

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

**ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Katedra krajinného managementu

Studijní program: M4101 Zemědělské inženýrství  
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vyhodnocení srážkových úhrnů ovlivňujících erozní splachy ve  
vybraném povodí**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Pavel Ondr, CSc.

Vypracoval:

Jakub Šefl

2011

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: **Jakub ŠEFL**  
Studijní program: **M4101 Zemědělské inženýrství**  
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**

Název tématu: **Vyhodnocení srážkových úhrnů ovlivňujících erozní splachy ve vybraném povodí.**

### 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 přívalové deště s erozními dopady naměřené pro modelové povodí.  
Provést průzkum povodí z hlediska pedologického, hydrogeologického a klimatologického.  
Vyhodnotit srážkové úhrny pro meteorologické stanice příslušné vybranému povodí.  
Vyhodnotit a propočítat erozní účinnost přívalových dešťů - stanovit R faktor - podle platné metodiky.  
Posoudit ovlivnění průtoků ve vodoteči vlivem přívalových dešťů .  
Navrhnout zobecnění a upřesnění R faktoru pro řešenou oblast .

Rozsah grafických prací: mapové podklady dle potřeby  
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 Pozemkové úpravy.


Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Ondr, CSc.  
Katedra pozemkových úprav

Datum zadání diplomové práce: 13. března 2008

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2010

V.Š.   
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
v ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Břidčentská 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 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 dne 20. dubna 2011

Jakub Šefl

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Pavlu Ondrovi, CSc. za odborné rady, vedení diplomové práce a velkou trpělivost.

## **Abstrakt**

Cílem diplomové práce je výpočet erozních splachů na modelovém povodí Malče - Budského potoka. Zkoumaný potok protéká územím Soběnovské vrchoviny, v okolí obcí Besednice, Malče a Soběnov. Práce též popisuje dané modelové povodí z hlediska pedologického, geologického a klimatologického.

Hlavním cílem je porovnat různé metody výpočtu erozního splachu na daném povodí. Porovnání zahrnuje výpočet pomocí univerzální rovnice ztráty půdy dle Wischmeiera a Smithe, a metodu čísel odtokových křivek CN pro výpočet celkového přímého odtoku a kulminačního průtoku, kde je pro určení erozního splachu použita upravená univerzální rovnice podle Williamse a Berndta.

Výsledky obou výše zmíněných metod jsou v závěru diplomové práce porovnány.

**Klíčová slova:** eroze, univerzální rovnice, CN křivky

## **Abstract**

The aim of the thesis is a calculation of erosion flushes of the catchment of Malče - Budský stream. The surveyed stream flows through the Soběnov highland area of Besednice, Malče and Soběnov municipalities. The thesis also describes the water catchment model from pedological, geological and climatological perspective.

The main objective is to compare different calculation methods of erosion flushes in the catchment. The comparison covers the Universal Soil Loss Equation by Wischmeier and Smith and the CN (Curve Number) Method, which is used for the total runoff and culminating flow calculation. A modified Universal Soil Loss Equation by Williams and Berndt is used to determine the erosion flushes.

The results of both methods mentioned above are compared at the conclusion of the thesis.

**Keywords:** erosion, universal equation, CN curves

# OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>2 LITERÁRNÍ PŘEHLED .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Voda.....</b>	<b>9</b>
2.1.1 Oběh vody na Zemi .....	10
2.1.2 Výpar .....	10
2.1.3 Výpar a oběh vody.....	11
2.1.4 Voda v atmosféře, vodní pára.....	11
2.1.5 Kondenzace vodních par v ovzduší .....	11
<b>2.2 Vylučování srážek z oblaků.....</b>	<b>12</b>
2.2.1 Atmosférické srážky .....	13
2.2.2 Přívalové srážky .....	15
<b>2.3 Eroze.....</b>	<b>16</b>
2.3.1 Pojem eroze půdy .....	16
2.3.2 Druhy eroze .....	18
2.3.3 Intenzita půdní eroze .....	21
2.3.4 Rozšíření eroze .....	22
2.3.5 Eroze v České republice .....	23
<b>2.4 Vodní eroze .....</b>	<b>24</b>
2.4.1 Vodní eroze obecně .....	24
2.4.2 Příčiny vodní eroze .....	25
2.4.3 Rozdělení vodní eroze .....	29
2.4.4 Rozšíření vodní eroze .....	32
<b>3 CÍL PRÁCE .....</b>	<b>33</b>
<b>4 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉ OBLASTI .....</b>	<b>34</b>
4.1. Pedologie zájmové oblasti.....	34
4.2. Hydrologie zájmové oblasti.....	35
4.3. Klimatologie zájmové oblasti .....	36
<b>5 VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>38</b>
5.1 Univerzální rovnice Wischmeier - Smith .....	38
5.2 Metoda čísel odtokových křivek - CN .....	42
<b>6 ZÁVĚR .....</b>	<b>46</b>
<b>7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>48</b>
<b>8 PŘÍLOHY.....</b>	<b>51</b>

# 1 ÚVOD

Půda je nenahraditelným přírodním zdrojem. Každý ji zná, někdo aktivně využívá, někdo po ní jen chodí, ale všichni jí potřebujeme. Půda je směsí hornin, organismů a organických zbytků. Tato směs je jedním z hlavních prostředků pro naše potraviny, umožňuje růst rostlin a je domovem pro mnohé organismy. Půda je vlastně směs 3 faktorů: minerálních látek, organických látek, půdní vody. Někdy se uvádí i další faktor půdní vzduch.

Rozvoj zemědělství a zejména rostlinné výroby závisí především na zvyšování úrodnosti zemědělských půd. Půda se však všeobecně stala klíčovým problémem nejen pro výrobu potravin, ale i pro určení funkce území v širších ekologických souvislostech. Jednostranně chápaný rozvoj zemědělské výroby vedl k zvětšování oraných půdních celků, což má za následek zvýšený rozvoj erozních procesů na půdě. V současné době je v České republice erozně ohroženo přibližně 50% orné půdy. Je dokázáno, že předcházení eroze je méně nákladné a komplikované než vytváření nových pozemků s ornou půdou. Proto je důležitá včasná a účinná protierozní ochrana.

Ačkoli je voda obsažena v půdě a je nezbytnou součástí pro veškerý život, její vliv může být také negativní. Může způsobit tragédii pro zemědělce ve formě erozí, tak i pro každého z nás, žijícího v blízkosti vodních toků, ve formě povodní. Až v poslední době si lidé začínají uvědomovat svůj velký vliv na budoucnost životního prostředí. Veškeré, ať už minimální zásahy do přírody se mohou za pár let či desetiletí projevit v daleko větší míře než si dnes umíme představit. Za minulého režimu docházelo k masivnímu zvětšování orných ploch a odvádění zdánlivě přebytečné vody. Tím docházelo ke změnám koloběhu vody, degradaci půdy a její větší náchylnosti k erozím.

Cílem této diplomové práce bude posoudit a vyhodnotit přívalové deště s erozními dopady naměřené na modelovém povodí Malče - Budského potoka. K dosažení výsledků bude třeba znát povodí z hlediska pedologického, hydrogeologického a klimatologického. Vyhodnotit srážkové úhrny a propočítat erozní ohroženost přívalových dešťů. Doufám, že má práce by mohla být využita pro další výzkum řešeného povodí.



## 2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 2.1 Voda

Všeobecně se má za to, že voda je nejrozšířenější látkou na povrchu země. Vyskytuje se trvale v zemské atmosféře, na povrchu i pod povrchem. Je součástí půdy, je nenahraditelnou složkou mnoha technologických procesů, je obsažena i v tělech živočichů a rostlin. Je nezbytnou podmínkou života.

Objem vody ve světových mořích a oceánech, ledovcích, atmosféře i objem vody podzemní a povrchové se odhaduje na 1,337 miliardy km<sup>3</sup>.

Kdyby veškerý objem vody rovnoměrně pokrýl celý zemský povrch, prostíralo by se na Zemi moře o průměrné hloubce 2620 m. Česká republika, Polsko i Maďarsko by bylo pod vodou. Na Slovensku by nad touto potopou vyčníval jen Gerlachovský a Lomnický štít.

Moře a oceány pokrývají 316,49 mil.km<sup>2</sup>, tj. 71 % zemského povrchu, pevniny jen 148,12 mil.km<sup>2</sup>.

Voda určuje i možnosti osídlení a zemědělského využití pevniny. Asi 20 % rozlohy pevnin je pokryto věčným ledem a sněhem. Jsou to území Antarktidy, Grónska, Aljašky, severní oblasti Kanady a Ruska. Asi 20 % pevnin trpí nedostatkem vody. Tyto oblasti tvoří pouště a aridní oblasti Afriky, Asie a Austrálie. Připočteme-li k tomu i neúrodné a méně dostupné oblasti hor, nemůžeme vlastně využívat asi 60 % plochy pevnin.

Všechnu vodu nemůžeme využívat podle našich potřeb. Plných 97,23 % tvoří voda slaná.

Sladké vody je jen 2,77 % z veškeré vody na zeměkouli. Přitom ze sladké vody, plných 77,63 % je vázáno v ledovcích, věčném sněhu a polárním ledu. Asi 21,8 % je podle odhadu podzemní voda, která je vázána v zemské kůře až do hloubky 4000 m. Využitelné sladké vody je podle některých odhadů jen asi 1 %.

Po odečtení vody v atmosféře, rostlinstvu a živých organismech, vlhkosti půdy a vody podzemní, zbývá na vodu povrchovou (vodní toky včetně vody v sladkovodních jezerech a vodních nádržích) asi 124 tisíc km<sup>3</sup> povrchové sladké vody, tj. asi 0,34 % z veškeré vody sladké a méně než 0,01 % z vody celkem (Dolejš, 1996).

### 2.1.1 Oběh vody na Zemi

Podmínkou rovnovážného stavu vody v ekosystémech je její koloběh. Kromě přísunu vody má zásadní význam pro pohyb a přesun látek v rozpuštěné i suspendované formě a je důležitý i pro usměrňování toku energie. Koloběh vody je poháněn sluneční energií - výpar z vodních povrchů, půdy i vegetace a vzdušné proudění, vítr a gravitační energií - pád a tok vody v kapalné formě i pád a posun ve formě pevné ve směru gravitačního spádu.

Velký koloběh vody - neboli velký hydrologický cyklus. Počátečním bodem je přechod vody z kapalné fáze na fázi plynnou - výpar, evaporace. Na výpar se spotřebuje asi 25 % energie slunečního záření dopadajícího na zemský povrch. V tomto měřítku se jedná především o výpar z hladiny oceánů. Vodní pára je pak vzdušným prouděním přenášena i nad kontinenty a zde padá ve formě kapalný a pevných srážek, nebo kondenzuje na povrchu objektů. Ve směru gravitačního gradientu pak ve formě povrchového a podpovrchového odtoku směřuje zpět k oceánu, nebo se díky zásaku stává součástí podzemních vod. Ty mohou také vyvěrat a zúčastnit se povrchového odtoku. Část vody se opět vypaří, stává se součástí těl živých organismů nebo tvoří zásoby půdní vody, mj. důležité pro život rostlin i živočichů.

Malý koloběh vody - neboli malý hydrologický cyklus. Probíhá nad pevninou, v krajinném měřítku a typem krajiny je výrazně ovlivňován. Jeho znalost umožňuje racionální využívání zdrojů vody pro nejrůznější účely, tj. vlastní vodní hospodářství (Klimo, 1994).

### 2.1.2 Výpar

Výpar je proces, při kterém dochází k přeměně vody z kapaliny na plyn či vodní páru. Výpar je základní cestou, kterou se voda dostává zpět z kapalné formy do oběhu vody jako vodní pára v atmosféře. Oceány, moře, jezera a řeky dodávají téměř 90 % vzdušné vlhkosti do naší atmosféry výparem, kdy zbývajících 10 % pochází z transpirace rostlinami.

