

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra fyzické geografie a geoekologie



# **Fenomén bahenních povodí**

*Bakalářská práce*

**Lucie Netrefová**

Praha 2015

**Vedoucí práce: prof. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.**

**Studijní program: Geografie**

**Studijní obor: Geografie a kartografie**

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu doc. RNDr. Zdeňku Klimentovi, CSc. za cenné rady a připomínky při zpracování práce. Dále děkuji Ing. Janu Kotrnci za poskytnutá data. Velké poděkování patří také Mgr. Lukáši Beranovi za psychickou a technickou podporu. Poděkování za podporu během mého studia zaslouží také celá rodina a kamarádka Klára Sedláková.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala. Tímto svoluji k zapůjčení této práce k studijním účelům a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci knihovny.

V Praze dne 30. 6. 2015

.....

Lucie Netrefová

**Název práce:** Fenomén bahenních povodní

**Autor:** Lucie Netrefová

**Katedra:** Katedra fyzické geografie a geoekologie

**Vedoucí bakalářské práce:** doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

**Abstrakt:**

Bahenní povodně představují transport akumulovaného materiálu ze zemědělských oblastí při výskytu povodní z přívalových srážek s intenzitou zpravidla vyšší než 30 mm/h. Oblasti výskytu bahenních povodní jsou charakteristické větším sklonem, přítomností spraší, obděláváním po údolnici a pěstováním erozně nebezpečných plodin. Nejintenzivnější bahenní povodně vznikají hlavně ve střední Belgii, Francii, Nizozemsku a na Slovensku. Příčinami vzniku je i rostoucí suburbanizace, zvětšování rozlohy obdělávané půdy, udusání hospodářskou mechanizací či přeměny zatravněných oblastí na ornou půdu. Velkou pozornost je třeba věnovat protierozním opatřením, protože výskyt vodní eroze spolu s přívalovými srážkami zvyšuje množství akumulovaného materiálu a tím i zesiluje negativní následky bahenních povodní. Nejvhodnější by byla kombinace agrotechnických, technických a opatření organizačního charakteru. Mezi negativní následky bahenních povodní patří např. snížení kvality půd, vyplavení živin, odnos ornice a transport akumulovaného materiálu i do intravilánu, kde může způsobit velké ekonomické i emocionální škody. Do budoucna je nutností počítat s výskytem povodní z přívalových srážek a není možné vyloučit, že s případnými dopady změn klimatu může jejich výskyt narůstat.

**Klíčová slova:** bahenní povodeň, vodní eroze, protierozní opatření

Muddy floods phenomenon

Department: Department of Physical Geography and Geoecology, Faculty of Science, Charles University in Prague

Supervisor: doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

**Abstract:**

Muddy floods represent a movement of accumulated material from agriculture areas during floods triggered by heavy rainfall (with intensity that exceed 30 mm/hour). Areas where moody flows occur are typical with steep slopes, loess, thalweg cultivation and growing crops with erosion dangerous. The most intense moody floods occur particularly in central Belgium, France, Netherlands and Slovakia. The moody floods are caused by growing suburbanization, enlarging area of farmland, tamping during agricultural mechanization or

transformation grassed areas into cultivated land. Great attention should be paid to measures against erosion because water erosion with heavy rainfalls increase amount of accumulated material, what amplify negative impact of moody flows. The most suitable solution is combination of agrotechnological, technical and organizational measures. The negative consequences of moody floods are e.g. soil degradation, flooding up nutrients, carrying topsoil or transportation of accumulated material into populated area, where high economical and emotional damage may be inflicted. It is necessary to take floods triggered by heavy rainfalls into consideration. With climate changing can't the increase of moody floods be ruled out.

Keywords: muddy floods, water erosion, erosion control measures

## **Zadání bakalářské práce**

### **Název práce**

Fenomén bahenních povodní

*Muddy floods phenomenon*

### **Cíle práce**

Cílem práce je blíže se seznámit s problematikou bahenních přívalů (*muddy floods*) na základě rešerše zahraniční a české odborné literatury a dokumentace vybraných událostí na našem území.

### **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

Práce bude zahrnovat rešeršní a aplikační část. Rešeršní část bude zaměřena na problematiku obecné definice, typologie a metod hodnocení daného jevu. Autorka využije zahraniční i domácí zdroje, včetně článků z výzkumu. Pozornost bude věnována zejména příčinným faktorům, ať už z hlediska hydrometeorologické situace, terénních poměrů, změn ve využití území, aplikace protipovodňových a protierozních opatření, hodnocení rizik a následků. V aplikační části se autorka bude blíže věnovat vybraným událostem na našem území, pro které jsou dostupné podklady a budou provedeny některé vlastní analýzy.

Datum zadání: 22.10.2014

Jméno studenta: Lucie Netrefová

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

Podpis vedoucího práce:

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Definice bahenních povodní.....	10
2. Příčiny bahenních povodní.....	12
2.1 Srážkové podmínky.....	12
2.2 Změny ve využití půdy.....	14
2.3 Oblasti bahenních povodní.....	14
3. Průběh bahenních povodní.....	17
4. Následky bahenních povodní.....	21
4.1 Škody, způsobené bahenními povodněmi.....	21
4.2 "On-site"a "O -site"následky bahenních povodní.....	21
5. Vodní eroze.....	23
5.1 Definice vodní eroze.....	23
5.2 Příčiny vodní eroze.....	24
5.3 Protierozní opatření.....	26
6. Vybrané události bahenních povodní.....	35
6.1 Kokořínsko.....	35
6.2 Střední Belgie.....	36
6.3 Slovensko.....	38
6.4 Sedlec u Mšena, Mělník.....	40
6.5 Slavičky, Třebíč.....	41
6.6 Praha 2002.....	42
6.7 Společné rysy lokalit povodňových událostí.....	42
7. Metodika.....	44
8. Závěr.....	45
Literatura.....	46
Elektronické zdroje.....	46
Tištěné zdroje.....	46
Přílohy.....	48

## Seznam obrázků

Obrázek 3.1: Graf: Závislost sklonu půdy a procentu obdělávané plochy.....	18
Obrázek 3.2: Gradient sklonu ku odtokové ploše pro 100 zaplavených oblastí a 50 nezaplavených oblastí ve střední Belgii .....	19
Obrázek 6.1: Mapa oblastí, ve kterých se nachází 137 studovaných obcí střední Belgie.....	38
Obrázek 6.2: Geologická mapa oblasti Mšena .....	41
Obrázek 6.3: Poloha oblasti výskytu bahenních povodní v Sedlci u Mšena .....	41

## Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Statistické porovnání absolutních výškových rozdílů (AHD).....	15
Tabulka 5.1: Vhodná rámcová organizační a agrotechnická opatření .....	27
Tabulka 5.2: Klasifikace plošné eroze dle intenzity odnosu půdy erozí.....	29
Tabulka 5.3: Účinnost PEO a PPO .....	32
Tabulka 5.4: Stupně a poškození půdy .....	33

## Seznam příloh

1: Mapa Evropských sprašových oblastí .....	48
2: Mapa Staré Tury.....	49
3: Mapa Staré Tury- typy reliéfu .....	50
4: Fotografie - Rillar - SV od Leuven - 13 až 14.září 1998.....	51
5: Prostorové rozložení povodní malého měřítká a bahenních povodní v pohoří Cicindria v jižním Limburgu v Belgii .....	51
6: Bahenní povodeň Kokořínsko 20.9. 2014.....	52



# 1. Úvod

Bahenní povodně představují v posledních dvaceti letech stále větší problém. V České republice se tomuto jevu nevěnuje dostatečná pozornost, i když frekvence jeho výskytu je stále větší a následky po bahenních povodních jsou značné. Problém je v tom, že výskyt tohoto fenoménu není tak intenzivní jako v zahraničí, kde se tomuto problému věnují mnohem více. Jedná se hlavně o Belgii, Francii a Nizozemsko. V České republice je tento jev relativně opomíjen a existuje pouze malé množství odborné literatury, která by se tímto tématem zabývala. Důvodem je mimo jiné výskyt bahenních povodní i v málo obydlených zemědělských oblastech. Pokud tedy nejsou způsobeny škody na veřejné infrastruktuře, nemusí být tato událost ani zaznamenána. Dle mého názoru by mělo být této problematice věnováno více pozornosti. Z tohoto důvodu bylo zvoleno právě toto téma bakalářské práce.

Práce je zaměřena na problematiku obecné definice fenoménu bahenních povodní, jejich příčinné faktory (srážkové poměry, změny ve využití půdy a charakteristika oblastí, které jsou pro vznik bahenních povodní typické). Dále je zhodnocen průběh, následky a rizika tohoto jevu. Bahenní povodně souvisí s vodní erozí. Z tohoto důvodu je v práci rozebírána definice vodní eroze, její příčiny i protierozní opatření. Dále jsou popisovány konkrétní události bahenních povodní, podrobná charakteristika oblastí jejich výskytu a společné charakteristické znaky oblastí výskytu tohoto fenoménu. Závěrem jsou shrnuty obecné poznatky o tomto jevu a také nastíněno, jakým problematikám ohledně tohoto jevu by se do budoucna mělo věnovat více pozornosti.

## 2. Definice bahenních povodní

Bahenní povodně představují transport akumulovaného materiálu ze zemědělských oblastí, který vzniká převážně při povodních z přivalových srážek. Sedimenty jsou zachycovány odtokem a nesený jako suspendovaný materiál nebo jako nános vrstvy usazeného materiálu. Termín bahenní povodně není v České republice příliš užívaný. Není to způsobeno absencí výskytu tohoto jevu, ale problém je se zavedením tohoto termínu do České společnosti. Tento pojem se začal používat v 80. letech 20. století ve Francii a odtud se šířil dále po Evropě. Mezi nejvíce postižené evropské oblasti patří Normandie, Picardy, střední Belgie a jižní Limburg v Nizozemsku. Bahenní povodně jsou také pozorovány na Slovensku a v Polsku. V České republice se nevyskytují v tak závažné formě jako ve výše zmiňovaných oblastech, ale i přesto u nás způsobují značné škody a mělo by se tomuto problému věnovat více pozornosti. České odborné články o tomto tématu se téměř nevyskytují, i když frekvence těchto událostí je celkem značná, poškozují silniční infrastrukturu, naplavují vrstvy bahna, ucpávají kanalizaci a způsobují škody na soukromém majetku.

