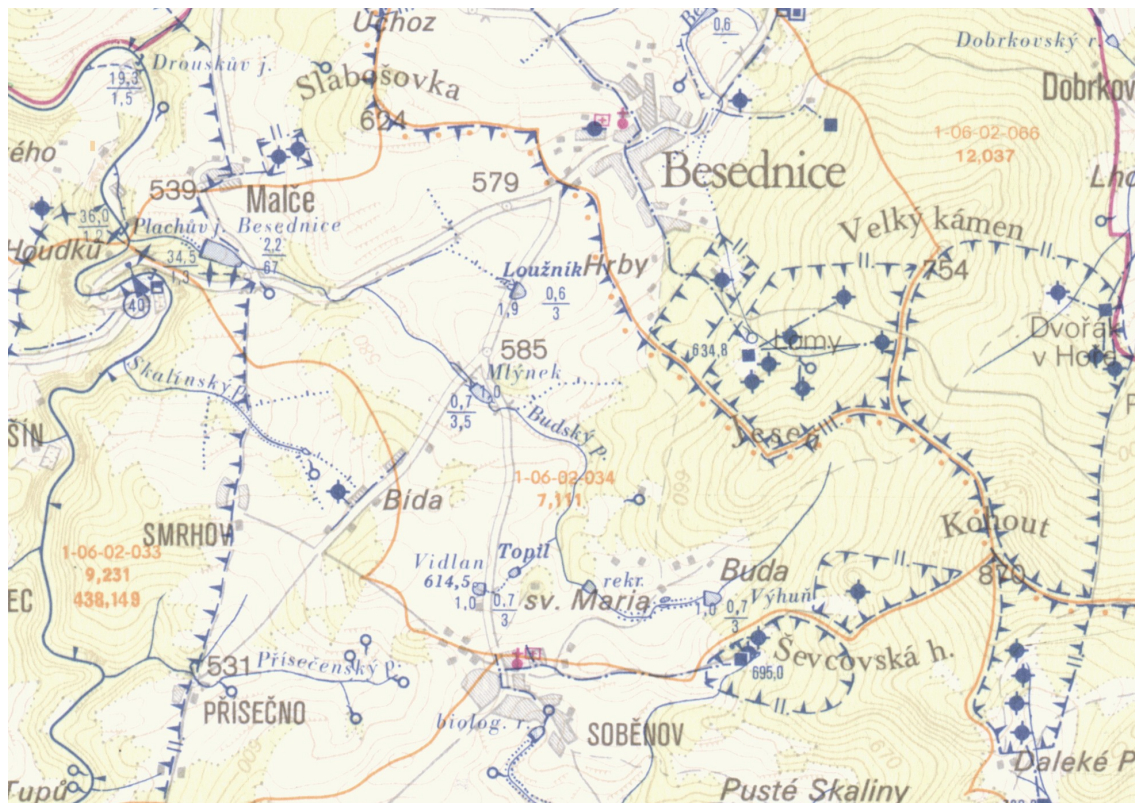


Legenda

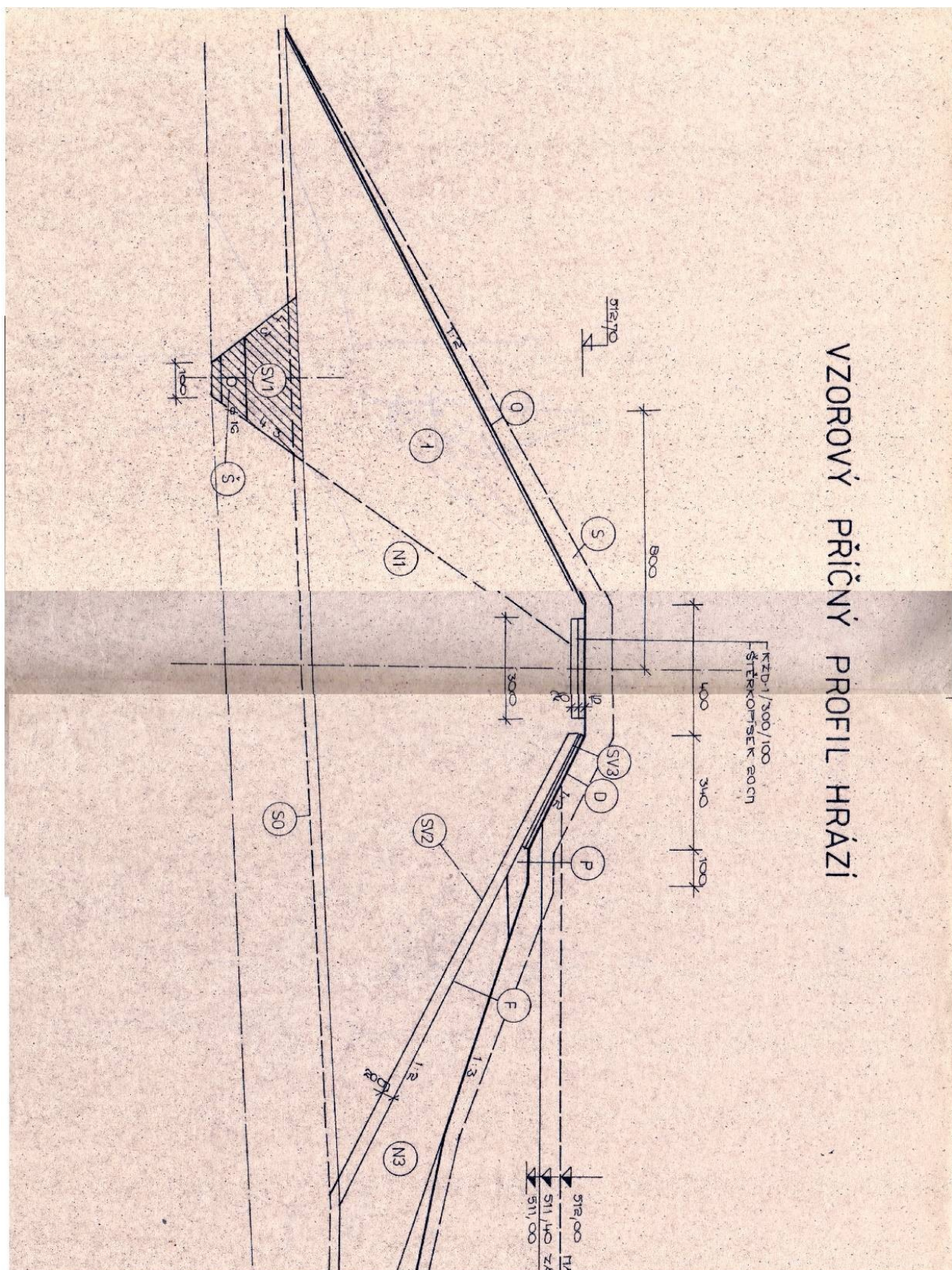
-  Rozvodnice
-  Rozdělení pozemků

0 250 500 1 000 1 500 2 000
Meters

**Příloha č.4: Výřez z mapového listu 32-24 Základní vodohospodářské mapy
1: 50 000 zobrazující povodí Budského potoku**



Příloha č.5: Vzorový příčný profil hráze nádrže Besednice



Příloha č.6: Fotodokumentace