Teplo (tepelná energie), přicházející ze slunce, je nutné (nutná) k tomu, aby došlo vůbec k vypařování. Tato energie obvykle naruší vazby mezi molekulami, které je drží pohromadě. To vysvětluje, proč se voda snadno vypařuje při bodu varu (100° C) a daleko pomaleji při bodu mrazu (0° C). Když relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 % (stav nasycení), výpar nemůže probíhat. Vypařování spotřebovává teplo z okolí (S. H. Schneider, 2009).

### **2.1.3 Výpar a oběh vody**

Výpar z oceánů je primární cestou, kterou se voda dostává do atmosféry. Rozlehlá plocha oceánů (přes 70 % zemského povrchu pokrývají oceány a moře) umožňuje vypařování ve velkém měřítku. V globálním měřítku je množství vypařené vody shodné s objemem vody vracejícím se na Zemi ve formě srážek. To je však z geografického hlediska proměnlivé. Výpar převažuje nad oceány, zatímco na pevnině je množství srážek větší než výpar. Většina vypařené vody z oceánů spadne zpět do oceánu jako srážky. Pouze asi 10 % vypařené vody z oceánu je přeneseno nad pevninu a padá zde jako srážky. Molekula vodní páry zůstává ve vzduchu zhruba 10 dní (S. H. Schneider, 2009).

Voda, resp. vodní páry, se do atmosféry dostávají prakticky nepřetržitě výparem čili evaporací a transpirací. Evaporace vyjadřuje množství vody, které se vypaří za určitou dobu do ovzduší z povrchu půdy a z volné vodní plochy. Evaporace je proces fyzikální. Transpirace označuje výpar vody z rostlinných orgánů do ovzduší. Závisí na fyzikálních podmínkách prostředí a fyziologickém stavu rostlin. Proto transpiraci považujeme za fyziologický proces.

V našich zeměpisných šířkách převažuje transpirace nad evaporací, což svědčí o dostatečném množství biomasy v krajině. Celkový výpar z rostlin a půdy, tj. evaporaci spolu s transpirací označujeme termínem evapotranspirace.

### **2.1.4 Voda v atmosféře, vodní pára**

Voda se může za běžných meteorologických podmínek v atmosféře vyskytovat ve třech skupenstvích. Vodní pára se v ovzduší chová jako reálný plyn, tedy řídí se přibližně stanovenou rovnicí, pokud ovšem nejde o páru nasycenou. Množství vodní páry i vody v ostatních dvou skupenstvích je ve vzduchu prostorově i časově velmi proměnlivé. V atmosférických podmínkách může vodní pára přecházet v kapalnou vodu kondenzací nebo přímo sublimovat v led. (Bednář, 2003)

### **2.1.5 Kondenzace vodních par v ovzduší**

Kondenzace vodních par, tedy přechod vody ze skupenství plynného do kapalného, se projevuje vytvářením mikroskopických vodních kapek. Proces kondenzace začíná při dosažení stavu nasycení, který bývá v atmosféře nejčastěji spojený s poklesem teploty. V atmosféře dochází k poklesu teploty rozpínáním

vzduchových hmot při jejich výstupu. Jde o adiabatický proces, který probíhá bez výměny energie s okolní atmosférou.

Pro vznik vodních kapek v ovzduší je nezbytná přítomnost mikroskopických kondenzačních jader. Ta jsou hygroskopická a podchlazená. V atmosféře se vyskytují vždy a to v počtu od asi  $1.000 \cdot \text{cm}^{-3}$  vzduchu nad oceánem a více než  $1.000.000 \cdot \text{cm}^{-3}$  v průmyslových aglomeracích. Jejich počet výrazně klesá s rostoucí výškou. Původ kondenzačních jader je různý, ale v současnosti převládá počet jader antropogenního původu (např. produkty spalování či hoření).

Vznikající mikroskopické kapky mají tendenci shlukovat se do větších oblačných kapek nebo ledových krystalků. Jejich velikost je daná poloměrem 1-10  $\mu\text{m}$ . Při jejich nahromadění dochází ke vzniku oblaků. Vodní kapky se udržují v určité výšce díky vzestupným proudům v atmosféře.

V nižších výškách, do teplotní hladiny  $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  jsou oblaka tvořena jen vodními kapkami. S rostoucí výškou a stále se snižující teplotou v oblacích přibývá ledových jader. Od výšky, která odpovídá teplotní hladině  $-12 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a která je označena jako hladina ledových jader obsahuje oblaka výhradně ledová jádra.

Všechna oblaka jsou tedy tvořena atmosférickou vodou v kapalném nebo pevném skupenství. Vodní obsah oblaků vyjadřuje množství vody, které se v nich nachází v tekutém nebo pevném skupenství. Absolutní hodnoty jsou poměrně nízké, neboť na  $1 \text{ m}^3$  připadá 0,2-5,0 g vody (Vysoudil, 1997).

## **2.2 Vylučování srážek z oblaků**

Všeobecně platí, že srážky nevypadávají z oblaků stejnorodého složení, tvořených pouze ledovými krystalky nebo vodními kapénkami. V takových oblacích nejsou podmínky k narůstání částic. K uvolňování a vypadávání srážek musí být splněn předpoklad, že postupným zvětšením hmotnosti částic jsou překonány síly, působící v rámci vzestupného proudění vzduchu proti propadávajícím částicím.

Částice malých rozměrů (0,5-20  $\mu\text{m}$ ) jsou stále strhávány i velmi malým prouděním a ve vzduchu se vznášejí. K udržení částic v rovnováze (bez tendence propadávání) je potřeba tím větší rychlost výstupných proudů, čím větší hmotnost má částice.

Dešťové kapky mohou vypadávat do průměru 7 mm. Větší se třítí ne menší. Proto také při rychlosti výstupních proudů nad  $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dešťové srážky vůbec nevypadávají. Mohou však vypadávat kroupy (Havlíček, 1986).

### 2.2.1 Atmosférické srážky

Termínem atmosférické srážky rozumíme částice, které vznikly v atmosféře následkem kondenzace vodní páry a které se vyskytují v atmosféře, na zemském povrchu nebo na předmětech v kapalném nebo pevném skupenství (Vysoudil, 1997).

Takové srážky se označují jako vertikální a k zemi vypadávají nejčastěji jako déšť, mrholení, déšť se sněhem, sněhová krupice a kroupy. Vedle toho mohou vypadávat jako sněhové nebo ledové krupky, zmrzlý déšť a ledové jehličky.

Vertikální srážky se podle průběhu srážkového jevu dělí na: srážky trvalé, označované též jako krajinné, které mají sice menší intenzitu, ale vypadávají delší dobu a postihují vždy větší území; srážky přeháňkové, které mají větší intenzitu a kratší trvání, opakují se však během krátké doby vícekrát; srážky a mrholení, které jsou nejméně intenzivní formy vertikálních srážek, vypadávajících ze stratů (drobné kapičky o rozměrech 0,05-0,5 mm se v ovzduší vlivem i nepatrných vánků pohybují všemi směry), (Havlíček, 1986).

Srážky  $H_s$  vznikají kondenzací vodních par na kondenzačních jádrech. Jsou sledovány a uváděny denní úhrny srážek, měsíční, vegetační a celoroční úhrny srážek v mm. Pro klimatické účely jsou uváděny průměrné srážkové úhrny z dlouhodobých pozorování. Je-li délka období, ze kterého je průměr srážek určen delší než 50 let, je takový údaj nazýván srážkovým normálem. Srážkové údaje za dlouhá období lze pracovat statistickými metodami.

Intenzitu deště lze určit z ombrografického záznamu. Při deštích klesá průměrná intenzita deště s rostoucí dobou trvání deště  $t$ . Určité intenzity se vyskytují více nebo méně často, což je vyjádřeno periodicitou. Při dešťové srážce část vody se zadrží na nadzemních částech rostlin. Tento jev se nazývá intercepce a zadržené množství může činit i 10% z dopadajících srážek, při menších úhrnech srážek může být intercepce i větší než srážka. Voda ze srážek, která se dostane na povrch území, vsakuje do půdy. Pokud její dopadající množství (intenzita srážky) je větší, než je rychlost vsaku, zůstává nevsáklé množství na povrchu půdy. Postupně vyplňuje mikrodeprese a je-li povrch území ve sklonu, odtéká, spojuje se v drobných stružkách z okolních makrodepresí a

vytváří tzv. povrchový odtok. Ta část srážek, která vytváří tento odtok, je nazývána efektivní srážkou povrchového odtoku (Fidler, Jůva, 1983).

Erozní účinek srážek (erozivita srážek) je dán jejich kinetickou energií. Bývá někdy označován jako index erozivity (Ed). Je funkcí intenzity deště a jeho trvání a hmotnosti, průměru a rychlosti dopadu vodních kapek. Ke zjištění vlivu erozního účinku deště, daného jeho kinetickou energií, je nutno znát rozdělení velikosti dešťových kapek. Kapky o průměru menším než 0,28 mm zachovávají při pádu tvar koule. Kapky o průměru 0,28 – 1 mm mají tvar elipsoidu, u kapek větších dochází k prohnutí spodní plochy dovnitř a počínaje průměrem 5,8 – 6 mm se kapky stávají nestabilními se zvýšenou náchylností k rozpadu. Při fázi rozpadu se vzniklý toroid (prostorové těleso ve tvaru prstence se stejnou plochou kruhového příčného profilu), jehož průměr je 8 až 10krát větší než průměr původní kapky, rozpadá na větší počet (až 12) kapek menšího průměru.

Další charakteristikou, která rozhoduje o energetických vlastnostech dešťů a jejich přetvárném účinku na půdní povrch, je rychlost pádu kapek. Pád kapky představuje zpočátku zrychlený pohyb, který trvá do doby, než dojde k vyrovnání mezi tíhou kapky a odporem, který jejímu pohybu klade vzduch (Janeček a kol., 2005).

Měření prokázalo, že horní hranice průměru dešťových kapek je 5 mm. Kapky o průměru > 5 mm se při letu rozdělují na větší počet menších kapek. Velké kapky mohou na povrch reliéfu dopadnout podle různých měření maximální rychlostí až 9 m. s<sup>-1</sup> a při dopadu na nechráněný povrch jsou půdní částice jejich dopadem vymrštěny do výšky až 40 cm. Po úderech kapek se na povrchu půdy mohou vytvořit malé kráterky o průměru 3 – 6 mm a na jejich obvodě se vytvářejí miniaturní valy z vymrštěného materiálu, kdy působením bombardující a povrchově odtékající vody se tvoří zemní pyramidy. Při silném dešti může na 1 m<sup>2</sup> spadnout až 1300 kapek o průměru 1 mm při rychlosti dopadu 4,4 – 5,8 m. s<sup>-1</sup>.

Přívalové srážky o vysokých intenzitách zpravidla postihují menší území o rozloze 10 – 70 km<sup>2</sup>, maximálně 200 km<sup>2</sup>. V členitém horském reliéfu i toto malé území může postihnout celé povodí a podmínit tak katastrofální odtok vody a následnou erozi (Buzek, 1983).

Na rychlost letu vodní kapky má vliv gravitace a odpor vzduchu. Kapka padá volným pádem zvětšující se rychlostí do okamžiku, v němž nastane rovnováha mezi gravitační silou a odporem vzduchu, a pokračuje v letu konstantní rychlostí. Tato konečná rychlost záleží na velikosti a tvaru kapky. Vliv větru je výraznější při

regionálních srážkách s menším průměrem kapek než u přívalových dešťů vyznačujících se většími kapkami (Holý, 1994).

Vsáklé množství vody do půdního profilu postupně vyplňuje volné půdní póry, především kapilární. Po jejich zaplnění odtéká voda většími gravitačními póry do větších hloubek a může vytvářet zásoby podzemní vody. Často tato část prosakující vody odtéká gravitačními póry mimo místo vsaku a vytváří tak podpovrchový odtok. Rozhodujícím faktorem rozdělení srážkové vody na povrchový a podzemní odtok včetně vytváření zásob podzemní vody je proces vsaku do půdy (infiltrace).