Bahenní povodně byly pozorovány ve většině sprašových oblastí v Evropě. Mapa evropských sprašových oblastí se nachází v příloze 1. Sprašové sedimenty a jejich půdy pokrývají zhruba jednu desetinu zemského povrchu. V Evropě je spraš prachovým produktem zalednění z doby ledové. Během těchto chladných období byl tento velmi jemný a lehký materiál odnesen z pustých oblastí na okrajích ledovců a uložen v regionech s hustší vegetací. Sprašové půdy jsou převážně křemičité a vápenaté. Jejich jemná zrnitost zajišťuje dobré provzdušnění a zásobu vody. To znamená, že půdy vzniklé ze spraší jsou velice úrodné. Jsou však také obzvláště náchylné k erozi. Z toho důvodu je důležité znát, kde se přesně se tyto úrodné půdy nacházejí, aby se mohla zajistit jejich příslušná ochrana (Helmholtz - Zentrum für Umweltforschung - UFZ, 2007).

Bahenní povodně představují proudy vody tekoucí z polí, které unášejí velké množství půdy, ať už v suspenzi nebo vlečením. Jejich následkem jsou záplavy s vysokou koncentrací erodovaného materiálu, generující bahenní sedimenty (Stankoviansky 2008). Tento jev nesouvisí s vodními toky, ale výlučně s obráběnými poli. Čím intenzivnější je vodní eroze na plnohospodářsky obhospodařovaných svazích, tím extrémnějších projevů bahenní povodně nabývají. Bahenní povodně jsou podmíněny také erozní činností koncentrovaného ronů a s ní spojenou

tvorbou výmolů, vyskytující se ve dnech suchých údolí (Stankoviansky 2008). Není možné je spojovat s bahnotoky, které jsou zařazované mezi gravitační procesy (mass movements) apředstavují přechodný prvek procesů gradační série, vyznačujících se různým objemovým zastoupením vody a pevné složky. Podle klesajícího množství vody je možné diskutované procesy zařadit takto: čisté záplavy ze svahů bez bahna (oods), bahenní povodně (muddy oods), bahnotoky (mud ows), zemité proudy (earth ows) a suché sesuvy (dry landslides) (Stankoviansky a kol. 2008).

Pro účely vodního zákona č.254/2001 Sb. se v § 64 obecně povodněmi rozumí přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodní je i stav, kdy voda může působit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod (Brázdil et al. 2007).

Povodně je možné charakterizovat kulminačním průtokem, čímž se rozumí „nejvyšší vrcholový průtok u průtokové vlny“. Z kulminačních průtoků z jednotlivých povodní se určí N-letý maximální průtok (též N-letý průtok)  $Q_N$ , který je v uvažovaném profilu dosažen nebo překročen průměrně jednou za N-let (ČSN73 6511; ČSN 73 6530; ČSN 75 1400). Pokud je v určitém toku na daném profilu  $Q_{100} = 230 \text{ m}^3/\text{s}$ , znamená to, že průměrně jednou za sto let bude kulminační průtok dosažen či překročen. Reálně se ale takový průtok může vyskytnout i vícekrát než jednou za sto let nebo dokonce i vícekrát než jednou v daném roce (Brázdil et al. 2007).

Termín bahenní povodně do literatury zavedla francouzka V. Auzetová, a to ve francouzské podobě „inondations boueuses“. V pozdějších anglicky psaných pracích autorky se objevil anglický překlad tohoto termínu muddy oods . Tento termín si postupně osvojili i jiní autoři (např. Boardman 1994, 2000, 2001, Verstraeten a Poesen 1999), používající do té doby jiné pojmenování stejného jevu (Stankoviansky a kol. 2008).

## 2. Příčiny bahenních povodní

### 2.1 Srážkové podmínky

Bahenní povodně z přívalových srážek souvisejí se srážkami, které mají krátkou dobou trvání (zpravidla v řádu hodin), avšak velkou intenzitu (desítky milimetrů, výjimečně i přes 100 mm za hodinu) a doprovázenými zpravidla boufkami. Tyto povodně se vyznačují náhlým nástupem a ostrou povodňovou vlnou s rychlými vzestupy hladin. Jejich vznik je často podmíněn i intenzivní konvekcí při tvorbě bouřkové oblačnosti. Přívalové srážky jsou srážky o velmi silné intenzitě, zpravidla více než 30 mm/h. Potřebná intenzita srážek k vyvolání bahenních povodní je v květnu a v červnu nižší než během července a srpna, a to kvůli odlišným povrchovým podmínkám, jakými jsou např. typy plodin a sucho (Brázdil et al.2007).

Vedle intenzity srážek zde sehrává velmi důležitou úlohu schopnost půdního povrchu absorbovat srážkovou vodu. Tato schopnost infiltrace je primárně ovlivněna jak způsobem využívání území, tak i jeho morfologickými charakteristikami, zejména sklonitostí svahů. Podstatný je rovněž aktuální stav nasycení půdního povrchu předchozími srážkami, kdy se zvyšujícím se stupněm nasycení nad retenční vodní kapacitu půdy schopnost absorpce dalších srážek půdou rychle klesá (ČHMÚ 2015). Pro přívalovou povodeň je proto charakteristické to, že může zasáhnout vedle okolí malých vodotečí rovněž za normální situace suchá údolí, příp. území, kde dochází k soustředění povrchového odtoku z okolních svahů. Území pod delšími svahy jsou proto nejrizikovější z hlediska možného vzniku přívalových povodní, a proto např. nevhodný způsob obhospodařování pozemků na těchto svazích riziko zvýšeného odtoku a doprovodné eroze během přívalových srážek velmi zvyšuje (ČHMÚ 2015).

Povodně z přívalových srážek se nejčastěji vyskytují v období zhruba od poloviny května do poloviny září, protože v tomto období nastávají i příslušné synoptické situace podmiňující výskyt příčinných přívalových srážek. Mezi tyto situace nejčastěji patří přechod zvlněných studených front nebo příliv teplého, vlhkého a labilně zvrstveného vzduchu. Obě situace způsobují vzestupné pohyby vzduchu a vytváření konvekční oblačnosti s častým výskytem bouřek. U přívalových povodní tvoří převážnou část odtoku povrchový odtok, který vzniká v důsledku překročení

infiltračních schopností půdního povrchu, přičemž půda je schopná stále určitou část vody absorbovat (Šercl a kol. 2009).

Lokálně mohou srážky způsobit velké škody i z důvodu velké kinetické energie tekoucí vody. Rozlišení povodní z trvalých a z přívalových srážek může být složité, protože často nastávají situace, během kterých bouřkové přívalové deště přecházejí v trvalé srážky a naopak, nebo kdy jsou trvalé srážky prokládány alespoň v některé části postiženého povodí přívalovými dešti. Oba typy srážek mohou být vyskytovány v časovém sledu za sebou po intervalu bez deště apod. Počet případů kombinace obou typů se navyšuje se zvětšující se rozlohou postiženého povodí. Bahenní povodně vznikají s příchodem extrémních srážek, ale také při náhlém tání sněhu v období, kdy půda není pokryta vegetací. Rozhodující úlohu při tvorbě bahenních povodní hraje také koncentrace ronů v suchých dolinách a úvalinách (Brázdil et al. 2007).

Podle Evrarda a kol. (2008) se na malých povodích způsobí bahenní povodně, jakmile je dosažen srážkový limit. Nad 25 mm denních srážek je pravděpodobnost výskytu bahenních povodní ve výpusti malých povodí 7 %, zatímco po 43 mm srážek je dosažena pravděpodobnost 99 %. Jedná se o studii zaměřenou na výskyt bahenních povodní ve střední Belgii.

Podle Stankovianskeho a kol. (2008) srážky s denním úhrnem 20 mm a více a intenzitou deště vyšší než 1 - 3 mm/min jsou schopné generovat ron v plnohospodářsky využívané krajině a tím iniciovat efektivní působení ronových procesů, které ústí do bahenních povodní. Ve vegetačním období jsou půdy velice dobře chráněny vegetací, proto jsou ke spuštění bahenních povodní potřeba vyšší srážky.

### **Srážkové podmínky vedoucí k bahenním povodním z různé literatury (Evrard et al. 2007):**

#### *Intenzita srážek*

10 mm/h : Francie - Boardman et al. (1994)

35 mm/h během 15 min: Belgie - Boardman et al. (1994)

30 mm během 2 dní: Anglie - Boardman et al. (2003)

#### ***Extrémní události***

#### *Intenzita srážek*

60 mm za 2 h (8.května 1988): Francie - Larue (2001)

45 mm za 30 min (8.května 1990): Francie - Larue (2001)

60 mm za 1 h (8.června 1996): Belgie - Verstraeten et al. (2001)  
70 mm za 1 h (30.května 1999): Belgie - Boardman et al. (2006)  
70 - 75 mm za 1 h (8.května 2000): Belgie - Verstraeten et al. (2001)  
32 mm za 20 min (24.května 2001): Francie - Van Dijk et al. (2005)

## **2.2 Změny ve využití půdy**

Z nedávných výzkumů vyplývá, že výskyt tohoto fenoménu bude stále častější. Příčinami je rostoucí suburbanizace, zvětšení rozlohy obhospodařované půdy, udusání půdy hospodářskou mechanizací, přeměny zatravněných oblastí na ornou půdu a expanze letních plodin na úkor zimních obilovin. Také výstavba betonových cest u zemědělských oblastí vede ke zvýšení koncentrace a rychlosti odtoku (Evrard et al. 2007).

Poslední významnou etapu v měnící se struktuře využívání krajiny představuje kolektivizace. Její příčinou došlo vlivem velkoplošných změn ve využívání krajiny k významnému nárůstu intenzity rovinových procesů a ke zvýšení frekvence a intenzity bahenních povodní. Příčinou jsou tedy také geomorfologické efektivity procesů vodní eroze, vyvolané vytvořením velkých bloků družstevních polí a jejich nedostatečnou ochranou proti jarním přívalovým deštům (Stankoviansky 2008). V souvislosti s výkonnějšími přístroji a větší hloubkou orby se zintenzivnila i orbová eroze. Značnou aktivitou se vyznačují také fluviální procesy. Nejvýznamnější současnou přírodní hrozbou totiž představují právě povodně místních toků (Stankoviansky 2012).