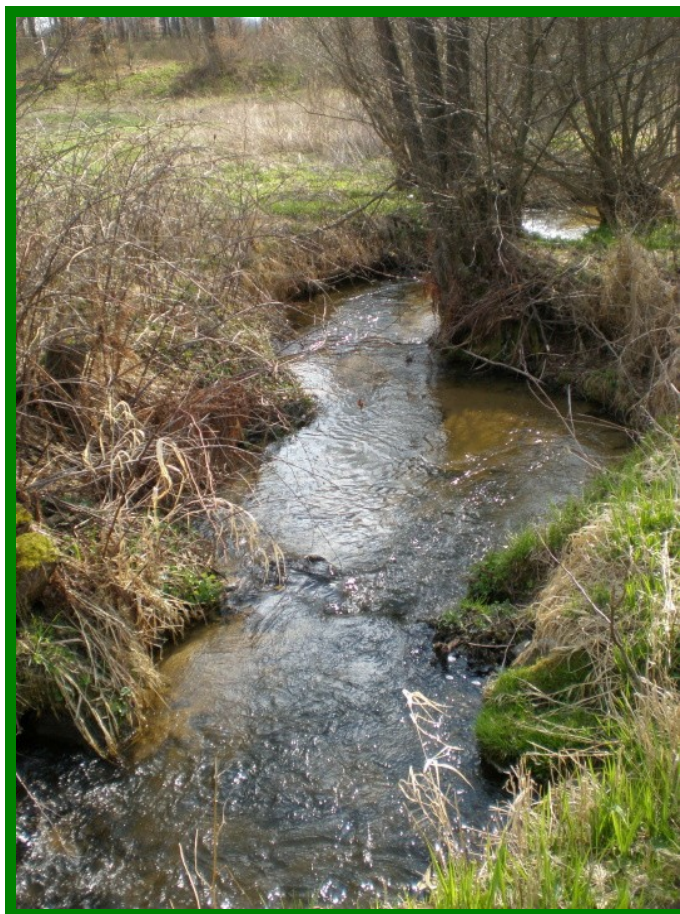
Hráz Besednické nádrže a bezpečnostní přeliv



U-profil bezpečnostního přelivu a jeho skluz



Pohled z hráze na Besednickou nádrž



Koryto Budského potoku



Meandr Budského potoku



Pohled na pozemek č.3 s vysokým smyvem půdy



Pohled na vrch Slabošovka – pozemek č.2 s největším ohrožením vodní erozí



Pohled ze silnice na kopci Liškovec na pozemek č.9.