Ta část deště, která vytváří skutečný odtok je nazývána efektivním deštěm. Stanovení efektivního deště je velmi obtížné, ale velmi důležité, chceme-li správně posoudit velikost odtoků (Fídlér, Jůva, 1983).

### 2.2.2 Přívalové srážky

Pro intenzitu erozních procesů je ve většině případů rozhodující odtok z přívalových dešťů. Přívalové deště, charakterizované vysokou intenzitou a krátkou dobou trvání, vyvolávají maximální odtok na malých a velmi malých povodích. Na velkých povodích jsou maximální odtoky vyvolány převážně táním sněhu (velký jarní odtok), popř. v kombinaci s dešti. Hranici mezi malým a velkým povodím určuje tady maximální zasažená plocha přívalovým deštěm nejdelší doby trvání. Tato hranice se pohybuje v širokém rozmezí 30 až 250 km<sup>2</sup>. Velmi malá povodí se svým charakterem blíží elementárním odtokovým plochám, jejich velikost se obvykle uvažuje do 1 až 5 km<sup>2</sup> (Holý, 1994).

Při posuzování eroze půdy a povodí na malých tocích, jsou důležité jednotlivé deště, zvláště deště přívalové. Jsou charakterizovány délkou trvání, zpravidla udanou ve vteřinách, respektive v minutách a celkovým úhrnem srážky  $H_s$  a intenzitou deště (průměrnou, příp. maximální). Zasahují poměrně malé rozlohy 10 – 70 km<sup>2</sup>, max. 200 km<sup>2</sup> a mají krátké trvání 900 – 1800 s (15 – 30 min) a mají vysokou intenzitu okamžitou až  $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 17 \text{ m}^* \cdot \text{s}^{-1} = 170 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ , ale i čtyřnásobek této hodnoty (Fídlér, Jůva, 1983).

Pro potřebu protierozní ochrany je důležité znát výskyt a rozdělení erozně účinných srážek. Rozhodující jsou vydatné přívalové srážky, které se vyskytují v podmínkách České republiky převážně v období od konce dubna do října. Pro vyhodnocení četnosti výskytu takových srážek byly vybrány denní srážkové úhrny o vydatnosti nad 10, 20 a 30 mm. Výsledky ukazují na rostoucí trend výskytu vyšších

denních srážkových úhrnů, zejména s vydatností nad 20 mm. Při hodnocení senzuality výskytu denních srážkových úhrnů nad 10 mm byl zjištěn rostoucí trend v měsíci dubnu, tedy v době, kdy je půda erozně nejvíce ohrožená. Z tohoto zjištění vyplývá, že nebezpečí výskytu erozních jevů se může zvýšit, přestože roční úhrny srážek vykazují mírný klesající trend. Z výsledků vyplývá, že vyšší denní srážkové úhrny nemusí mít vždy charakter erozně nebezpečných dešťů (Toman, 1997).

Proudící přívalové deště mají rozhodující význam. Wischmeier a Smith uvažovali srážky nad 12,5 mm a s intenzitou vyšší než 24 mm. h-1, které mohou být klasifikovány jako deště s erozní schopností. Při rozboru rajonizace průměrných ročních hodnot faktoru erozní efektivity proudících přívalových dešťů se jako dostačující vzaly v úvahu srážky nad 10 mm s intenzitou větší než 20 mm. h-1. Výsledky byly získány z hodnot přívalových srážek, které se vyskytovaly od konce dubna do začátku října a jsou klasifikovány jako erozně nebezpečné (Toman, 1992).

V některých horských oblastech dochází působením přívalových dešťů k pohybu suťových proudů, které ohrožují technické stavby i celá města. Rekreační hodnota erodovaného území, zejména zanesením vodních toků a vodních nádrží, se značně zmenšuje. Erodované břehy toků a vodních nádrží jsou pro rekreaci nevhodné.

V protierozní ochraně se podle Hellmanna považují obvykle v mírném klimatickém pásmu za přívalové deště s dobou trvání do 180 minut s výškou 10 až 80 mm. V podmínkách České a Slovenské Republiky je trvání přívalových dešťů zřídka delší než 3 hodiny, střední doba trvání největších přívalů bývá 15 až 20 minut, jen výjimečně delší než 30 minut. V průběhu deště kolísá jeho intenzita, z počátku je obvykle malá, rychle se zvyšuje do maxima, ke konci deště opět klesá. Zvětší-li se intenzita deště po dočasném poklesu, označuje se dešť jako dvojnásobný, trojnásobný atd. Přívalové deště se vyskytují nejvýše trojnásobné. (Cáblík a Jůva, 1963)

## **2.3 Eroze**

### **2.3.1 Pojem eroze půdy**

Slovo "eroze" je latinského původu a je odvozené od slova "erodere" - rozhlodávat. V nejširším smyslu slova pojmem "eroze" rozumíme rozrušování litosféry, resp. pedosféry pohybující se hmotou erogenního původu. V současné době se eroze definuje jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a



sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody, větru, ledu a jiných tzv. erozních činitelů (Janeček, 2008).

Eroze je jevem, který se uplatňuje i bez vlivu člověka - eroze přirozená (geologická). Vinou člověka se však tento jev plošně rozšířil a současně intenzifikoval - dochází ke ztrátě půdy vyšší, než je schopno se na daném místě v daném čase vyvinout přirozenými procesy - zrychlená eroze. Hlavními faktory podmiňujícími vznik zrychlené eroze jsou: odlesnění, klimatické poměry, morfologické poměry především sklon a délka svahů, vegetační, geologické, půdní poměry a způsob využívání krajiny (nadměrná pastva, nevhodné agrotechnické postupy...). (Sklenička, 2003)

Problém eroze je problémem celosvětovým a je mu nutno věnovat prvořadou pozornost. Vodní a větrná eroze patří mezi nejškodlivější přírodní jevy. Je nezvratnou skutečností, že škodlivým účinkům eroze nelze v našich klimatických podmínkách zcela zabránit. Nelze počítat s tím, že bude možné erozi půdy zcela zastavit, je ale nutné ji omezit na hodnotu tzv. přípustného smyvu, kdy ztráta půdy erozí je v rovnováze s procesem její tvorby. (Toman, 1996)

Půdní eroze ochuzuje zemědělské půdy o nejúrodnější část - ornici, zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje štěrkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozují plodiny a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv a sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin. Velké povodňové průtoky poškozují budovy, komunikace, koryta vodních toků apod. V případě větrné eroze jde o narušování zejména klíčících rostlin, znečištění ovzduší, škody navátím ornice apod. (Janeček, 2008).

Erozi lze charakterizovat jako přírodní proces, při kterém působením vody, větru, ledu, příp. jiných činitelů dochází k rozrušování povrchu půdy a transportu půdních částic. Eroze je proces reliéfový starší než pohoří tvořená sedimentárními horninami. Záznamy o degradaci půdy erozí jsou staré více než 7000 let. Poznání, že člověkem zrychlená eroze jej může ohrozit, je však relativně nové a věda o protierozní ochraně byla ještě před začátkem dvacátého století téměř neznámá (Dufková a Toman, 2005).

Půdu degraduje především vodní a větrná eroze a uvolněné částice půd nebo zemin mohou dále znečišťovat ve formě sedimentu vodní povrchové zdroje, nebo zasypávat různá technická zařízení nebo zemědělské kultury. Vztahy mezi erozí a sedimentací a zásahy člověka do těchto vztahů často vyúsťují v porušení rovnováhy mezi uváděnými procesy v jiných částech povodí. (Buzek, 1983)

Erozně je ohroženo a každoročně devastováno erozí 50% orné půdy, což je cca 1 500 000 ha. Jsou orány i mělké půdy, které mohou být již zcela smyté nebo u kterých lze naměřit posun o jeden stupeň hloubky půdy (z 60 cm na 30 a méně). (Váchal, Mazín, Dumbrovský, 2005).

Eroze se dá rozlišit na normální, neboli geologickou (přirozenou) a erozi zrychlenou. Úkolem ochranných opatření je snížení lidským působením zrychlené eroze na úroveň normální, geologické eroze. Je známo, že klima má značný vliv na rychlost eroze. Neuvažujeme-li vliv reliéfu, který je bezesporu největší, je známo, že eroze bývá nejrychlejší v semiaridním klimatu. (Bennet, 1939)

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

### 2.3.2 Druhy eroze

Podle erozních činitelů je možné erozi třídit na erozi vodní (akvatickou, či fluviální), větrnou (eolickou) ledovcovou (glaciální), sněhovou (nivální) atd. Působením exogenních činitelů eroze vznikají na svazích, resp. na zemském povrchu určité útvary. Třídění erozních jevů podle těchto útvarů, tzv. forem, naráží na celou řadu překážek, neboť eroze je jen jednou z forem modelování území. I přes tyto těžkosti lze podle formy erozních útvarů usuzovat na původ, intenzitu, vývoj a možnosti ochrany půd před erozí (Janeček, 2008).

Podle činitele, který způsobuje vznik a působí na průběh erozních procesů, rozeznáváme erozi vodní, ledovcovou, sněhovou, větrnou, zemní a antropogenní. (Zachar, 1970)

Eroze půdy se dělí podle různých hledisek:

- činitele (faktorů)
- formy
- intenzity

## - škodlivosti eroze

Uvedené druhy eroze se mohou vyskytovat buď samostatně, nebo ve vzájemných kombinacích. Podle toho jsou vznik, průběh, intenzita, forma a škodlivost erozních procesů různé. V podmínkách ČR způsobuje největší škody vodní a větrná eroze, obě ovlivněné a často zesílené činností člověka (antropogenní činností). (Holý, 1994).

### **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 přívalovém 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. (Holý, 1978)

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)

### **Ledovcová eroze**

Ledovcovou erozi způsobují ledovce pohybující se působením tíže do údolí. Při pohybu vynakládá ledovec převážnou část energie na erodování skalního podloží, které jednak obrušuje a vyhlazuje, jednak rýhuje valouny zamrzými v ledu. Ledovec strhuje a unáší do nižších poloh velké množství horninných zvětralin, jež po uložení vytvářejí morény. (Holý, 1978)

Celkové činnosti ledovců, která závisí na spádu terénu a rychlosti ledovcového pohybu, na klimatu, tloušťce ledovce i váze jeho celkové hmoty, napomáhá také mráz, který fyzikálně rozrušuje skály na ledovcovém okraji, kde teplota často kolísá kolem bodu mrazu. Touto tzv. tříštivou erozí vznikají v ledovcovém podkladu vždy nové nerovnosti a vyvýšeniny, jež jsou při silnějším pohybu ledovce opět postiženy a zbroušeny. Takto postup ledovcové eroze působí do hloubky. Vytvořenou suť dopravuje ledovec do nižších poloh a tvoří jejich ukládáním nánosy, zvané morény.

Ledovcová eroze se v současné době omezuje na velehorské polohy ad sněžnou hranicí, a je proto jevem u nás bezvýznamným a dnes se prakticky nevyskytujícím. Jejimi zřetelnými stopami z dob čtvrtohorního zalednění jsou však místní morénové sedimenty, například v Krkonoších, a bludné (eratické) balvany, které byly ledovci sneseny z hor. (Cáblík, Jůva 1963)

### **Sněhová eroze**

Sněhová eroze vzniká při pohybu velkých sněhových hmot směrem do údolí. Je možno ji pozorovat při výskytu lavin, kdy společně při pohybu sněhu dochází i k erodování hornin a jejich transportu. U nás je možno tento jev pozorovat v pohořích, kde se laviny vyskytují např. v Krkonoších (Holý, 1994).

### **Větrná eroze**

Větrná eroze je působena mechanickou silou větru a záleží v rozrušování půdní hmoty a v odnosu (deflaci) uvolněných částic původní polohy do polohy jiné, kde pak vznikají navátiny. Tato rušivá činnost větru je velmi škodlivá a nebezpečná, zejména v oblastech suchého klimatu a na výsušných půdách prašné struktury.