## **2.3 Oblasti bahenních povodní**

Bahenní povodně jsou zaznamenány ve většině evropských sprašových oblastí, např. v Belgii, South Downs v UK, South Limburgu v Nizozemsku, severní Francii a Slovensku. Byly klasifikovány tři typy oblastí s častým výskytem bahenních povodní: svahy (1 - 30 ha) bez údolnice, kde dominuje plošná eroze (plošný odtok); malé povodí (10 - 300 ha) charakterizované odtokem v údolnici a středně velká povodí (100 - 300 ha) s několika údolnicemi se soustředěným odtokem. Cca 90 % bahenních povodní se vyskytuje v malých povodích a převážně na svazích (Evrard et al. 2007). Oblasti trpící bahenními povodněmi mají tedy prudší obdělávané svahy a jsou charakteristické přítomností jílovité hlíny a písčito-jílovité

půdy (Verstraeten 1999). Pro bahenní povodně generované na svazích jsou nejdůležitějšími vysvětlujícími proměnnými kombinace gradientu svahu a srážek a podstatnou roli hraje také prostorové rozložení rozdílných typů plodin uvnitř povodí (Evrard et al. 2007).

V obcích, které jsou postihovány rozsáhlými bahenními povodněmi je hlavní příčinou přímý odtok z obdělávané půdy (84 % ze všech případů). Obecně platí, že obce, které jsou situovány na aluviálních rovinách u větších řek, jsou více postihovány lokálními povodněmi z proudů vody, protože tyto řeky nemají vždy takovou dostatečnou kapacitu, aby se zvládly vypořádat s odtokem z větších odtokových rovin. Přímý odtok z malých zemědělských odtokových rovin tudíž nabude formu bahenních povodní a stane se hlavním zdrojem problému (Verstraeten 1999).

V tabulce 2.1 jsou sumarizovány statistiky, založené na jednom samostatném informativním topografickém parametru, konkrétně absolutním výškovém rozdílu (AHD - Absolute height difference) za každou obec. Hodnota AHD je vyšší v obcích, kde se vyskytují bahenní povodně než v ostatních oblastech (průměrné AHD = 71,5 m) (Verstraeten 1999). Obce s vyšší hodnotou AHD jsou ve studii Verstraetena, která je zaměřena na střední Belgii, charakteristické hluboce vyříznutými údolními, zatímco obce s nižší topografií se nacházejí na pobřežních rovinách.

Tabulka 2.1: Statistické porovnání absolutních výškových rozdílů (AHD) pro tři skupiny obcí, které se potýkaly s povodněmi malého měřítka, s bahenními povodněmi nebo byly bez problémů (Verstraeten 1999).

	Bez problémů	Povodně malého měřítka	Bahenní povodně
Počet obcí	23	39	53
Průměrné AHD [m]	48,3	45,6	71,5
Minimální AHD [m]	5	10	37,5
Maximální AHD [m]	137,5	105	130
Směrodatná odchylka [m]	28,7	20,4	19,3

Z tabulky 2.1 plyne, že ve studovaném území střední Belgie se z pozorované oblasti největší počet obcí potýká s bahenními povodněmi a s těmito problémy vůbec není konfrontován jen malý počet obcí. Jak již bylo výše zmíněno, tak oblasti, ve kterých se bahenní povodně vyskytují, mají nejvyšší průměrné AHD, a to 71,5 m. Vyskytuje se zde i výjimka, a to v případě obce bez výskytu bahenních povodní s maximálním AHD 137,5 m, což je větší hodnota než v oblastech, ve kterých se bahenní povodně vyskytují.

Sice se jedná o studii konkrétní oblasti střední Belgie, ale tyto poznatky lze

zobecnit a aplikovat na většinu území. Lze tedy vyvodit závěr, že obecně platí, že obce s vyššími hodnotami absolutních výškových rozdílů jsou bahenními povodněmi postihovány mnohem častěji.

Dalším důležitým faktorem pro vznik bahenních povodní je sklon půdního povrchu. Je důležité tyto faktory znát, aby bylo možné vznik bahenních povodní předpokládat a včas zamezit negativním následkům těchto událostí. Ministerstvem životního prostředí České republiky jsou tedy určovány tzv. kritické body, což jsou místa, kudy voda z přívalového deště přitéká do intravilánu a může způsobit škody. V celé ČR bylo identifikováno více než 9000 těchto bodů.

**Rozhodující charakteristiky a kritéria výběru kritického bodu:**

velikost přispívající plochy = 0,3 - 100km<sup>2</sup>

průměrný sklon přispívající plochy > 3,5 %

podíl plochy orné půdy v povodí > 40 %

**V případě ploch povodí se zastoupením orné půdy nižším než 40%,  
případně ploch zcela zalesněných:**

velikost přispívající plochy = 1,0 - 10,0 km<sup>2</sup>

průměrný sklon přispívající plochy > 5



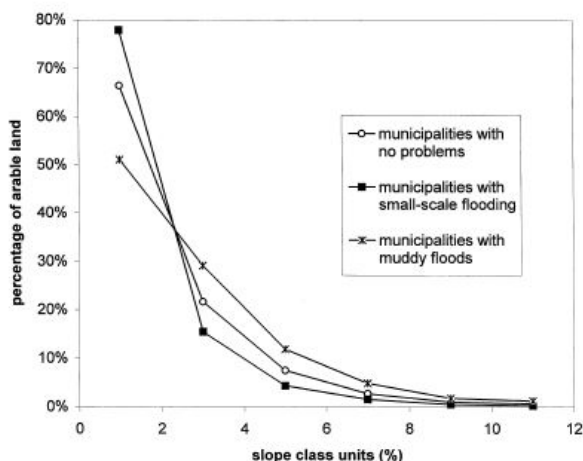
### 3. Průběh bahenních povodní

Vyvolání a průběh povodní zapříčiněné srážkami je ovlivněno hlavně plošným rozložením srážek, jejich intenzitou a trváním. Uplatňují se také fyzicko-geografické charakteristiky oblasti a antropogenní činnost v povodí, které průběh povodně pozitivně i negativně ovlivňují. Např. srážky o určitém trvání a intenzitě vyvolají na sklonitém povodí rychlejší odezvu a větší kulminační průtok než v povodí s menším sklonem. Zatímco průběh regionálních povodní je relativně předvídatelný a díky celkem husté síti vodoměrných profilů může být dobře monitorován, u povodní z přívalových srážek tomu tak však nebývá. Hlavním důvodem je relativně malá rozloha území (v řádu jednotek až desítek km<sup>2</sup>), které bývá zasažené srážkami a průběh i nástup přívalových povodní je velice rychlý (Šercl a kol. 2009).

Povodeň z přívalových srážek vzniká často v oblasti ležící mimo záplavové území větších vodních toků, ve kterých se povrchový odtok soustřeďuje do okolí malých vodotečí, do koryt, která jsou většinu roku suchá, erozních rýh apod. Až poté se dostává do větších, hydrologicky sledovaných toků. Dočasnými "řečišti" jsou také sítě zpevněných cest (Šercl a kol. 2009). Bahenní povodně jsou tedy navázány na silnice a cesty, které byly často vybudovány v místě údolnice. Tyto lineární krajinné prvky sbírají vodu a sedimenty z horních toků povodí a fungují jako velký kanál způsobující problémy v podobě zatopených komunikací a nemovitostí. Takové silnice a cesty mají negativní následky hlavně na nemovitostech při dolních tocích řek. Naopak zpevněné okraje komunikací poskytují dobrou ochranu proti tvorbě erozních roklí (Verstraeten 1999).

V oblastech s nízkou nebo s dočasně sníženou infiltrační schopností dochází i k plošnému povrchovému odtoku. Prudké rozvodnění lokálních toků je obzvlášť na svažitém území velice rizikové, protože odtoková odezva je většinou velmi rychlá (řádově desítky minut) a příval vody s sebou nese i množství splaveného bahna, větví, někdy i komunálního a průmyslového odpadu z okolních pozemků, což může mít za následek ještě větší škody na majetku. Monitorng událostí pomocí srážkoměrných a vodoměrných pozorování je značně omezený, a tak často jediným zdrojem informací o pravděpodobném výskytu přívalových srážek v dané oblasti je měření meteorologického radaru. Dominantní složkou odtoku je rychlý povrchový odtok, který nastane po nasycení svrchní vrstvy půdního horizontu (Šercl a kol. 2009).

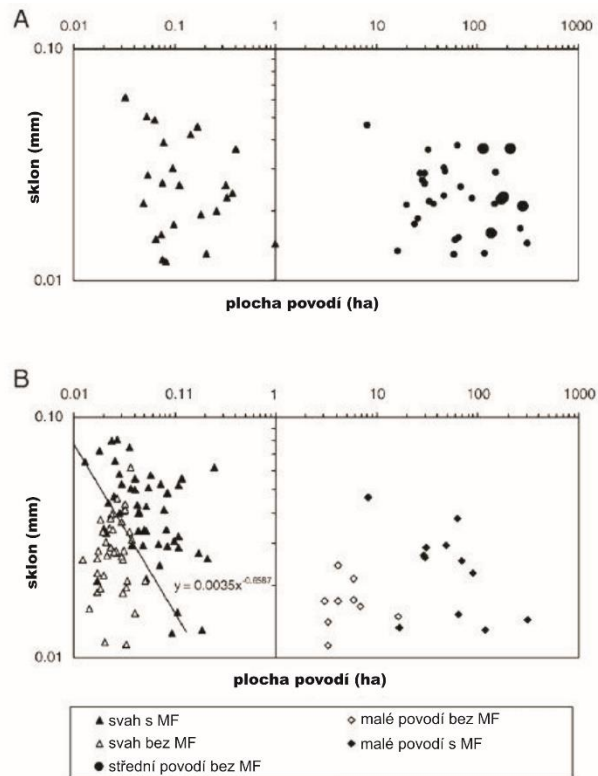
Jedním z projevů bahenních povodní je i stékání. Po přivalových deštích dochází k rychlým (desítky, stovky metrů za hodinu), ale krátkodobým pohybům půdy. Unášená půda je většinou ve viskózním stavu a je oddělena od podloží. Při stékání vznikají v erozních rýhách poruchy, a to zemní proudy, bahenní proudy a mury. V těchto erozních rýhách nastává soustředěný povrchový odtok a rozrušování půdního pokryvu (Kapička et al. 2014).



Obrázek 3.1: Graf: Závislost sklonu půdy a procentu obdělávané plochy, rozdělené do tří kategorií, střední Belgie (Verstraeten 1999)

Existuje také závislost mezi sklonem půdního povrchu, podílem obdělávané půdy a výskytem bahenních povodní. Z obrázku 3.1 plyne, že čím vyšší je sklon zemědělské oblasti, tím menší je procento obdělávané půdy. V oblastech se stejnou rozlohou jsou konfrontovány s bahenními povodněmi takové zemědělské plochy, které mají vyšší sklon. Naopak oblasti s touto rozlohou a nejmenším sklonem jsou postihovány povodněmi malého měřítka. Obdělávané půdy opět s předešlou konstantní rozlohou a se sklonem větším než u oblastí výskytu povodní malého měřítka a zároveň sklonem menším než u oblastí výskytu bahenních povodní, nejsou povodněmi postihovány. Odtok ze zemědělských oblastí je ovlivněn také druhy pěstovaných plodin a jejich prostorovým rozložením. Čím je rozloha povodí větší, tím vyšší je míra ovlivnění odtoku jednotlivými druhy plodin. Brambory, kukuřice a cukrová řepa v květnu a v červnu v období nejvyšší srážkové eroze většinou ochrání povrch půdy jen velmi slabě (méně než 20 % pokryvu) (Novotný a kol. 2014).

Z obrázku 3.2 plyne, že ke vzniku bahenních povodní je u malých povodí potřeba velká sklonitost, ale s rostoucí rozlohou povodí klesá potřebný sklon k vyvolání bahenních povodní.



Obrázek 3.2: Gradient sklonu ku odtokové ploše pro 100 zaplavených oblastí a 50 nezaplavených oblastí ve střední Belgii. (A) Odtok splavený cestami nebo odtokovou sítí; (B) Odtok spojený s erozí. Plná křivka zobrazuje kritickou hranici pro vznik bahenních povodní na svazích. (Evrard et al.2007 + vlastní úprava).

Evrard a kol. (2007) se ve střední Belgii zabýval také vztahy mezi rozlohou povodí, jeho sklonem a délkou vrstevnice. Rozlišuje také odtokové plochy, na kterých probíhala ve spojitosti s bahenními povodněmi a zvýšeným odtokem eroze půdy a takové s častým výskytem cest a příkopů, na kterých se soustřeďuje odtok. Z části tabulky 3.1, která se zabývá produkováním bahenních povodní a zvýšeného odtoku, které jsou spojené s erozí vyplývá, že na svažitéch povodích se bahenní povodně vyskytují u těch, které mají větší rozlohu i sklon. Naopak delší vrstevnici mají plochy, na kterých se bahenní povodně nevyskytují. U malých povodí se tento fenomén častěji vyskytuje v takových, které mají rozlohu menší, ale naopak větší sklonitost. Ve druhé části tabulky, která se zaměřuje na oblasti bahenních povodní, jejichž šíření je vázáno na zpevněné cesty a příkopy je znatelný vysoký počet výskytu bahenních

povodí s největší rozlohou. Vzhledem k velké rozloze povodí nebylo ke způsobení bahenních povodní potřeba příliš velkého sklonu.

Tabulka 3.1: Průměrné topografické charakteristiky produkující bahenní povodně (BP); celkem 100 oblastí, kde se BP objevily (1995-2004) a 50 oblastí, kde BP nebyly zaznamenány. Směrodatná odchylka (SO) je vypočtena jednotlivě pro každou charakteristiku (Evrard et al. 2007)

Typ odtokové plochy	Frekvence	Rozloha [ha] (SO)	Sklon [%]	Délka vrstevnice [m] (SO)
Spojené s erozí				
Svahy				
S BP	36	13 (13)	5,7 (4)	192 (113)
Bez BP	41	11 (8)	2,5 (0,9)	241 (146)
Malá povodí				
S BP	12	45 (80)	2,3 (0,8)	108 (25)
Bez BP	9	73 (81)	1,2 (0,6)	124 (17)
Spojené s cestami a příkopy				
Svahy				
S BP	22	21 (25)	3,9 (1,9)	170 (106)
Malá povodí				
S BP	23	71 (62)	2,3 (0,5)	106 (19)
Střední povodí				
S BP	8	187 (75)	2,2 (0,4)	152 (51)

## **4. Následky bahenních povodní**

### **4.1 Škody, způsobené bahenními povodněmi**

Mezi následky bahenních povodní patří poškození životního prostředí sedimentací písku, štěrku a dalšího materiálu usazených v řekách a hlavně v intravilánu, kde způsobuje největší škody. K poškození životního prostředí dochází dále absorpcí chemikálií do půdních částic a eutrofizací vodních těles (Evrard et al. 2007). Největším projevem častého katastrofálního působení ronových procesů je vytvoření sítě permanentních výmolů a při vlhčím klimatu se projevuje i aktivací sesuvů. Kombinované působení plošné ronové eroze a orbové eroze mělo už několikrát v minulosti za následek snižování hor a svahů a také nárůst počtu koluviálních těles na úpatích (Stankoviansky et al. 2012).

Existuje vysoká pravděpodobnost, že pokud v méně zalidněných oblastech nedojde ke škodám na infrastruktuře, tak bahenní povodně nebudou ani zaznamenány. Vyšší škody po bahenních povodních ve více zalidněných oblastech budou naopak vést k častější kategorizaci povodňových událostí jako přírodní katastrofy (Evrard et al. 2007).

Odtok způsobený extrémními srážkami je často příliš velký a kapacita odtokových příkopů nebo systémů odpadních vod není dostačující. To vede k povodním v nížinách, na loukách, ale i v intravilánech a nemovitostech v hustě zalidněných oblastech. Pokud se v odtokových nížinách vyskytuje eroze, tyto lokální povodně mohou nabýt formy bahenních povodní, které se rozlévají do ulic a dokonce i do vnitřních prostorů domů, do kterých se poté dostanou nánosy bahna. To nemá za následek jen finanční ztráty vlády a domácností, ale také psychologickou škodu těm, kteří jsou s těmito událostmi často konfrontováni (Verstraeten 1999). O výši škod, případně ztrátách na životech rozhoduje mimo jiné míra zkušenosti obcí s povodněmi.

### **4.2 "On-site" a "O-site" následky bahenních povodní**

Následky bahenních povodní lze klasifikovat do dvou kategorií podle toho, zda se jedná o způsobené problémy přímo na půdním povrchu nebo o šíření následků z postižené oblasti.

On-site následky zahrnují snížení kapacity živin a vody v půdě, menší zastoupení oragnických složek a zmenšení hloubky půd k podporování kořenů a organismů (Mullan 2013). Dále snížení kvality půdy - ztráta na živiny bohatých svrchních vrstev a snižování vodní kapacity mnohých erodovaných půd. Nejvíce bývají

transportovány jemné částice a díky tomu bývají erodované půdy zbavené jejich nejjemnějších zrn a tím dochází ke snižování vodní kapacity těchto půd. Ztráta kvality půdy je dlouhodobým problémem. Globálně mezi nejzávažnější důsledky půdní eroze patří hrozba neudržitelnosti stálého vývoje zemědělské produktivity (Favis 2005).

O-site následky zahrnují degradaci půdy vyplavením jejích částic ze zemědělských oblastí a také ekonomické následky, které vzniknou po transportování velkého množství sedimentů v podobě bahenních povodní z polí do obydlených oblastí (Mullan, 2013). Spolu se sedimenty se transportují i škodlivé zemědělské látky do vodních toků, což vede k naplavení nánosů bahna i do vodních nádrží a tudíž k narušování vodních ekosystémů a může to vést i ke kontaminaci pitné vody. Čištění takto znečištěné vody může být velice nákladné. Většinou se obecně jedná krátkodobější následky než jakými je např. ztráta kvality půdy. Erodované půdy mají sníženou kapacitu k absorbování vody (Favis 2005)

## 5. Vodní eroze

### 5.1 Definice vodní eroze

Povodně z přívalových srážek ve spojitosti s vodní erozí vytváří velice příhodné podmínky pro vznik bahenních povodní. Na erodované půdě dochází k transportu většího množství akumulovaného materiálu ze zemědělských oblastí a následky bahenních povodní se stávají horšími.

Vodní eroze je rušivá činnost vody na horninový podklad. Vyskytuje se málo odolných svazích, a to díky přítomnosti dešťového ronů ("plošná eroze"), dále v korytě jako "zpětná", "hloubková" a "boční eroze" vlastního toku (Baroň 2015). Normální eroze je přirozená a probíhá postupně. Zrychlená eroze smývá půdní částice v tak velkém rozsahu, že už nemohou být nahrazeny přirozeným půdotvorným procesem. Je ovlivněna hlavně antropogenní činností, způsobem hospodaření a je potřeba před ní půdu chránit (Novotný et al. 2014).

Erozi se věnuje velká pozornost z důvodu negativních následků na půdu, která jako jeden z hlavních zdrojů biosféry je podle de nice OSN "Omezený a nenahraditelný přírodní zdroj. V případě postupující degradace a její ztráty se stává tento zdroj v mnoha částech světa hranicí dalšího rozvoje lidské společnosti. Jestliže by půda přestala existovat, přestane existovat biosféra s ničivými následky pro lidstvo"(Holý 1994).

Eroze má mnoho negativních následků. Ochuzuje zemědělské půdy o nejurodnější část ornice, zhoršuje fyzikálně - chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozují plodiny a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv, sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumulací prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin (Podhrázká a kol. 2005).

Odnos erozí na svahu začíná, když síla vodního proudu je větší než síly, které udržují částice na povrchu. Eroze je výsledkem řady činitelů. Většinou se však objevují na povrchu terénu nerovnosti, které rozdělují souvislý laminární vodní pokryv na jednotlivé stružky s turbulentním tokem. Jejich činností vzniká na svazích soustava různě hlubokých erozních stružek, které rozrušují povrch terén (Hruban 2015).