V zásadě se může větrná eroze vyskytovat po celý rok, nejškodlivější však bývá na jaře, které následuje po suché, sněhem chudé zimě. Z holých nebo vegetací málo pokrytých polí strhuje silný vítr vyschlou ornici, jemný písek i hnojiva, přenáší je do značné vzdálenosti a ukládá v závětrí na sousedních polích, v územních propadlinách, v příkopech a podobně. Půda bývá odvívána zvláště silně na stepních, původně zatrávněných územích, jež byla později zorána a přeměněna na pole. (Cáblík, Jůva, 1963)

## **Zemní eroze**

Zemní eroze je pohyb větších zemních hmot vlivem gravitace po spádnicí nebo v již vytvořené údolnici. Pohyb zemní hmoty může být značně rychlý až km/h. Tento rychlý pohyb zeminy smíšené s vodou se nazývá bahnotok a často se řadí mezi přírodní katastrofy. V ČR se nevyskytuje (Holý, 1978).

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)

## **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 nepřímou i přímo. 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)

### **2.3.3 Intenzita půdní eroze**

Intenzita eroze se vyjadřuje obvykle odnosem půdy v hmotnostních nebo objemových jednotkách (někdy ve výšce odnesené hmoty) z jednotky plochy za jednotku času. Jako měřítko intenzity výmolové eroze se často používá hustota rýh, výmolů a strží, vyjádřena jejich délkou na jednotku plochy. Podle intenzity rozlišujeme erozi normální a abnormální, neboli zrychlenou. Při normální erozi probíhají erozní procesy s malou intenzitou, ztráta půdních částic je doplňována tvorbou nových částic z půdního podkladu. Mocnost půdního profilu se nesnižuje, mění se však zrnitostní složení vrchního půdního horizontu, který se stává hrubozrnnějším. Při zrychlené erozi se smývají půdní částice v takovém rozsahu, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem z půdního podkladu. Vzniká ostře modelovaný tvar povrchu. (Holý, 1978)

## **Normální eroze**

Při normální erozi probíhají erozní procesy s malou intenzitou, ztráta půdních částic je doplňována tvorbou nových částic z půdního podkladu. Mocnost půdního profilu se nesnižuje, mění se však zrnitostní složení vrchního půdního horizontu, který se stává hrubozrnnějším. K normální erozi se řadí eroze sezónní, která se projevuje v části území v sezóně, v níž je půda kryta erozně málo chránící plodinou, a mikroeroze, při níž dochází k uvolňování půdních částic a rostlinných živin z místních vyvýšenin a k jejich přemístění na malé vzdálenosti. Sezónní eroze se projevuje snížením úrodnosti půdy, mikroeroze se projevuje nestejnorodostí sklizně.

## **Zrychlená eroze**

Při zrychlené erozi se smývají půdní částice v takovém rozsahu, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem z půdního podkladu. Vzniká ostře modelovaný tvar povrchu území (Holý, 1978).

Kumulativní nepříznivé efekty vlivem zrychlené eroze jsou samozřejmě různé na různých půdách, jiné na spraších a jiné na mělkých půdách, kde mohou vyvolat ireversibilní změny, které již nepůjdou maskovat zvýšenými technologickými vstupy tak, jak se to zatím daří na půdách s kvalitními půdními horizonty (Dumbrovský, 1992).

Obecně se uznává, že zrychlená eroze půdy je vážným světovým problémem. Obtížně však je určit rozsah, velikost a rychlost půdní eroze a její důsledky pro hospodářství a životní prostředí (Janeček a kol., 2005).

### **2.3.4 Rozšíření eroze**

Zrychlená eroze půdy je vážným celosvětovým problémem. Odhaduje se, že množství sedimentů odnášených do oceánů vzrostlo před zavedením intenzivního zemědělství z 10 miliard tun za rok na 25 – 50 mld. tun ročně v současnosti. Za tu dobu bylo erozí zničeno 430 mil. ha produktivních ploch. Současná degradace půdy erozí vede k nevratné ztrátě produkce na ploše 6 mil. ha . rok<sup>-1</sup> úrodné půdy. Ztráta zemědělské půdy erozí se odhaduje na 3 mil. ha . rok<sup>-1</sup>. Podle OSN produkce plodin na 20 mil. hektarů klesne na nulu nebo se stane neekonomickou z důvodu degradace půdy erozí. Odhady ztrát půdy erozí ve světovém měřítku kolísají mezi 0,088mm . rok<sup>-1</sup> a 0,3mm . rok<sup>-1</sup>. (Janeček a kol., 2002)

V humidních oblastech převažuje plošná eroze, zatím co v aridnějších oblastech, kde se dešťové srážky vyskytují jako krátkodobé intenzivní přívaly, je zdrojem

největších ztrát půdy výmolná eroze. Materiál smytý plošnou erozí je zpravidla jemné zrnitosti, unášený v suspendovaném stavu. Eroze výmolná je obvykle zdrojem materiálu větší zrnitosti a může být z hlediska ukládání nánosů významnější než eroze plošná (Montgomery, 2007).

Větrná eroze (eolická) působí škody rozrušováním půdního povrchu mechanickou silou větru (abrazí), odnášením rozrušených půdních částic větrem (deflací) a ukládáním těchto částic na jiném místě (akumulací). Procesem větrné eroze jsou na zemědělské půdě působeny škody odnosem ornice, odnosem hnojiv, osiv a ničením plodin. Další škody vznikají zanášením komunikací, vodních toků a jiných objektů, včetně znečišťování ovzduší, neboť nejjemnější půdní částice se větrem dostávají do ovzduší a mohou být příčinou i vzniku tzv. prašných bouří. Jemný prach pak vniká do místností, vyvolává plicní onemocnění, vyřazuje z provozu stroje apod. (Janeček a kol., 2004).

### **2.3.5 Eroze v České republice**

Podmínky pro výskyt erozních procesů v České republice jsou specifické, neboť při přechodu na velkovýrobní způsob zemědělského obhospodařování půd byl problém eroze značně podceněn. Zemědělské využívání oraných pozemků přináší sebou několikanásobné zvýšení intenzity erozních procesů. Následky zrychlené eroze vážně ohrožují nejen úrodnost půd, ale působí mnohamilionové škody v intravilánech obcí, v tocích a vodních nádržích. Podle Pasáka (1984) je v České republice ohroženo celkem 42% zemědělských půd erozí z toho 31% erozí vodní, přičemž je nejvíce v ČR ohrožena vodní erozí orná půda – 54%. (Toman, 1996)

Eroze půdy je přírodní proces, jehož intenzitu lze výrazně omezit a tak umožnit trvalé využívání půd k pěstování zemědělských plodin. V našich podmínkách je protierozní ochrana zvláště nutná na svazích s mělce uloženým skalním podložím a s vysokým obsahem štěrku. Na území naší republiky je téměř polovina ploch orné půdy různým stupněm ohrožena erozí a vyžaduje důslednou protierozní ochranu. Kromě toho se odhaduje, že asi 7,5 % orných půd je ohroženo větrnou erozí.

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 podceněn a následky zrychlené eroze zemědělských půd vážně ohrožují jejich úrodnost, včetně mnohamilionových škod v intravilánech měst a obcí, způsobovaných povrchovým

odtokem a smyvem půdy ze zemědělských pozemků. Přehlížet nelze ani časté škody větrnou erozí (Janeček a kol., 2004).

## **2.4 Vodní eroze**

### **2.4.1 Vodní eroze obecně**

Vodní eroze je velmi složitý jev, na jehož vzniku a průběhu se podílí celá řada faktorů. Po stránce kvalitativní je jí možno charakterizovat úbytkem půdní hmoty na plošné jednotce povrchu půdy za určité časově vymezené období (Toman, Sanetník, Filip, 1994)

Svahy hor, zářezy strží, kaňony i široká údolí s koryty vodních toků jsou výsledkem dlouhodobé přirozené modulační činnosti tekoucí vody. Voda rozrušuje povrch, aby uvolněný materiál odnesla do nižších poloh, kde ho zanechává v podobě sedimentů. Tento proces, nazývaný vodní eroze, probíhá většinou nepozorovaně, ale následkem intenzivních dešťů se může proměnit v pohyb hmoty katastrofálních rozměrů. Vodní erozi ovlivňují přírodní podmínky, především intenzita srážek, sklony svahů, erozní náchylnost půd a vegetační pokryv. Ve srovnání se světem má naše přírodní krajina poměrně nízký erozní potenciál. Nemáme příkré velehorské svahy, ani tropické přívalové srážky a navíc přirozená lesní vegetace původní krajiny poskytovala před nadměrnou erozí značnou ochranu. Převládající zemědělský ráz krajiny s často vysokým podílem orné půdy, nevhodné způsoby lesního hospodaření a nové antropogenní tvary však zvýšili erozní náchylnost naší krajiny. Přirozená míra odnosu pevných i rozpuštěných látek je v dnešních podmínkách značně překračována a stala se nebezpečným procesem (Blažek et al. 2006).

Vodní eroze je vyvolána hlavně mechanickou silou povrchově tekoucí vody, a to buď jen občasných vodních proudů, jež vznikají po prudších deštích a sněhovém tání, nebo vodou tekoucí trvale a soustředěně v bystřinách, potocích a řekách. Stojaté vody (rybníky, jezera, moře) způsobují erozi jenom za vlnobití, při němž vlny hnané větrem – a u moře také přílivem – erodují pobřeží. Podzemní voda může vyvolat výraznou erozi chemickou, v krasových útvarech také mechanickou, jestliže se vytvoří soustředěné podzemní proudy. Bývá dále příčinou půdního sesouvání, které často provázejí erozní jevy.



Hlavním znakem vodní eroze je, že tekoucí voda splachuje, vymílá a odnáší půdu a přemísťuje ji na jiná místa, kde se takto erodované hmoty usazují (sedimentace) a hromadí (akumulace). Tento erozní jev vzniká nejčastěji v oblastech, v nichž občasné deště přívalového charakteru nebo náhlá tání sněhu vyvolávají prudké povrchové odtoky, které pak erodují sklonité a náležitě nechráněné polohy. Při vzniku a během vodní eroze se ovšem uplatňují různé podmínky, jako jsou vzdušné srážky, územní reliéf, druhy a typy půdy, její vegetační kryt aj., jež pak rozhodují o jejím druhu, působnosti a účincích.

Povrchový odtok též rozpouští a odplavuje soli, a tím půda ztrácí rostlinné živiny, ať už vzniklé přirozeně, nebo dodané jako průmyslová hnojiva. Škodí tedy i slabý povrchový odtok, který ještě nemůže odnášet půdní zrna. Kromě toho povrchový odtok nepříznivě zasahuje do rovnoměrného rozložení vláhy, neboť svahy ochuzuje a údolí obohacuje o vodu. Ochrana před erozí je proto vždy též ochranou půdní vláhy (Cáblík, Jůva, 1963)

Vodní eroze ochuzuje zemědělské půdy o jejich nejurodnější podíl, zhoršuje fyzikální vlastnosti půd. Eroze dále zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, způsobuje ztráty osiva a sadby a znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích rozrušených erozními rýhami. V důsledku snížení počáteční akumulace a infiltrace srážkové vody se zvyšuje povrchový odtok, který následně ohrožuje níže ležící území (pozemky, budovy, komunikace). Chemické látky jež jsou vázány na sedimenty, zhoršují jakost povrchových vod. Zanedbání protierozní ochrany má proto za následek, vedle nevratné degradace půdního fondu a ostatních škod (zejména v intravilánech obcí), také zvýšené náklady ve vodním hospodářství, spojené s odtěžováním nánosů a úpravou vody.

Podmínky pro působení vodní eroze zemědělských půd jsou v České republice mimořádné také tím, že v minulosti při kolektivizaci a intenzifikaci zemědělské výroby došlo ke zcelování pozemků do velkých celků, navíc v morfologicky rozmanitém terénu a tento stav víceméně přetrvává dodnes. Podle výzkumu VÚMOP Praha je více než polovina plochy zemědělské půdy v ČR ohrožena v různé míře vodní erozí (Soukup, 2006).

#### **2.4.2 Příčiny vodní eroze**

Vodní eroze probíhá jako následek intenzivních srážek. V první fázi erozního

procesu působí kinetická energie dopadajících vodních kapek tím, že rozrušuje povrch nechráněné půdy a rozplavuje vodní agregáty. Vzniká tak povrchová vrstvička půdy, která omezuje vsakování, takže voda začne brzy stékat po povrchu. Začíná transport materiálu spojený s dalším rozrušováním proudící vodou. Erozně působí i odtok půdní vody (tzv. hypodermický odtok) probíhající blízko pod povrchem. Příčinou eroze půdy může být i intenzivní odtok po rychlém tání sněhu.

Z plošné eroze, při níž dochází ke smyvu půdní vrstvy na ploše svahu, se vyvíjí rýhová až brázdová eroze, kdy se na svahu vytváří hustá síť úzkých zářezů v půdním povrchu, do kterých se pak soustřeďuje povrchový odtok vody. Koncentrovaný odtok může vést ke vzniku erozních výmolů až strží značných rozměrů (Blažek et al., 2006).

Vznik, průběh a intenzita erozního procesu je ovlivněna kombinovaným působením řady přírodních a člověkem ovlivněných podmínek. Tyto tzv. faktory eroze lze rozdělit na:

#### Klimatické a hydrologické

- zeměpisná poloha
- nadmořská výška
- množství, rozdělení a intenzita srážek
- teplota, oslunění, výpar, odtok
- výskyt, směr a síla větrů

#### Morfologické

- sklon území
- délka a tvar svahu
- expozice, návětrnost

#### Půdní a geologické

- povaha horninového substrátu
- půdní druh a typ
- textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvení, obsah humusu

#### Vegetační

- hustota a délka trvání pokryvu

#### Způsob využívání a obhospodařování půdy

- poloha a tvar pozemků
- směr obdělávání
- střídání plodin

(Janeček, 2008)

## **Klimatické a hydrologické faktory**

Tento faktor je charakterizován zeměpisnou polohou, nadmořskou výškou, teplotou ovzduší, srážkami, výparem, vlhkostí vzduchu, směrem a silou větrů a povrchovým odtokem. Z hlediska protierozních opatření se bere v úvahu především výskyt, rozdělení a intenzita srážek a utváření a průběh povrchového odtoku. Za nejdůležitější činitel způsobující vodní erozi lze jednoznačně určit srážky, z nichž mají největší erozní dopad především srážky přívalové, jejichž erozní účinek, způsobený povrchovým odtokem o značné intenzitě, je zesílen účinky kinetické energie dešťových kapek na půdní povrch, na němž tyto srážky rozbíjejí půdní agregáty a připravují stékající vodě materiál k odnosu. Přívalové srážky jsou charakterizovány značnou intenzitou, krátkou dobou trvání, omezeným plošným rozsahem a ve středoevropských podmínkách převážným výskytem v horkém letním období (Holý, 1978).

## **Morfologické faktory**

Morfologický faktor je charakterizován především sklonem a délkou svahu, jeho tvarem a expozicí (HOLÝ, 1978).

Vodní erozi podmiňuje povrchový odtok vody po svažitém území. Stékající voda nabývá s nárůstem sklonu a délky svahu – za předpokladu trvání deště – vyšší rychlost a vyšší tangenciální napětí, což má za následek její vyšší destrukční účinek na půdní povrch. Intenzita erozních procesů se zmenšováním sklonu značně snižuje, až dokud rychlost vody a její tangenciální napětí neklesne na hranici, při které už nastává usazování půdních částic transportovaných po povrchu území.

Z průběhu erozních procesů vyplývá, že členitý reliéf území erozní činnost vody zvyšuje, protože podporuje soustředění povrchově stékající vody a způsobuje její rychlejší odtok (Váchal, Mazín, Dumbrovský 2005).

Orná půda se sklonem do 7° je považována za neohroženou nebo jen slabě ohroženou, od 4° do 10° za mírně ohroženou, od 8° do 15° za středně ohroženou a od 12° do 17° za silně ohroženou (Holý, 1978).

Stejně jako roste intenzita eroze se zvětšujícím se sklonem, roste i s větší délkou svahu. Vzájemné působení délky a sklonu svahu vedlo při návrzích protierozních úprav k určení maximální přípustné délky svahu, což je hranice, kdy se opět mění plošný odtok v soustředěný (Cáblík, Jůva, 1963).

## **Půdní a geologické faktory**

Geologické poměry území a vlastnosti půdy mají vliv na odolnost půdy vůči erozi a tím intenzitu erozních procesů. Působení geologických poměrů na vznik a průběh eroze se uplatňuje přímo, a to odolností obnaženého geologického podkladu vystaveného styku s tekoucí vodou a ovzduším, a nepřímo působením na povahu půdního substrátu, jehož vlastnosti jsou dány druhem geologického podkladu. Půdní poměry, jež jsou souhrnem jednotlivých vlastností půdy, se projevují působením na velikost a časový průběh infiltrace srážkové vody do půdy a působením na odolnost půdy vůči destrukčnímu účinku dešťových kapek, povrchově stékající vody a působením větru. Pro velikost a časový průběh infiltrace srážkové vody do půdy je rozhodující textura a struktura půdy a její vlhkost a zvrstvení, pro odolnost půdy vůči vodní a větrné erozi ještě zejména obsah humusu a nasycenost sorpčního komplexu (Holý, 1978).

## **Vegetační faktory**

Protierozní funkce vegetace spočívá v ochraně půdního povrchu před přímým dopadem dešťových kapek, v zastínění povrchu půdy, v udržení půdy v příznivějším vlhkostní a mechanickém zpevnění půdy kořenovým systémem. Ochranný vliv vegetace je tím větší, čím je porost hustší a čím déle během roku trvá (Pasák, 1984).

V zimním období napomáhá vegetace pravidelnému rozložení sněhové pokrývky a případně zmenšuje riziko promrznání půd. Nelze také opomenout zastíňovací účinek vegetace, který podstatnou měrou omezuje nežádoucí výpar z půdy a uchovává v ní příznivý vlhkostní stav mající vliv na stabilitu půdních agregátů (Holý, 1978)

Povrchový odtok z pozemků chráněných dobrým travním drnem činí 0,3 až 5,5% srážkového množství, zatímco ze zalesněné plochy za stejných podmínek 0,1 až 3,6% srážkového množství. Neprojevuje se tedy velký rozdíl mezi účinností lesního a travního krytu (Bennet, 1955)

## **Antropogenní faktory**

Hospodářsko-technické poměry záleží především na způsobu užívání a obhospodařování půdy, na volbě a polohovém rozmístění kultur, na jejichž zařazení do vhodného osevního postupu a na provedení různých technických zásahů; jsou důležitým činitelem, který může v kladném i záporném smyslu ovlivnit intenzitu erozních procesů. Eroze mívá největší intenzitu na půdách na nichž byl rozrušen původní porost, tedy

hlavně na zemědělských půdách zbavených porostu z různých důvodů. Každý zásah do přirozeného vegetačního krytu půdního povrchu je nutno posuzovat z hlediska možných důsledků (Holý, 1978)

Způsob využití přírodních zdrojů je určen stupněm rozvoje a uspořádáním společnosti; nejefektivnější využití vyžaduje, aby se veškeré zásahy do přírody prováděly v souladu s potřebou společnosti a s hlubokou znalostí přírodních zákonů. V příznivých sociálně ekonomických podmínkách s vysokou vzdělaností společnosti lze úspěšně řešit společenské vztahy k základním přírodním zdrojům – vodě a půdě, lze řídit organizaci půdního fondu a zemědělskou politiku i plánování a realizaci investiční výstavby tak, aby změny přinesly minimum nepříznivých důsledků, projevujících se ve zhoršení podmínek rozvoje společnosti ve vztahu k půdě a vodě, v rozšíření eroze a znečištění vodních zdrojů (Holý, 1978).

### **2.4.3 Rozdělení vodní eroze**

Podle toho, jak se projevuje vodní eroze na povrchu půdy se rozlišují formy eroze:

1. plošná eroze
2. rýhová eroze
3. výmolová eroze
4. proudová eroze
5. podpovrchová eroze

#### **Plošná eroze**

Plošná eroze je charakterizována rozrušováním, transportem a smyvem půdní hmoty na celém území. Plošná eroze je nejmírnější formou (též zvaná vrstevní), při které dešťová voda stékající po sklonité půdě tzv. plošným ronem smývá jemné částice souvislé, na pohled nepozorovatelné vrstevnice, a tak zeslabuje a znehodnocuje orniční vrstvu. Při plošné erozi je půda erodována téměř rovnoměrně po celé ploše pozemku nebo určité části svahu. Čím je plocha svahu rovnější, tím jsou podmínky pro soustředování vody menší. Avšak ani dokonale urovnaný povrch nemůže zabránit soustředování vody na svahu do rýžek a proto se dá plošná eroze těžko oddělit od rýžkové (Janeček a kol., 2005).

Dalším projevem plošné eroze může být za určitých podmínek (střídání málo odolných a odolných vrstev v půdním profilu) vrstevná eroze, při které voda odnáší

půdní hmotu po vrstvách. Obvykle způsobuje ztrátu celé orniční vrstvy. Vyskytuje se zejména v případech přívalových dešťů, po plošných záplavách a někdy i při nesprávném zavlažování zemědělské půdy (Holý, 1994).

### **Rýhová eroze**

Při déle trvajících srážkách a na dlouhých svazích se povrchově odtékající voda postupně soustředí a v půdním povrchu vytváří hustou síť úzkých zářezů (rýh), ve kterých transportuje rozrušené půdní částice. Tento stupeň plošné eroze se označuje termínem rýhová eroze. Při zvyšování objemu a rychlosti povrchově odtékající vody se rýhy spojují, přičemž vzniká řidší síť mělkých, ale širších zářezů v půdním povrchu – síť brázd. Tento stupeň eroze se označuje termínem brázdová eroze.

Při rýhové a brázdové erozi se vytvářejí zářezy v půdním povrchu značných rozměrů, nelze je tedy zahladit běžnou agrotechnickou operací např. orbou. Nápravné zásahy je možno zařadit již do prací rekultivačního charakteru. Poškození půdy je značné, stále se ale provádějí opatření na zachování zemědělské půdy (Váchal, Mazín, Dumbrovský, 2005).

### **Výmolová eroze**

Eroze výmolová neboli stržová nastává, jestliže srážkový odtok, soustředěný ve větší a rychle tekoucí proudy, vymílá na svahových polohách hluboké brázdy, výmoly a strže. Obyčejně následuje po erozi rýhové jako další vývojový stupeň, zanedbá-li se včasné odstranění vznikajících rýh. V četných případech však eroze počíná ihned výmolovou formou. Příčinou toho mohou být přirozené územní průlehy v polích, do kterých se soustřeďují dešťové a sněhové vody, dále nevhodně založené svahové cesty a příkopy, po spádu vedené pozemkové hranice, nesprávně umístěné ochranné lesní pásy, vozové koleje, lesní smyky apod. Také brázdy, vytvořené orbou po svahu, a meze nevhodného směru způsobují výmolovou erozi (Schneider, 2009)

Je možným pokračováním brázdové a rýhové eroze může vznikat i samostatně. Často ji zapříčiňují nezatravněné údolnice, v kterých se koncentruje povrchový odtok z kapalných i sněhových srážek, jako i nevhodně založené cesty, příkopy nebo koleje vyhloubené při jízdách zemědělské mechanizace po rozmočených pozemcích. Vzniká erozní strž, často takových hloubek a rozměrů, kdy již není možné navrátit plochu zemědělské výrobě a provádí se pouze asanace strží, tak aby erozní činnost nepokračovala (Kvítek, 2006).