Vodní eroze má i negativní společenské vlivy. Patří mezi ně omezování zemědělské činnosti, zřizování staveb a zařízení a např. hospodářské využití lesa. Ohrožuje také lesní porost, život obyvatel, stavby, zemědělskou úrodu, kulturní a historické památky, zemědělskou půdu (bonitu), technologie a infrastrukturu, pozemky, půdu i horninové prostředí (Baroň 2015).

Mezi rizikové oblasti patří zemědělské půdy s intenzivní orbou, horní a střední úseky vodních toků, plošně odlesněná území v oblastech tvořených především málo zpevněnými sedimenty, horské svahy a břehy velkých vodních nádrží.

Tento jev je celorepublikově monitorován různými institucemi, jako je např. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha a Česká geologická služba. Zmíněné instituce používají různé metody monitoringu. Patří mezi ně využití opakovaných leteckých snímků, satelitní snímky a mapy erozní účinnosti deště. Informace o tomto jevu lze získat od Správy jednotlivých povodí, Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, Ústavu zemědělských a potravinářských informací, Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, České geologické služby a ČVUT - fakulty stavební (Baroň 2015).

Obecně platí, že nejméně erozně ohrožené jsou trvale travnaté porosty a půdy s víceletými pícninami, střední ohrožení erozí trpí zemědělské půdy s obilovinami a řepkou a vysoké ohrožení erozí mají půdy s pěstovanými širokořádkovými plodinami (Holý 1994).

## **5.2 Příčiny vodní eroze**

Vodní eroze je způsobena destrukční činností deště a povrchového odtoku a následným transportem půdních částic. Intenzita vodní eroze je závislá na charakteru srážek a povrchového odtoku, půdních poměrech, morfologii území (především na sklonu a nepřerušené délce svahu), vegetačních poměrech a způsobu hospodaření na pozemcích (Papaj a kol. 2015). Na vznik vodní eroze má dále vliv náchylnost půdy k erozi, protierozní opatření a častý výskyt přívalových srážek, které střídá období sucha. Srážky jsou obecně erozně nebezpečné, pokud je jejich úhrn vyšší než 12,5 mm a intenzita vyšší než 24 mm/h. Mezi faktory zvyšující rozsah půdní eroze patří také nedostatek organické hmoty v půdě (Novotný et al. 2014)



Ochrana půdy vegetačním pokryvem je nejdůležitější od června do srpna, protože přes 80 % všech erozně nebezpečných dešťů se vyskytuje právě v tomto období. Zrychlená vodní eroze totiž půdy ochuzuje zemědělské půdy o ornici, zhoršuje fyzikálně - chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, snižuje propustnost půdy, poškozují plodiny, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv, sadby hnojiv a přípravků na ochranu rostlin, a tím snižuje i hektarové výnosy (Novotný et al. 2014).

Bleskové povodně mohou nastat i v místech, kde není žádný vodní tok, ale příznivé geomorfologické podmínky umožní rychlý povrchový odtok velkého množství spadlé vody. Hlavním zdrojem informací o bleskových povodních na území České republiky se většinou staly výkazy klimatologických a srážkoměrných stanic ČHMÚ. V geomorfologii jsou svahové procesy rozlišovány geneticky podle působícího média, které může být i činitelem transportním (např. fluviální svahové procesy, svahové procesy spojené s účinky podpovrchových vod, kryogenní svahové procesy, biologické svahové procesy) (Brázdil et al. 2007).

### **Teoretická východiska hodnocení erozního ohrožení půdy:**

Vodní eroze je kvantifikována dlouhodobým průměrným smyvem půdy  $G$  v t/ha/rok. Jednou z nejvíce používaných metod hodnocení erozního ohrožení půd je užitím Univerzální rovnice ztráty půdy USLE (3) (Wischmeier a Smith 1978).

$$(1) G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Kde  $G$  je průměrná dlouhodobá ztráta půdy v t/ha/rok,  $R$  je faktor erozní účinnosti deště, vyjádřený v závislosti na kinetické energii a intenzitě erozně nebezpečných dešťů (N/ha),  $K$  je faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti půdního profilu (t.h/MJ/cm),  $L$  je faktor délky svahu (bezrozměrný poměr smyvu ku smyvu na jednotkovém pozemku délky 22,13 m),  $S$  je faktor sklonu svahu (bezrozměrný poměr smyvu ku smyvu na jednotkovém pozemku sklonu 9 %),  $C$  je faktor ochranného vlivu vegetace (bezrozměrný poměr smyvu ku smyvu na jednotkovém pozemku s trvalým úhorem),  $P$  je faktor účinnosti protierozních opatření (bezrozměrný poměr smyvu ku smyvu na jednotkovém pozemku obdělávaném ve směru sklonu pozemku) (Wischmeier a Smith 1978).

Pokud nebude hodnota dlouhodobého průměrného smyvu půdy vyšší než hodnota dlouhodobě přípustné ztráty půdy  $G_p$ , nedojde k zrychlené erozi a půda nebude ohrožena vodní erozí. Tedy  $G_p > G$ , kde  $G_p$  je přípustná průměrná roční ztráta půdy v t/ha/rok (Novotný et al. 2014).

### 5.3 Protierozní opatření

Velké náklady, spojené s bahenními povodněmi jsou vynakládány právě na instalaci protierozních opatření. Na svazích obvykle bývá navržena instalace zatravněného pruhu po spádu na hraně obdělávaných svahů za účelem ochrany domů a komunikací. Na malých a středních povodích je preferována instalace zatravněného splavného toku a kamenné hráze v údolnici (Evrard et al. 2007). Bylo by vhodné využívat klimatických podmínek přizpůsobením zemědělských činností v souvislosti se změnou období sázení i sklizně a doporučuje se zavedení nových plodin za účelem výrazného zmírnění projevů půdní eroze. Zemědělci by měli udržovat jejich pozemky v dobré kondici a ujistit se, že eroze a odtok z jejich pozemků byly minimalizovány. Byla navržena řada konceptů na zlepšení kvality vody, na způsoby zbavení se následků půdní eroze a na řešení širších problémů životního prostředí (Mullan 2013).

Nejlepším dlouhodobým opatřením pro snížení bahenních povodní by bylo přijetí alternativních zemědělských praktik, které omezují ztrátu půdy. Patří mezi ně redukování orby nebo její úplné vynechání. Zatravněné pruhy snižují množství a rychlost odtoku. Zmírňují také erozi, a to filtrací sedimentů a infiltračním odtokem. Tato opatření vedou ke snížení transportní kapacity odtoku a tudíž ke zvýšení sedimentace (Evrard et al. 2007).

Kvůli potenciálnímu zvýšení půdní eroze následkem změny klimatu je potřeba většího prosazování existujících zemědělsko - environmentálních nařízení a také stanovit nová, která se budou zaměřovat na řešení problému půdní eroze, na její prevenci i stanovení dlouhodobého plánu, který bude založen na předpokládaných možných budoucích klimatických podmínkách a znalosti změny chování společnosti k zemědělským oblastem (Mullan 2013). V údolnici je doporučována instalace zatravněných koryt za účelem zpomalení odtoku a předejití tvorbě roklí. Pro pozdější odtok mohou být v korytech toků instalovány kamenné vodní nádrže malého měřítka (Evrard 2007).

V tabulce 5.1 jsou navržena vhodná rámcová organizační nebo agrotechnická

opatření pro jednotlivé kategorie ohroženosti půd vzhledem k hodnotě Cp. Mezi nejohroženější půdy patří takové, u kterých hodnota Cp dosahuje maximálně 0,005. Pro takové půdy je doporučována přeměna na trvale travnaté porosty. U půd silně ohrožených je vhodné pěstování víceletých píceňin.

U ohrožených půd je navrženo zamezení pěstování erozně nebezpečných plodin (kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok) a úzkořádkové plodiny pěstovat pouze s využitím půdoochranných technologií. U půd mírně ohrožených je doporučováno pěstovat úzkořádkové plodiny bez omezení a erozně nebezpečné plodiny pouze s využitím půdoochranných technologií. Půdy, u kterých Cp dosahuje hodnoty 0,6 a více jsou bez ohrožení a tudíž na nich není potřeba provádět žádné opatření.

Tyto podmínky nemusí být dodrženy na ploše, jejíž celková výměra nepřesáhne výměru 0,40 ha zemědělské půdy z celkové obhospodařované plochy za předpokladu, že směr řádků erozně nebezpečné plodiny je orientován ve směru vrstevnic s maximální odchylkou od vrstevnice do 30° a pod plochou erozně nebezpečné plodiny se nachází pás zemědělské půdy o minimální šířce 24 m, který na erozně nebezpečnou plodinu navazuje a přerušuje všechny odtokové linie procházející erozně nebezpečnou plodinou na erozně ohrožené ploše, a na kterém bude pěstován travní porost, víceletá pícnina nebo jiná než erozně nebezpečná plodina (Novotný a kol. 2014).