U výmolové eroze jsou půdní částice oddělovány smykovým působením vody proudící po povrchu půdy a poklesem bočních stěn a malých zhlaví. Oddělené částice jsou transportovány kombinací válení, odskakování a suspendování. (Janeček, 1978)

### **Proudová vodní eroze**

V nížinných tocích nastává konečně říční eroze (proudová), která se projevuje prohlubováním řečišť, podemíláním břehů a svahovými sesuvy. Je účinná zejména za průtoku velkých vod a v úsecích s větším podélným sklonem a prudším proudem. 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, prohlubující podélné osy toku, břehová eroze je formou eroze, probíhající směrem kolmo na osu toku. Nejvýrazněji se projevuje proudová eroze v bystřinách, jež nesou obvykle velké množství splavenin. Posledním druhem proudové eroze je eroze způsobená vlnobitím, především na břehy velkých rybníků, vodních nádrží, jezer apod. (Holý, 1978).

### **Formy podpovrchové vodní eroze**

Podpovrchovou erozí se někdy označuje přemísťování půdních částic a živin z vrchních půdních horizontů do nižších, a to působením infiltrující srážkové vody. Tento proces však patří k normálním půdotvorným procesům a není vhodné označovat ho jako erozi.

V půdách podléhajících lehce destrukčnímu účinku vody, zejména ve spraších, dochází k vymílací činnosti podzemních vod, jež se hromadí na nepropustné vrstvě. Vznikají tunely, jež snižují stabilitu nadložních vrstev. Činnost vody vedoucí ke vzniku tunelů se označují jako tunelová eroze. Poněvadž dochází často k proboření stropu tunelů, čímž vznikají hluboké výmoly, zařazuje se tunelová eroze někdy do eroze výmolné (Holý, 1994).

Zvláštní formou podzemní eroze je tunelová eroze (sufoze), spočívající ve vymílání podpovrchových chodeb vodou nad nepropustným podložím. Konečným stádiem tunelové eroze jsou erozní rýhy, vzniklé probořením stropů (Janeček a kol., 2005).

#### 2.4.4 Rozšíření vodní eroze

Přes 50 % rozlohy orné půdy v České republice ohrožuje vodní eroze. Erozní ohroženost byla v minulosti zvýšena velkovýrobními systémy zemědělského hospodaření, které si vynutily změnu struktury krajiny spojenou s výrazným prodloužením délek svahů. Délka svahu spolu s jeho sklonem přitom představuje rozhodující morfologický faktor vzniku eroze na orné půdě. Orná půda se sklonem již nad 3° je ohrožována vodní erozí.

Na území republiky je 43 % orné půdy se sklonem 3-7°, téměř 10 % se sklonem 7-12° a 0,7 % se sklonem nad 12°. Z výsledků šetření Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy byla odvozená potenciální ohroženost zemědělských půd vodní erozí a vypočteny ztráty půdy. Přípustná mez erozní ztráty u středně hlubokých půd v České republice činí 4 t/ha/rok.

Eroze nejvíce ohrožuje zemědělské části Moravy, zvláště na jihu, kde je nepříznivě vysoký podíl erozně náchylné orné půdy. Eroze se ale vyskytuje i v mnoha dalších oblastech našeho území.

Největším zdrojem erozních smyvů je orná půda. Eroze ohrožuje také plochy stavenišť, příkré svahy antropogenních tvarů (komunikační násypy, haldy, navážky) a mechanizovanou těžbou dřeva poškozené lesní půdy.

Vodní eroze ohrožuje asi 5-10 % lesní půdy. V erozně náchylných lokalitách na flyšovém podloží Moravskoslezských Beskyd bylo zjištěno, že používání lesních traktorů pro přibližování dřeva zvyšuje (Blažek et al., 2006).



### **3 CÍL PRÁCE**

Cílem práce je porovnat různé metody výpočtu vodní eroze na konkrétním modelovém povodí. První metodou bude výpočet vodní eroze pomocí univerzální rovnice ztráty půdy dle Wischmeiera a Smithe. Jako druhá bude použita metoda čísel odtokových křivek – CN, pro zjištění objemu přímého odtoku a velikosti kulminačního průtoku a následné dosazení do univerzální rovnice ztráty půdy upravené dle Williamse a Berndta. Výsledkem mé diplomové práce bude porovnání obou zmíněných metod a posouzení, která z nich je přesnější.

## 4 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉ OBLASTI

Zájmová oblast se nachází v okolí obcí Besednice, Malče a Soběnov. Malče - Budský potok protéká Soběnovskou vrchovinou, nacházející se východně od podhůří Novohradských hor. Nejvyšším bodem popisovaného území je vrchol Kohout, dosahující nadmořské výšky 870 m. Nejnižší polohy území se nacházejí okolo hranice 392 m. Soběnovská vrchovina má rozlohu 161 km<sup>2</sup>.

### Historie městyse Besednice

Besednice - obec pod Slepíčími horami. Jejich nejvyšší vrchol Kohout se objevuje také v jejím znaku. Historie obce zasahuje do 14. století. Od roku 1910 je považována za městys. V minulosti byla obec významná svou těžbou a zpracováním žuly a těžbou cihlářské hlíny i kvalitními cihlářskými výrobky. Náves Besednice zdobí několik štítových statků s průčelími propojenými průběžnou profilovanou římsou ve stylu selského baroka a kaplička se sochou svatého Jana Nepomuckého. Významnou památkou je barokní kostel svatého Prokopa z roku 1738.

Městys Besednice leží 17 km od Rakouských hranic, v průměrné výšce 575 metrů nad mořem. Celková katastrální plocha obce je 1611 ha, z toho orná půda zabírá 28%. Lesy rostou asi na jedné polovině katastrálního výměru obce. Vzhledem ke geografické poloze bychom našli v obci velmi málo ploch s travním porostem.

Území této obce trvale obývá asi 870 obyvatel. Besednice se dále dělí na dvě části, konkrétně to jsou: Besednice a Malče. Pro obyvatele je v obci k dispozici praktický lékař, zubní lékař, základní škola, mateřská škola a pošta. Dále se zde nachází knihovna, kostel, hřbitov a pro využití volného času koupaliště, sportovní hřiště a další sportoviště. Místní obyvatelé mohou využívat kanalizaci i veřejný vodovod.

### 4.1. Pedologie zájmové oblasti

Zájmové území je členěno z hlediska geomorfologie ČR do oblasti Šumavská hornatina, celku Novohradské podhůří a podcelku Soběnovská vrchovina. Soběnovská vrchovina sousedí s celky Rychnovská pahorkatina, Ličovská kotlina a Pořešínská pahorkatina.

Nejdůležitějším půdotvorným substrátem jsou svory, ruly a žuly. Horniny krystalinika (ruly, žuly, svory a granulity), které na území převládají, se vyznačují podobnými hydrologickými vlastnostmi. Rozpady těchto hornin jsou převážně lehké až středně těžké, pro vodu dobře propustné. Toto převládající lehčí zrnitostní složení a vlhčí klimatické podmínky způsobují, že vodní režim půd, které se na rozpadech těchto hornin vytvořily, je promytý. Vzhledem k tomu, že mocnost zvětralinového pláště je poměrně malá a pevná, pro vodu nepropustná hornina je blízko povrchu, dochází na prudších svazích k rychlému povrchovému odtoku srážkové vody, na mírnějších svazích často k úplnému nasycení půdy srážkovou vodou. V terénních depresích dochází ke stagnaci vody a tím k periodickému nebo trvalému zamokření půdních profilů.

Vodní režim půd na smíšených svahovinách je promyvný. Dobrou vodopropustností se vyznačují především lehčí nebo středně těžké, hluboké až velmi hluboké pokryvy svahovin na mírných svazích. V terénních depresích, nebo tam kde blíže k povrchu vystupuje nepropustné podloží, nebo kde se v půdním profilu vytvořila méně vodopropustná vrstva, dochází k převlhčování půd.

## 4.2. Hydrologie zájmové oblasti

Malče - Budský potok je povodí IV. Řádu s hydrologickým číslem 1-06-02-034. Tento potok pramení v Přírodním parku Soběnovská vrchovina, nedaleko vrcholu Kohout. Protéká několika průtočnými nádržemi Výhuň, Mlýnek, Besednice a Loužník, poté se vlévá do řeky Malše, která je pravostranným přítokem Vltavy. Největší průtočnou nádrží ležící na Malče - Budském potoce je nádrž Besednice. Větší část toku je neupravená, doprovázená stromovou a keřovou zelení. Malče - Budský potok pramení v lese, kterým protéká jeho první osmina. Zbytek toku vede převážně mezi poli.

### Parametry toku

Délka toku	6,150 km
Výšková poloha prameniště	685 m n. m.
Výšková poloha ústí	500 m n. m.
Spád	24,1 ‰
Plocha povodí	7,11 km <sup>2</sup>

Zalesněnost	40 %
Absolutní spád povodí	478 m
Sklon údolnice	7,7 %
Průměrný sklon povodí	13,4 %
Typ povodí	vějířovité

### 4.3. Klimatologie zájmové oblasti

Povodí Malče - Budského potoka se nachází v klimatické oblasti B<sub>10</sub> (mírně teplá oblast – velmi vlhká, okresek mírně teplý, velmi vlhký, vrchovinový). Průměrná nadmořská výška v povodí je 640 m n. m., s průměrným ročním úhrnem srážek 715 mm, s průměrnou roční teplotou 6,7 °C.

#### Klimatické poměry

Průměrná roční teplota	6,7 °C
Průměrná teplota ve vegetačním období IV. - IX.	12,8 °C
Začátek období s průměrnou denní teplotou vyšší než 0 °C	1.3.
Konec období s průměrnou denní teplotou vyšší než 0 °C	1.12.
Doba trvání období s průměrnou denní teplotou vyšší než 0 °C	276 dní
Začátek období s průměrnou denní teplotou vyšší než 5 °C	11.4.
Konec období s průměrnou denní teplotou vyšší než 5 °C	26.10.
Doba trvání období s průměrnou denní teplotou vyšší než 5 °C	199 dní
Začátek období s průměrnou denní teplotou vyšší než 10 °C	9.5.
Konec období s průměrnou denní teplotou vyšší než 10 °C	27.9.
Doba trvání období s průměrnou denní teplotou vyšší než 10 °C	142 dní
Začátek období s průměrnou denní teplotou vyšší než 15 °C	21.6.
Konec období s průměrnou denní teplotou vyšší než 15 °C	21.8.
Doba trvání období s průměrnou denní teplotou vyšší než 15 °C	62 dní
Počet letních dnů v roce (max. teplota vyšší než 25 °C)	20 dní
Počet ledových dnů v roce (max. teplota nižší než -0,1 °C)	50 dní
Počet mrazových dnů v roce (min. teplota nižší než -0,1 °C)	140 dní
První mráz	11.10.
Poslední mráz	11.5.
Roční úhrn srážek	715 mm

Srážky ve vegetačním období IV. - IX.	502 mm
Počet dnů s průměrnými srážkami do 1,0 mm	110 dní
Počet dnů s průměrnými srážkami do 10 mm	19 dní
Počet dnů se sněžením	42 dní
Počet dní se sněhovou pokrývkou	72 dní
Maximální sněhová pokrývka	30 cm
Sluneční svit vegetačním období IV. - IX.	1200 hodin
Počet dnů s bouřkou	25 dní
Počet jasných dnů	45 dní
Počet zamračených dnů	140 dní

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Před samotnými výpočty bylo konkrétní modelové povodí rozděleno do bloků, které by mohly být ohroženy erozí. Na povodí o rozloze 7,11 km<sup>2</sup> bylo určeno celkem 15 bloků.

### 5.1 Univerzální rovnice Wischmeier - Smith

Tato metoda výpočtu je v ČR používána pro určení průměrné roční ztráty půdy z jednotky plochy. Její přesnost závisí na přesnosti vstupních údajů.