Tabulka 5.1: Vhodná rámcová organizační a agrotechnická opatření (Novotný et al. 2014)

Hodnota Cp	Kategorie erozní ohroženosti	Vhodná rámcová organizační nebo agrotechnická opatření
do 0,005	nejohroženější	přeměna na TTP
0,005 - 0,02	silně ohrožené	pěstování víceletých pícnin, například jetele a vojtěšky
0,02 - 0,2	ohrožené	zamezení pěstování erozně nebezpečných plodin, úzkořádkové plodiny pěstovat jen s využitím půdoochranných technologií
0,2 - 0,6	mírně ohrožené	pěstování úzkořádkových plodin bez omezení, erozně nebezpečné plodiny jen s využitím půdoochranných technologií
0,6 a více	bez ohrožení	bez omezení

### **Faktory univerzální rovnice USLE, které mohou ovlivnit a snížit riziko vodní eroze:**

Hodnotu faktoru ochranného vlivu vegetace C lze snížit změnou způsobu hospodaření, např. protierozními osevními postupy, zatravněním orné půdy apod. Hodnota faktoru protierozních opatření P by mohla být snížena protierozními opatřeními, jako je pásové střídání plodin, vrstevnicové obdělávání, hrázkování nebo důlkování. Hrázkování meziřadí brambor spočívá v zabránění vzniku povrchového odtoku. Vytvoří se akumulární prostory, které zachycují srážky. Vznikne řada malých příkopů, které brání odtoku a zadržují vodu (Slovníček pojmů webového portálu Monitoring eroze zemědělské půdy 2013). Hodnota faktoru délky svahu L může být snížena přerušením délky odtoku po pozemku např. příkopem, průlehem, cestou nebo přerušovacím pásem (Novotný et al. 2014). Přerušovací pásy jsou pásy plodiny s protierozním účinkem, které přerušují povrchový odtok. Nepěstují se zde širokořádkové plodiny. Šířka pásu musí být alespoň 12 m. Jsou umístěny tak, aby délka odtokové linie o průměrné sklonitosti do 3° byla maximálně 300 m. (Slovníček pojmů webového portálu Monitoring eroze zemědělské půdy 2013)

### *Typy vodní eroze*

*U plošné eroze* dochází k rozrušování a rovnoměrnému celoplošnému smyvu půdních částic. To je příčinou plošného odtoku a postupného snižování mocnosti půdy. Tato eroze vyplavuje jemnozrnné částice půdy, což se projevuje změnou obsahu živin v půdě změnou textury půdy, zhoršují se i chemické a fyzikální vlastnosti půdy. Tyto projevy souvisí např. i s retenčním schopností, snížením úrodnosti a snížením obsahu humusu. Přejít plošné erozi k výmolné nastává při soustředování plošného odtoku a vytváření mělkých, prohlubujících se zářezů (Novotný et al. 2014).

*Eroze rýžková a brázdová* vznikne přechodem z eroze plošné, a to již výše zmíněným soustředováním odtoku do úzkých zářezů. Hustá síť úzkých rýžek se nazývá erozí rýžkovou. Tyto rýžky jsou široké a hluboké cca 2 až 10 cm. O erozi brázdovou se jedná, pokud se odtok soustřeďuje do mělkých a širších zářezů s řidším výskytem. Brázdová eroze se vyskytuje na velkých plochách (Novotný et al. 2014)

*Při rýhové erozi se povrchově stékající voda soustřeďuje do rýh, které jsou širší a hlubší. Rýhy se spojují a prohlubují, jsou široké a hluboké 10 až 30 cm (Novotný et al. 2014).*

*Výmolná eroze je vyšším stupněm eroze rýhové, vznikají při ní výmoly s kaskádovitými stupni, které jsou hluboké a široké více než 30 cm. Eroze výmolná vzniká v místech koncentrace a soutoku přívalových vod v úžlabinách, údolnicích, cestách, příkopech a je podmíněna patřičným typem terénu, dostatečnou plochou území a půdními vlastnostmi (Novotný et al. 2014).*

Tabulka 5.2: Klasifikace plošné eroze dle intenzity odnosu půdy erozí (Novotný a kol. 2014)

Stupeň	Intenzita odnosu půdy erozí [mm/rok]	Hodnocení eroze
1	do 0,05	nepatrná
2	0,05 - 0,5	slabá
3	0,5 - 1,5	střední
4	1,5 - 5,0	silná
5	5,0 - 20,0	velmi silná
6	nad 20,0	katastrofální

V tabulce 5.2 je znázorněna klasifikace plošné eroze dle intenzity odnosu půdy erozí podle Novotného a kol. (2014). Pokud je odnos půdy maximálně 0,05 mm/rok, jedná se nepatrnou erozi, která nemá na postiženou zemědělskou oblast negativní následky. Do hodnoty odnosu 1,5 mm/rok se jedná o erozi střední, jejíž negativní dopady na půdy jsou už znatelné. V rozmezí hodnot odnosu 1,5 až 20 mm/rok probíhá silná až velmi silná eroze, která na půdním povrchu způsobuje velké škody a je zapotřebí účinných protierozních opatření. Při dosažení hodnoty 20 mm/rok a více se jedná o katastrofální erozi, která má extrémně škodlivé následky. Její výskyt není u nás příliš častý.

*Mezi agrotechnická opatření patří setí a sázení po vrstevnici a ochranné obdělávání.*

#### *Ochranné obdělávání*

Jedná se o technologii spočívající v uchování velkého množství posklizňových zbytků po předplodinách na povrchu půdy vytvářením nastýlky (neboli mulče) a v nenarušování půdního profilu, aby se zabránilo ochuzování o humus, což by zhoršilo i fyzikální vlastnosti půdy. Ochranný vliv závisí na stupni pokrytí půdy mulčem, výšce a rovnoměrnosti mulče a také na způsobu zpracování půdy, tedy hloubce a způsobu rozrušení půdního profilu, počtu pojezdů mechanizace apod.

Zasetí obilných pásů po vrstevnicích ihned po zasetí kukuřice je nejjednodušší protierozní ochranou při tradičním pěstování kukuřice na erozně ohrožených pozemcích. Ozimý ječmen je pro toto opatření vhodný, protože po zasetí na jaře nemetá a tím nekonkuruje kukuřici, která v prvotním stadiu vývoje špatně odolává ostatním plodinám (Novotný et al. 2014).

### ***Setí a sázení po vrstevnicích***

K ochraně půdy před erozí je možné přispět orbou po vrstevnicích nebo s malým odklonem od vrstevnic otočnými pluhy, které mohou překlápět půdu proti svahu. K protierozní ochraně také přispívají provádění další agrotechnické operace (setí a sázení, ostatní kultivace a sklizňové práce), které jsou prováděny tímto způsobem (Novotný et al. 2014). Mezi další agrotechnická opatření patří hrázkování, důlkování, plečkování, dlátování nebo podrývání. Podrývání je agrotechnické opatření, při kterém se kypří a provzdušňuje podorniční vrstva půdy, ale nevynáší se na povrch půdy (Slovníček pojmů webového portálu Monitoring eroze zemědělské půdy 2013). Protierozní agrotechnická opatření zvyšují retenční schopnost půdy, snižují její erodovatelnost a chrání půdní povrch před přívalovými srážkami hlavně v období od června do srpna, kdy erozně nebezpečné plodiny (kukuřice, brambory, cukrová řepa, slunečnice apod.) svým vzrůstem nedostatečně kryjí půdu (Novotný et al. 2014).

*Technická opatření* zahrnují příkopy, průlehy, zatravněné údolnice se stabilizovanou dráhou soustředěného odtoku, polní cesty s protierozní funkcí, ochranné hrázky, ochranné nádrže, terénní urovnávky, protierozní meze, terasy, asanace erozních výmolů a strží (Novotný et al. 2014). Průlehy obvykle plní protierozní funkci při srážkách, které mají nižší dobou opakování. Podporují retenční schopnosti krajiny, slouží k omezení rizik vodní eroze a zabraňují smyvu půdy do zastavěného území. Průlehy musí zachytit odtoky ze srážek s dobou opakování  $N_{100}$ , aby mohly plnit funkci protipovodňových opatření, které slouží k ochraně intravilánu (Podhrázká et al. 2011).

V *zatravněných pásech* neprobíhala žádná důležitá reinfiltrace, vedoucí ke zmírnění následků extrémních srážek. To je příčinou velkého zpevnování půdy (v zatravněných pásech je hustota 1,59 g/cm<sup>3</sup> a průměrná hodnota v obilných oblastech je 1,43 g/cm<sup>3</sup> v obilných oblastech v belgické sprašové oblasti. To potvrzuje výsledky dešťových simulací, provedených v belgické sprašové oblasti, ukazující, že

zatravněné pruhy mají vyšší odtokový koeficient (62 - 63 %) (Evrard 2008).

## **Opatření organizačního charakteru**

### *I. Optimální tvar a velikost území*

Základem organizačních protierozních opatření je lokalizace půdního bloku delší stranou ve směru vrstevnic, což umožňuje obdělávání po vrstevnici a zkracuje délku půdního bloku po spádnici. Doporučuje se také, aby tato délka půdního bloku ve směru odtokových linií nepřekračovala maximální přípustnou délku (vypočtenou např. dle Univerzální rovnice ztráty půdy USLE) (Novotný et al. 2014).

### *II. Vhodné umístění pěstovaných plodin, včetně ochranného zatravnění*

Vhodné umístění pěstovaných plodin spočívá v preferenci pěstování erozně nebezpečných plodin na neohrožených nebo mírně ohrožených půdách. Zatravněny a pravidelně sečeny by měly být pásy podél břehů vodních toků a nádrží, dráhy soustředěného povrchového odtoku, profily průlehů, mělké půdy apod. Pokud má ochranný travní pás chránit kvalitu vody před erozí a zachycovat smytou zemi- nu, neměl by být širší než 6 m na každém břehu. Účelem ochranných travních porostů je zvyšování drsnosti povrchu, přispívají také k zachycení smyté zeminy a zpomalují povrchový odtok (Novotný et al. 2014).

### *III. Pásové pěstování plodin*

U pásového střídání plodin se střídají různé široké pásy erozně nebezpečných plodin (kukuřice, brambory, slunečnice a další širokořádkové plodiny) a plodin, které více zabraňují erozi (obilniny, pícniny i travní porost). Pásy by měly být vedeny ve směru vrstevnic s maximálním odklonem do 30° (Novotný et al. 2014).

Podhrázská a kol. (2011) popsala nejčastěji používaná PEO opatření z povodní v roce 2009 a zhodnotili jejich průměrnou efektivitu.

Podle zprávy ČHMÚ není možné spoléhat jen na opatření, které zvyšují retenční schopnost. Hydrologické hodnocení povodní v červnu 2009 ukázalo, že retenční schopnosti v nejvíce zasažených povodích nejsou tak malé, ale při extrémně intenzivních srážkách nezachytí tak velké odtokové množství. Vzhledem ke zkušenostem z minulých událostí je potřeba k jednotlivým územím přistupovat individuálně a zkoumat jeho možnosti a limity vzhledem k plánování investic do technických i přírodních opatření (Podhrázská et al. 2011).