Univerzální rovnice Wischmeier – Smithe má tvar:

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

G - je v tomto vzorci průměrná dlouhodobá ztráta půdy, vycházející v: t. ha<sup>-1</sup> za rok

R - je faktor erozní účinnosti deště

K - je faktor erodovatelnosti půdy

L - je faktor délky svahu

S - je faktor sklonu svahu

C - je faktor ochranného vlivu vegetace

P - je faktor účinnosti protierozních opatření

R - faktor erozní účinnosti deště je definován jako součin celkové kinetické energie deště a jeho maximální třicetiminutové intenzity ( $R = E \cdot i_{30}/100$ ) a pro Českou republiku je jeho průměrná hodnota vypočítána na 20.

K - faktor erodovatelnosti půdy vyjadřuje odolnost půdy vůči dopadajícímu dešti a proudící vodě. Hodnota faktoru K se může odečíst z nomogramu kde je určena z charakteristik, kterými jsou zrnitost, obsah humusu, struktura a propustnost. V mém případě jsem hodnotu K určil z tabulky podle hodnoty hlavní půdní jednotky, zjištěné z kódu BPEJ.

Na modelovém povodí se ve zkoumaných půdních blocích vyskytují dvě různé HPJ, a to 34 a 50, kterým odpovídají hodnoty K faktoru 0,26 a 0,33.

	HPJ	K
1	34	0,26
2	34	0,26
3	34	0,26
4	34	0,26
5	34	0,26
6	50	0,33
7	50	0,33
8	50	0,33

	HPJ	K
9	34	0,26
10	34	0,26
11	34	0,26
12	34	0,26
13	34	0,26
14	34	0,26
15	34	0,26

L - faktor délky svahu by se dal vypočítat z rovnice:

$L = (l_d/22,13)^p$ , kde  $l_d$  je délka pozemku; 22,13 je délka standardního pozemku a  $p$  je exponent závislý na sklonu svahu. Druhou možností je určit faktor L interpolací z tabulky:

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

Pro mnou zkoumané půdní bloky tedy platilo:

	$l_d$	L
1	200	3,02
2	850	6,22
3	850	6,22
4	450	4,52
5	570	5,09
6	370	4,1
7	760	5,87
8	700	5,62

	$l_d$	L
9	850	6,22
10	490	4,72
11	710	5,66
12	430	4,42
13	300	3,69
14	360	4,05
15	500	4,77

S - faktor sklonu svahu je možno vypočítat z rovnice:

$$S = (0,43 + 0,30s + 0,043s^2)/6,613, \text{ kde } s \text{ je sklon svahu v } \%$$

V mé práci jsem využil pro zjištění faktoru S interpolaci z tabulky:

s/°/	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S	0,18	0,26	0,35	0,45	0,57	0,70	0,84	1,0	1,17	1,35	1,55
s/°/	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
S	1,75	1,97	2,21	2,46	2,72	2,99	3,27	3,57	3,89	4,21	4,55
s /°/	24	25	26	27	28	29	30				
S	4,90	5,26	5,64	6,03	6,43	6,85	7,28				

Pro mnou zkoumané půdní bloky tedy platilo:

	s	S
<b>1</b>	9,00	1,00
<b>2</b>	7,88	0,82
<b>3</b>	6,71	0,66
<b>4</b>	6,00	0,57
<b>5</b>	7,72	0,80
<b>6</b>	6,76	0,67
<b>7</b>	2,89	0,25
<b>8</b>	4,29	0,38

	s	S
<b>9</b>	4,47	0,40
<b>10</b>	5,71	0,54
<b>11</b>	2,82	0,25
<b>12</b>	8,60	0,94
<b>13</b>	4,67	0,42
<b>14</b>	5,00	0,45
<b>15</b>	5,20	0,47

C - faktor ochranného vlivu vegetace je vyjádřením vlivu vegetačního pokryvu na erozní smyv. Čím bude hustší vegetační pokryv, tím méně dešťových kapek s vysokou kinetickou energií dopadne přímo na půdní povrch. Pro dané modelové povodí byla hodnota faktoru C stanovena na 0,21, jako průměrná hodnota podhorských oblastí jihočeského kraje.

P - faktor účinnosti protierozních opatření je poměr erozního smyvu na pozemku s provedeným protierozním opatřením ke smyvu na pozemku obdělávaným ve směru spádnice. V ČR počítáme s hodnotou 1.



	<b>R</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>P</b>	<b>G</b>
<b>1</b>	20	0,26	3,02	1,00	0,21	1,00	<b>3,30</b>
<b>2</b>	20	0,26	6,22	0,82	0,21	1,00	<b>5,57</b>
<b>3</b>	20	0,26	6,22	0,66	0,21	1,00	<b>4,48</b>
<b>4</b>	20	0,26	4,52	0,57	0,21	1,00	<b>2,81</b>
<b>5</b>	20	0,26	5,09	0,80	0,21	1,00	<b>4,45</b>
<b>6</b>	20	0,33	4,1	0,67	0,21	1,00	<b>3,81</b>
<b>7</b>	20	0,33	5,87	0,25	0,21	1,00	<b>2,03</b>
<b>8</b>	20	0,33	5,62	0,38	0,21	1,00	<b>2,96</b>
<b>9</b>	20	0,26	6,22	0,40	0,21	1,00	<b>2,72</b>
<b>10</b>	20	0,26	4,72	0,54	0,21	1,00	<b>2,78</b>
<b>11</b>	20	0,26	5,66	0,25	0,21	1,00	<b>1,55</b>
<b>12</b>	20	0,26	4,42	0,94	0,21	1,00	<b>4,54</b>
<b>13</b>	20	0,26	3,69	0,42	0,21	1,00	<b>1,69</b>
<b>14</b>	20	0,26	4,05	0,45	0,21	1,00	<b>1,99</b>
<b>15</b>	20	0,26	4,77	0,47	0,21	1,00	<b>2,45</b>

Přípustná ztráta půdy erozí pro středně hluboké půdy s hloubkou 30 až 60 cm je stanovena na 4 tuny ročně z jednoho hektaru. Na konkrétním modelovém povodí byla překročena přípustná ztráta půdy na blocích 2, 3, 5 a 12. Na těchto blocích by tedy bylo nutno navrhnout protierozní osevňovací postup a poté opět vypočítat průměrnou roční ztrátu půdy. V případě, že by opět došlo k překročení hranice 4 tun, musely by být navrženy další protierozní opatření.

## 5.2 Metoda čísel odtokových křivek - CN

Metodou čísel odtokových křivek CN se stanoví celkový objem odtoku a velikost kulminačního průtoku z jednotlivé srážky na malém povodí do 10km<sup>2</sup>. K povrchovému odtoku dochází zejména po krátkodobých bouřkových deštích s velkou intenzitou se srážkovými úhrny nad 10mm. V mé práci byly zvoleny 2 srážky s různou intenzitou, pro které jsem provedl výpočty. Jednalo se o déšť trvající 30 minut, se srážkovými úhrny 10 a 30mm.

Díličí výpočty byly provedeny v programu ERCN a výsledné hodnoty byly spočítány v programu HydroCad, jelikož v programu ERCN lze počítat pouze pro časový blok 24 hodin a ne kratší.

Základními vstupy jsou pro tuto metodu srážkový úhrn, plocha povodí (v našem případě plocha půdního bloku), hydrologické podmínky a hydrologická skupina půd. Z těchto údajů byla spočítána průměrná hodnota CN.

V horní části bloku, směrem od rozvodnice, stéká voda jako plošný povrchový odtok.

Plošný povrchový odtok -  $T_{ta}$  ...doba doběhu [h]

	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{ta}$	0,185	0,194	0,371	0,208	0,184	0,225	0,301	0,244

	9	10	11	12	13	14	15
$T_{ta}$	0,322	0,244	0,345	0,233	0,536	0,485	0,228

Zhruba po 100 metrech se plošný povrchový odtok mění na soustředěný odtok o malé hloubce  $T_{tb}$ .

Soustředěný odtok o malé hloubce -  $T_{tb}$  ...doba doběhu [h]

	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{tb}$	0,052	0,249	0,296	0,112	0,121	0,116	0,282	0,244

	9	10	11	12	13	14	15
$T_{tb}$	0,272	0,226	0,323	0,171	0,137	0,091	0,122

Součtem dob doběhu  $T_{ta}$  a  $T_{tb}$  je doba koncentrace  $T_c$ .

Doba koncentrace -  $T_c$  ...[h]

	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_c$	0,237	0,443	0,666	0,320	0,305	0,342	0,583	0,488

	9	10	11	12	13	14	15
$T_c$	0,594	0,470	0,667	0,404	0,672	0,576	0,350

Doba koncentrace -  $T_c$  ...[min]

	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_c$	14,22	26,58	39,96	19,20	18,30	20,52	34,98	29,28

	9	10	11	12	13	14	15
$T_c$	35,64	28,20	40,02	24,24	40,32	34,56	21,00

Pomocí programu HydroCad byl spočítán objem přímého odtoku a velikost kulminačního průtoku pro intenzivní srážku se srážkovým úhrnem 30 mm za 30 minut.

Objem přímého odtoku  $O_{pH}$ :

	1	2	3	4	5	6	7	8
$O_{pH}$	112	382	820	78	229	1121	665	1281

	9	10	11	12	13	14	15
$O_{pH}$	33	324	29	156	0	0	364

Velikost kulminačního průtoku  $Q_{pH}$ :

	1	2	3	4	5	6	7	8
$Q_{pH}$	0,124	0,255	0,373	0,068	0,206	0,84	0,327	0,734

	9	10	11	12	13	14	15
$Q_{pH}$	0,017	0,205	0,134	0,115	0	0	0,295

Na blocích 13 a 14 vyšly hodnoty objemu přímého odtoku a velikosti kulminačního průtoku pro daný srážkový úhrn nula. Pro tyto pozemky je tedy minimální erozní ohroženost. Při dosažení srážkového úhrnu 10 mm za 30 minut byly nulové hodnoty

na všech zkoumaných blocích. Z toho vyplývá, že srážka o intenzitě 10 mm na konkrétním modelovém povodí nezpůsobuje žádnou erozní ohroženost.

$$G=11,8 \cdot (OpH \cdot QpH)^{0,56} \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

G... transport splavenin z přívalového deště [ t ]

OpH .. objem přímého odtoku [ m<sup>3</sup> ]

QpH .. velikost kulminačního průtoku [ m<sup>3</sup> . s<sup>-1</sup> ]

	OpH	QpH	K	L	S	C	P	G
1	112	0,124	0,26	3,02	1	0,21	1	8,491019
2	382	0,255	0,26	6,22	0,82	0,21	1	42,68712
3	820	0,373	0,26	6,22	0,66	0,21	1	65,20812
4	78	0,068	0,26	4,52	0,57	0,21	1	4,225381
5	229	0,206	0,26	5,09	0,8	0,21	1	22,7068
6	1121	0,84	0,33	4,1	0,67	0,21	1	103,956
7	665	0,327	0,33	5,87	0,25	0,21	1	24,44107
8	1281	0,734	0,33	5,62	0,38	0,21	1	80,75185
9	33	0,017	0,26	6,22	0,4	0,21	1	1,159696
10	324	0,205	0,26	4,72	0,54	0,21	1	17,21463
11	290	0,134	0,26	5,66	0,25	0,21	1	7,078686
12	156	0,115	0,26	4,42	0,94	0,21	1	13,48234
13	0	0	0,26	3,69	0,42	0,21	1	0
14	0	0	0,26	4,05	0,45	0,21	1	0
15	364	0,295	0,26	4,77	0,47	0,21	1	19,81563

Pro porovnání obou metod musely být výsledky podle Williamse a Berndta přepočítány na erozní splach z jednoho hektaru pozemku.

	Plocha	G (t)	G (t/ha)
1	7,66	8,491019	1,108488
2	31,92	42,68712	1,337316
3	56,34	65,20812	1,157404
4	4,47	4,225381	0,945275
5	13,08	22,7068	1,735994
6	20,91	103,956	4,971591
7	12,41	24,44107	1,969466
8	23,9	80,75185	3,378738
9	65,27	1,159696	0,017768
10	18,54	17,21463	0,928513
11	38,34	7,078686	0,184629
12	20,59	13,48234	0,6548
13	13,92	0	0
14	7,84	0	0
15	20,85	19,81563	0,95039

I když se zdají výsledky podle výpočtu metodou odtokových křivek - CN nižší, musíme si uvědomit, že se jedná o erozní splach pouze z jedné srážky s velkou intenzitou. Takových srážek se může vyskytnout během roku více, což by znamenalo vysoké hodnoty erozního splachu na hektar pozemku za rok. Bylo by vhodné navrhnout minimálně protierozní osevň postup, případně i další protierozní opatření, jejichž návrh a posouzení již není cílem mé diplomové práce.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo posoudit a vyhodnotit metody výpočtu odnosu půdy vodní erozí z pozemků na konkrétním modelovém povodí Malče - Budského potoka. K posouzení erozní ohroženosti byly využity dvě metody výpočtů. Pomocí univerzální rovnice ztráty půdy vodní erozí podle Wischmeiera - Smithe a výpočet kulminačního průtoku pomocí metody čísel odtokových křivek a následně výpočet hodnoty transportu splavenin pomocí upravené univerzální rovnice podle Williamse a Berndta. K dosažení výsledků bude třeba znát povodí z hlediska pedologického, hydrogeologického a klimatologického.

Pro realizaci diplomové práce bylo vybráno povodí Malčebudského potoka. Zájmová oblast se nachází v okolí obcí Besednice, Malče a Soběnov. Malčebudský potok protéká Soběnovskou vrchovinou, nacházející se východně od podhůří Novohradských hor.

Modelové povodí bylo rozděleno do 15 bloků, u kterých byla pravděpodobnost erozní ohroženosti. Na určených blocích se z větší části nachází orná půda, jen zhruba na 20% plochy se nachází trvalý travní porost.

První použitou metodou byl výpočet pomocí univerzální rovnice ztráty půdy podle Wischmeiera a Smithe. Tato rovnice stanoví ztrátu půdy vodní erozí pro danou lokalitu jako součin šesti erozních faktorů (faktor erozní účinnosti deště; náchylnosti půdy k erozi; délky svahu; sklonu svahu; ochranného vlivu vegetace; účinnosti protierozních opatření). Přesnost této metody závisí na přesnosti vstupních údajů.

Druhým použitým výpočtem byla metoda čísel odtokových křivek - CN. Základním vstupem metody CN křivek je srážkový úhrn. V programu ERCN byly vypočítány doby doběhu plošného povrchového odtoku a soustředěného odtoku o malé hloubce a tím celková doba koncentrace. Dále byl pomocí programu HydroCad spočítán objem přímého odtoku a velikost kulminačního průtoku pro intenzivní srážku se srážkovým úhrnem 30 mm za 30 minut. Dosažením do upravené univerzální rovnice dle Williamse a Berndta bylo dosaženo výsledných hodnot transportu splavenin z

přívalového deště. Po přepočítání transportu na jeden hektar plochy mohly být obě metody výpočtu erozního splachu porovnány.

Z výsledků vyplývá, že metoda podle Wischmeiera-Smithe danou situaci podhodnocuje. Zatímco metoda čísel odtokových křivek je mírně nadhodnocená, než je skutečný stav erozní ohroženosti půd. I přesto, že je metoda CN křivek pro výpočet erozního splachu přesnější, v praxi se stále více používá výpočet dle Wischmeiera a Smithe.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Bednář, J., Meteorologie: úvod do studia dějů v zemské atmosféře, Praha: Portál, 2003, 224 s., ISBN 80-7178-653-5
2. Bennet, H. H.: Soil conservation, New York - London, 1939.
3. Bennet, H. H.: Elements of Soil Conservation. Second edition, 1955, 323 s.
4. Blažek, V. ... et al. Voda v České republice. Praha, Consult, 2006. 253 s. ISBN 80-903482-1-1
5. Buzek, Ladislav: Eroze půdy. 1. vyd. Ostrava: vyd. Pedagogická fakulta v Ostravě, 1983, 257 s.
6. Cáblik, J., Jůva, K. Protierozní ochrana půdy. 2. vyd., Praha: SZN, 1963.
7. Dolejš, P. Příručka pro čištění a úpravu vody. Přerov: KEMIFLOC, 1996, 133s.
8. Dufková, J. Toman, F. Soil and Water. Praha, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 2005, 128 s. ISSN 1213-8673
9. Dumbrovský, M.: Prozatímní metodický návod k projektování KPÚ. Praha: VÚMOP Zbraslav, 1992.
10. Fídl, J., Jůva, K. Meliorace. Praha: SZN, 1983.
11. Havlíček, V. a kol., Agrometrologie, Praha, Státní zemědělské nakladatelství, 1986, 260 s., ISBN 07-081-86
12. Holý, M. Protierozní ochrana. Praha: SNTL/ALFA, 1978, 280 s.
13. Holý, M. Eroze a životní prostředí. Praha, Vydavatelství ČVUT, 1994, 383 s. ISBN 80-01-01078-3.
14. Janeček, M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: ISV nakladatelství Praha, 2005.
15. Janeček, M. Vliv eroze půdy na znečištění povrchových vod. Praha: Stud. Inform. ÚVTIZ, Ř. Půdoznal.-Melior.-Výž. rostl., 1978, č.4, 72 s.
16. Janeček, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, ISV nakladatelství Praha, 2002, 201 s.

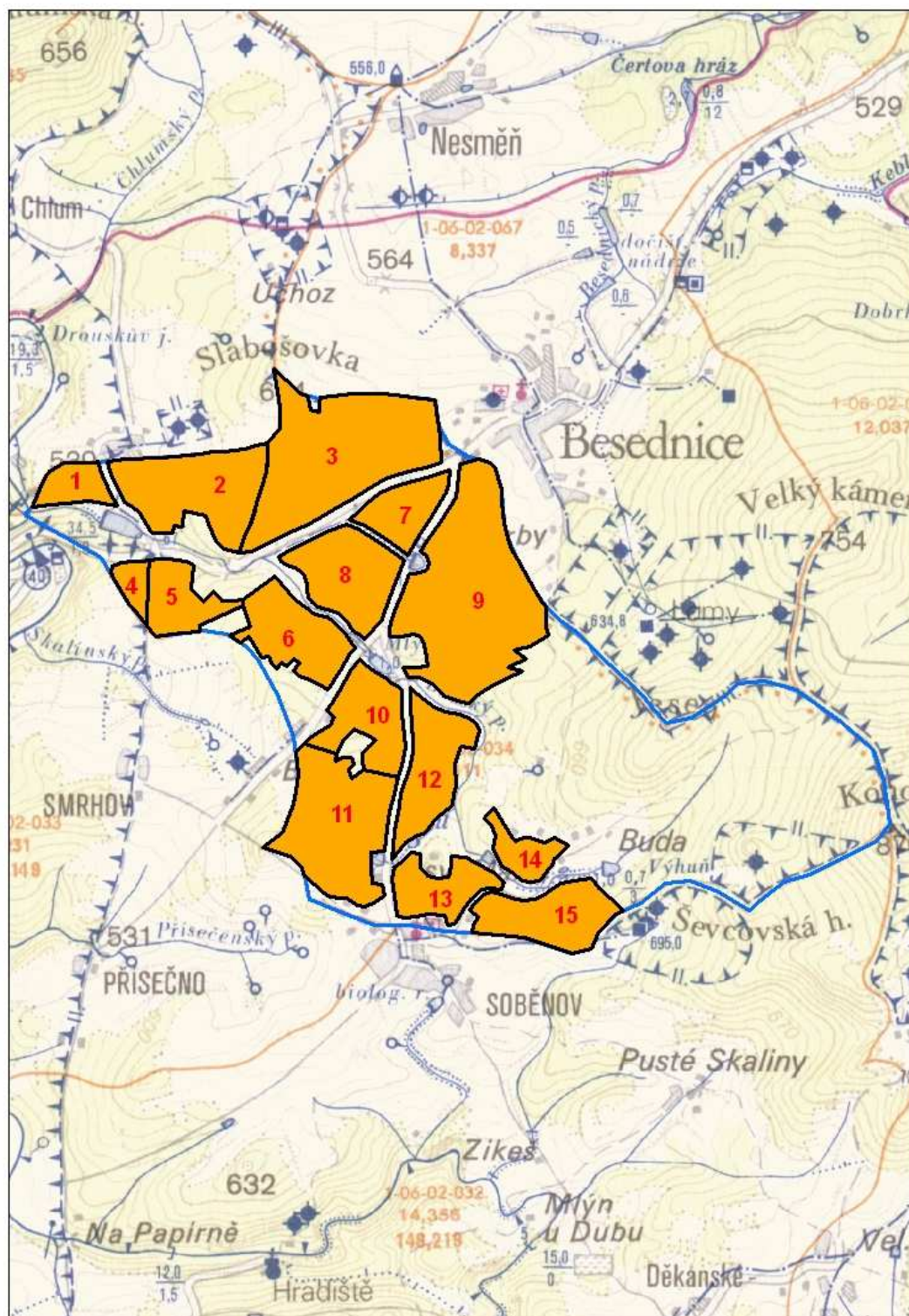


17. Janeček, M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, ISV nakladatelství, 2004, 201 str. ISBN: 85866-85-8
18. Janeček, M. Základy erodologie. Praha, Česká zemědělská univerzita, 2008, 180 s. ISBN 978-80-213-1842-7
19. Klimo, E.: Ekologie lesa. /Ekology of the Forest/. Brno, VŠZ v Brně 1994. 170 s
20. Kvítek, T ... [et al.]. Zemědělské meliorace. České Budějovice, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2006, 165 s. ISBN 80-7040-858-8.
21. Montgomery, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. PNAS, 104. 2007, s. 268-272
22. Pasák, V. a kol. Ochrana půdy před erozí. Praha, Státní zemědělské nakladatelství, 1984, 160 s.
23. Schneider, S. H., Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, Oxford University Press, New York, vol. 2, 2009, 823s.
24. Sklenička, P. Základy krajinného plánování. Praha: Naděžda Skleničková, 2003. 321 s. ISBN 80-903206-1-9.
25. Soukup, M. Opatření v zemědělské krajině pro zlepšení vodních útvarů. Praha, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 2006, 108 s. ISBN 80-239-7643-5
26. Toman, F. Výskyt erozně nebezpečných dešťů v oblasti jižní Moravy. Úroda, 1992, roč. XXX, č. 12.
27. Toman, F. Protierozní účinnost jarních obilovin. Sborník Mendlovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, Brno MZLU, 1996, roč. XLIV, č. 1-4.
28. Toman, F. Senzonalita a trend výskytu vyšších srážkových úhrnů z hlediska jejich extrémní účinnosti. Sborník Mendlovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, Brno MZLU, 1997, roč. XLV, č. 1.
29. Toman, F., Sanetník, J. a Filip, J. Potenciální eroze půdy v povodí Fryšávky. In Strategie trvale udržitelného žití. Skalský dvůr u Bystřice nad Pernštejnem : Nadace prameny Vysočiny, 1994.
30. Váchal, J. Mazín, V. Dumbrovský, M. a kol. Pozemkové úpravy I. České Budějovice, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2005, 102 s.
31. Vysoudil M., Meteorologie a klimatologie pro geografů, Olomouc, Univerzita Palackého, 1997, 232 s., ISBN 80-7067-773-2

32. ZACHAR, D.: Erózia pôdy. SAV Bratislava, 1970. Toman, F., Sanetrník, J. a Filip, J. Potenciální eroze půdy v povodí Fryšávky. Strategie trvale udržitelného žití. Skalský dvůr u Bystřice nad Pernštejnem : Nadace prameny Vysočiny, 1994.

## 8 PŘÍLOHY

Mapa rozdělení povodí do bloků



Pohled od jihozápadu na svah č. 2



Pohled od jihu na svah č. 3 a vrchol Slabošovka



Pohled od severu na svah č. 5



Pohled od jihozápadu na svah č. 6



Nádrž Besednice



Rybník Loužník