Tabulka 5.3: Účinnost PEO a PPO (Novotný a kol. 2014)

Realizovaná opatření	Efektivita
Zatrávněné meze a průlehy	Zabránění v průniku přívalových vod do zastavěné oblasti
Nádrž	Ochránění zadržením extrémních srážek s postupným odvodem vody v recipientu
Suchá nádrž	Ochrana zástavby zadržením vody v poldru nad zástavbami
Polní cesta s příkopy	Extrémní srážka a naplavení ornice způsobilo škody na vybudovaném PEO zařízení
Záchytný průleh	Plně funkční
Zatrávnění svahu, rekonstrukce cesty, kamenný taras se žlabovkami	Systém opatření bezpečně ochránil pod ním ležící nemovitosti
Protierozní příkop a meze	Účinný, funkční a kapacitně dostačující
Ochranný kanál	Funkční, kapacitně dostačující
Suchý poldr	Funkční, kapacitně dostačující, v průměru naplněn na cca 65 %
Zatrávnění, vodní nádrž	Funkční
PPO a PEO příkopy	Plně funkční, prověřený bleskovými srážkami
Poldry, cesty ve výstavbě	Poldry plně funkční
Záchytný příkop a polní cesta	Zabránily rozsáhlejší škodám na majetku v intravilánu obce

Z pohledu pozemkových úprav není ekonomicky ani ekologicky výhodné sestrojít v ploše povodí tak kapacitní opatření, která by zadržela kulminační průtoky po extrémních lokálních srážkách  $N_{100}$  nebo vyššími (Podhrázská et al. 2011).

**Kotrnc a Pokorný (2006) vytvořili stupnici šesti klasifikačních kategorií, stupňů intenzity zasažení:**

- I. nevýznamná eroze  
 $q_iN$  , N-letý průtok není větší než 200 l/s.ha  
 $e_iN$  , eroze nepřevyšuje hodnotu 5 t/rok.ha
- II. slabá eroze  
 $q_iN$  , N-letý průtok nepřesahuje 250 l/s.ha  
 $e_iN$  , eroze nepřevyšuje hodnotu 8 t/rok.ha
- III. střední eroze  
 $q_iN$  , N-letý průtok nepřesahuje 315 l/s.ha



eiN , eroze nepřevyšuje hodnotu 24 t/rok.ha

IV. vysoká eroze

qiN , N-letý průtok nepřesahuje 380 l/s.ha

eiN , eroze nepřevyšuje hodnotu 80 t/rok.ha

V. velmi silná eroze

qiN , N-letý průtok nepřesahuje 460 l/s.ha

eiN , eroze nepřevyšuje hodnotu 320 t/rok.ha

VI. extrémní eroze

qiN , N-letý průtok převyšuje 460 l/s.ha

eiN , eroze převyšuje hodnotu 320 t/rok.ha

Současná právní východiska naší protipovodňové a protierozní ochrany nacházíme především v dokumentech Vodohospodářská politika ČR pro období po vstupu do Evropské unie na léta 2004 až 2010, Politika územního rozvoje ČR po vstupu do Evropské unie do roků 2020 až 2040. Mezi strategické cíle všech strukturálních resortů i dalších orgánů státní správy a samosprávních subjektů patří Systémová opatření v oblasti zmírnění negativních účinků vod, Prevence před povodněmi a Zjišťování stavu povrchových a podzemních vod (Kotrnc et al. 2006). Z dynamického časoprostorového hodnocení výskytu povodní a eroze za období 1881 až 2004 vyplývají následující režimové informace z tabulky 5.4.

Tabulka 5.4: Stupně a poškození půdy (Kotrnc et al. 2006)

Klasifikační stupeň	I°	II°	III°	IV°	V°	VI°
Poškození půdy (%)	27,23	46,52	20,05	4,75	1,19	0,26

Různé státní úrovně poskytují odlišné prostředky ke zmírnění nebo dokonce k vyhnutí se škodám, způsobených těmito povodněmi. Nejčastějším způsobem je výstavba retenčních rybníků. Tyto rybníky zadržují odtok, způsobený po bouřích po určitý čas a tím limitují maximum odtoku na přijatelnou úroveň pro odtokový systém. Po několika letech mohou být tyto rybníky kompletně zaplněny sedimenty, které redukují jejich vodní retenční kapacitu.

Náchylnost nemovitostí a komunikací k zaplavení malého měřítka a bahenním povodním reprezentuje velmi důležitou část z celkové škody způsobené těmito povodněmi (Verstraeten 1999). Fyzikální parametry a lidské zásahy do krajiny ovlivňují náchylnost a zranitelnost krajiny. Základní nebezpečí přírodního typu,

v tomto případě srážky jako řídicí a spouštěcí síla, nemůže být ovlivněna člověkem. Jako ochrana před konfrontací s bahenními povodněmi a také za účelem snížení odtoku by měla být prosazována stavba obytných domů na bezpečnějších místech (Vestraeten 1999)

## 6. Vybrané události bahenních povodní

### 6.1 Kokořínsko

V sobotu 20. září 2014 postihly Kokořínský důl v CHKO Kokořínsko (Máchův kraj) povodně z přívalových srážek. Velký objem vody spolu se splavenou zeminou a jiným materiálem z polí a lesů přiteklo bočními kaňony až na dno údolí. Podstatná část vody se zadržela v mokřadech, lukách a olšinách v nivě Pšovky, odkud dlouhou dobu odtékala. Škody tak způsobila ve většině případů voda tekoucí z polí a lesů nad nivou ještě předtím, než dotekla do potoka (Správa CHKO Kokořínsko 2014).

Ke zhoršení stavu přispívaly rozsáhlé lány polí nad údolím Pšovky. Chybí zde prvky, které by zadržovaly vodu již nad údolím. Jednalo by se o meze, zasakovací příkopy a nádrže, zatravněné okraje polí nad údolím atd. Lesní cesty také plní úlohu koryt vedoucí vodu rychle až do údolí. Pouze v některých případech jsou tyto cesty odvodněny tak, aby se většina vody z nich zasakovala v lesních porostech co nejdříve. Příkladem může být cesta v Boudecké rokli, kde byl projekt upraven tak, aby co největší množství vody bylo zadrženo přímo v půdě v lesních porostech, kde je to naopak velice potřebné (Správa CHKO Kokořínsko 2014).

Kokořínský důl je přírodní rezervace, vyhlášena roku 1953 a zaujímající rozlohu 20,97 km<sup>2</sup>. Nachází se v nadmořské výšce 207 - 398 m v oblasti České křídové pánve v Jizerské křídě a v křídě dolního Labe, Ploučnice, Kamenice a Děčínského Sněžníku v Českém masivu. Z toho většina spadá do okresu Mělník a pouze 0,20 km<sup>2</sup> je v okrese Česká Lípa. Kokořínský důl je jádrem CHKO Kokořínsko. Jsou zde nejlépe v Evropě doložena počáteční stadia rozpadu kvádrových pískovců. Působením vnějších geomorfologických činitelů dochází k tzv. zvětrávání, jehož důsledkem jsou různé zajímavé tvary jako tzv. pokličky, voštiny, skalní okna, skalní brány, římsy, výklenky a pseudoškrapy (Němec 1981). Významné jsou též mokřady podél toku Pšovky. Pšovka se zařezává do středně zrnitých až hrubozrnných křemenných pískovců svrchní části jizerského souvrství. Pískovce jsou většinou dobře vrstvené, místy s drobným šikmým zvrstvením, tvoří řadu drobných, nahoru hrubozrnných cyklů. Ve svrchních částech profilů se vyskytují také vápnité pískovce a mechovkové vápence. Proželeznění pískovců

místa dosahuje velkého měřítka a podminuje tvarů selektivního zvětrávání a eroze (Pokličky, Jestřábské Pokličky, roklo Močidla) (Němec 1981).

Území CHKO Kokořínsko je tvořeno náhorní plošinou rozbrázděnou sítí hlubokých dolů a rozkládá se mezi Polabskou nížinou a Jestřebskou vrchovinou. Jeho nejvyšším bodem je na severu kopec Vlhošť (613,5 m n.m.) a nejnižším niva potoka Liběchovka v obci šelízy (175 m n.m.). Pískovec patří mezi horniny velmi dobře propustné pro vodu, která přitom rozpouští různé minerály. Když se z povrchu skal část této vody vypařuje, dochází k opětovnému vysrážení těchto minerálů, a to buď na povrchu skály nebo těsně pod jejím povrchem. Tento jev může mít za následek dva navzájem opačné jevy (AOPK 2010). Vzniklé krystalky naruší soudržnost povrchové části skály, která pak odpadává často v podobě tenkých šupinek (tzv. solné zvětrávání). Některé minerály však mohou zrnka písku naopak ještě více zpevnit (opál, sloučeniny železa), čímž vzniká skalní křusta chránící povrch skal před další erozí. Často dochází ke kombinaci obou těchto jevů, což vede ke vzniku různých útvarů na povrchu skal. Vodní, mrazová, větrná i solná eroze spolu s rušivou činností živočichů a rostlin způsobuje porušení soudržnosti určitých vrstev. Rušivá činnost kořenů může časem ze skály uvolňovat i velké bloky a způsobovat skalní řícení (např. kořeny borovice, aj.) (AOPK 2010).

## 6.2 Střední Belgie

Celkem 79 % městských úřadů v centrální Belgii nahlásilo za poslední desetiletí minimálně jednu bahenní povodeň v jejich oblasti. 22 % z nich bylo během tohoto období postiženo více než desetkrát. V 64 % případů usnadnily přesun odtoku vody mezi obdělávanou půdou a obydlenými oblastmi zpevněné cesty a odtokový systém. V průměru každou obec Belgického sprašového pásma o rozloze 43,5 km<sup>2</sup> postihne 3,6 bahenních povodní za rok. V centrální Belgii hraje roli také zvyšování suburbanizace. Z regionální databáze plyne, že 30 % zaplavených oblastí obsahovalo nové zástavby (Evrard et al. 2007). Povodně malého měřítka nejsou ve střední Belgii jen velice rozšířeným problémem, ale také jedním z problémů s relativně vysokou frekvencí (Verstraeten 1999).

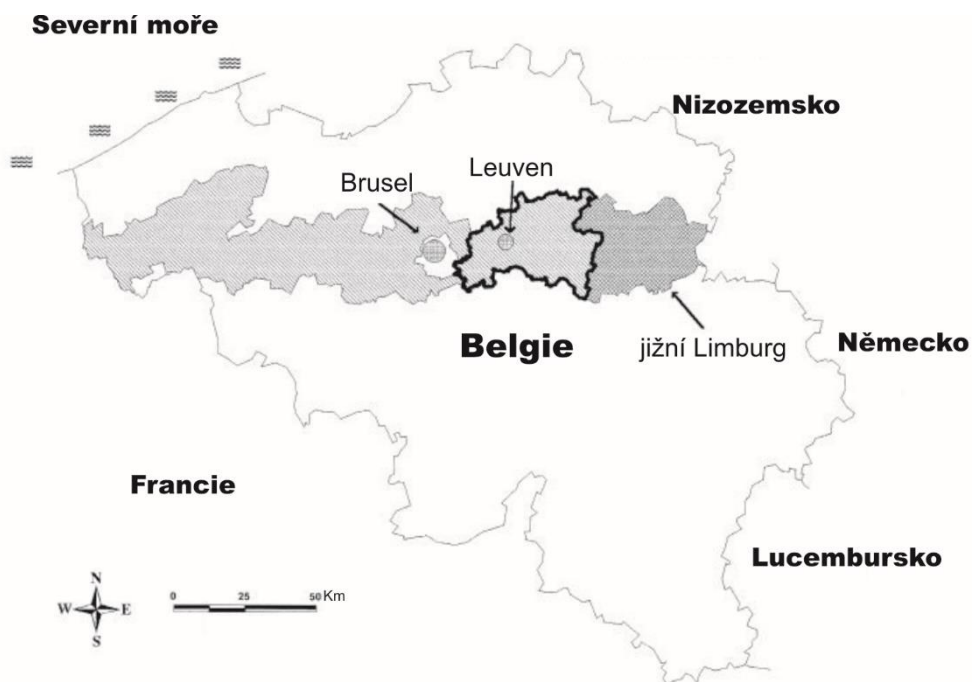
Zkoumaná oblast obsahuje 137 obcí pokrývajících území o celkové rozloze 5 516 km<sup>2</sup>. Data byla obdržena z dotazníků, které byly poslány 137 vybraným obcím za účelem stanovení počtu obcí, které se občas s bahenními povodněmi potýkají. Ve střední Belgii byly instalovány retenční nádrže. Po instalaci těchto dvou

nádrží byl ve výpusti za nádržemi zpozorován zvýšený odtok jen během třinácti událostí. Tyto události odpovídají dlouhotrvajícím obdobím deště v zimě (>30 mm během 48 h) nebo velkým bouřím od května do srpna (>20 mm během několika hodin). Odtok byl snížen během 5 -12 h za sérií tří nádrží. Průměrná doba trvání zvýšeného odtoku byla o 38 % delší ve výpusti než na horním toku řeky, kde je aplikován zatravněný pás (Evrard 2008).

Oddálení příchodu zvýšeného odtoku bylo ve střední Belgii po instalaci kontrolních zařízení navýšeno v průměru o 75 %. Velké množství sedimentů bylo zachyceno za první nádrží. Koncentrace sedimentů odtoku v první nádrži je snížena v průměru o 86 % a díky zachycení ve druhé nádrži nastalo snížení o dalších 16 %. Zachycování sedimentů je velmi velké a nastává hlavně za první nádrží, kromě extrémních událostí. Tato pozorování potvrzují hlavní výsledky základního modelovacího cvičení, podle kterého zatravněné pásy vedou k 50% snížení maxima. Poznatky souhlasí s výsledky podobné studie, která zkoumala vliv zatravněných pásů na odtok a erozi v malých povodích v jižním Německu. Německé rybníky byly velmi efektivní v zachycování sedimentů (bylo zachyceno 50-80% sedimentů) a ve snižování maximální odtokové míry (Evrard 2008).

Ve střední Belgii byl zkoumán přenos bahenních povodní z obdělávané půdy do oblastí s veřejnou infrastrukturou během povodňových událostí. Síť cest je spojnici v 31% případů, zatímco existující odtoková síť (koryto vodního toku, příkopy nebo propust) zajišťuje přenos v 33 % případů (Evrard et al. 2007). V příloze č.5 se nachází prostorové rozložení povodní malého měřítka a bahenních povodní v odtokové oblasti pohoří Cicindria (jižní Limburg, Belgie). Jsou zde vyznačeny lokality bahenních povodní způsobené odtokem z obdělávaných oblastí, lokální povodně a bahenní povodně vzniklé zaplavením pohoří Cicindria a zaplavení z důvodu meteorologických podmínek. Opět zde platí to, že většina oblastí, kde se objevily bahenní povodně z obdělávaných oblastí jsou situovány na údolnici.

V příloze č.4 se nachází fotografie z události bahenních povodní z přívalových srážek v místě Rillen, SV od Leuvenu. K události došlo 13. - 14.září 1998.



Obrázek 6.1: Mapa oblastí, ve kterých se nachází 137 studovaných obcí střední Belgie (jednoduše šrafovaná plocha), což zahrnuje detailní studii oblastí jižního Limburgu (složená šrafura) (Evrard et al.2007 + vlastní úprava)

### 6.3 Slovensko

Koncentrace ronů na dnech suchých údolí v době extrémních událostí a tím způsobené lineární eroze často přerůstají do bahenních povodní. Nejčastější výskyt tohoto jevu ve Starej Turej byl v širokém suchém údolí, známém jako Lazový jarok, a to 1.7.1995, 6.6.1981, 24.5.1986 a 8.6.1990. Proudby bahenní vody sedointravilánu obce dostaly přes tunel v násypu železnice. Po prvních povodních byla na odvedení případných dalších záplav jiným směrem vybudovaná betonová zeď a kanál s velkou kapacitou (Stankoviansky a kol. 2012). Proudby bahenní vody se do intravilánu dostaly tunelem v násypu železnice. Po prvních povodních byl za účelem odvedení případných dalších záplav jiným směrem vybudovaná betonová zeď a velkokapacitní kanál. Zvýšenou intenzitu ronových procesů v pokolektivizačním období v porovnání s předcházející periodou jejich utlumené aktivity dokumentují mocné nánosy půdy pod svahy, uložené až po tzv. hospodářsko - technických úpravách pozemku, jejichž hloubka dosahuje místy až do 1 m.

Mezi největším projevem často katastrofálního působení ronových procesů v tomto období bylo vytvoření sítě permanentních výmolů. Vlhké klima se projevilo také aktivací sesuvů. Kombinované působení plošné ronové eroze a orbové eroze mělo za následek snižování hor a svahů (Stankoviansky a kol. 2012).

Stará Turá leží v SV části Myjavské pahorkatiny v širokém údolí potoka Teplica. Část katastrálního území leží v Bílých Karpatech. Myjavská pahorkatina i Bílé Karpaty jsou součástí Slovensko-moravských Karpat. Katastrální území Stará Turá je situované v horní části povodí Dudváhu, převážně v povodí jedné jeho zdrojnic - Teplica, částečně v povodí jeho pravostranného přítoku Kostolníka. Nejvyšší bod území se nachází na nejvyšší hoře Bílých Karpat, který představuje hranici Slovenské a České republiky, a to asi 100 m JZ od Malé Javořiny (964 m) ve výšce 960 m. Nejnižší bod (238 m) je v místě, kde potok Kostolník opouští toto území. V příloze č.2 se nachází mapa studovaného území (Stankoviansky a kol.2012)

**Geologický podklad** k.ú. Staré Tury patří do třech základních geologických jednotek a to od S na J do flyšového pásma vnějších Karpat, bradlového pásma a pásma vnitřních Karpat. Ve flyšovém pásmu se nachází pískovcový flyš (křída) a převážně jílový flyš (paleogén). Výplně dna údolí jsou tvořené ve spodní části štěrkem, místy hlinitým, o mocnosti několika metrů, nad nimi se v nepravidelných tenkých vrstvách vyskytuje písek a nejsvrchnější část je tvořena povodňovými hlínami o mocnosti 1 - 3 m. Převažujícími půdními typy v k.ú. Stará Turá jsou kambizemě a luvizemě. Lokálně, zejména na sprašových sedimentech, vznikly luvizemě pseudoglejové. Na podložích vápnatých pískovců, jílech a slepencích v místech s hrubší vrstvou zvětralin se vytvořili kambizemě nasycené, na plyšových zvětralinách kambizemě rendzinové (Tarábek 1985).

**Z klimatických faktorů** jsou pro recentní vývoj reliéfu významné zejména atmosférické srážky, které mají přímý vliv na průběh ročních, uviálních a do značné míry i gravitačních procesů. Jejich průměrný roční úhrn se pohybuje do 650 mm v nejnižších polohách až do 900 mm v polohách nejvyšších. Největší geomorfologický efekt a environmentální dopad mají extrémní srážky, a to zejména v jarních a letních měsících. Výraznou aktivaci a efektivitu geomorfologických procesů způsobuje i náhlé tání většího množství sněhu, zejména v Bílých Karpatech. (Stankoviansky et al. 2012)

Klíčovou **metodou hodnocení** reliéfu, který prováděl Stankoviansky a kol. (2012) byl detailní terénní výzkum spojený s geomorfologickým mapováním v měřítku 1 : 25 000. Při hodnocení recentního vývoje reliéfu byly použity letecké snímky, rozhovory s místními odborníky, katastrální mapy z přelomu 19. a 20. století, současné topografické mapy a fotografická a mapová dokumentace postižených lokalit během extrémních událostí. V příloze č. 3 se nachází mapa typů reliéfu studované oblasti, na které jsou znázorněny i dráhy častých bahenních povodních

## 6.4 Sedlec u Mšena, Mělník

Dne 20.9.2014 se od 15:00 do 16:00 vyskytl přívalový déšť, který zasáhl k.ú. Sedlec u Mšena a Kanina, které náleží do obce Mšeno, okresu Mělník ve Středočeském kraji. Během 1 hodiny spadlo více jak 65 mm srážek. Došlo k plošné a rýhové erozi. Voda způsobila přívalovou povodeň v Kokořínském Dole. Ornice z polí natekla do Vrbodolu, Kačiny a Kokořínského Dolu. Voda odplavila jen půdu z povrchu, půda těsně pod povrchem je tak ztvrdlá, že voda na ni nepůsobí erozně, ovšem se ani nezasakuje. Povodeň nastala na půdním bloku o rozloze 33,78 ha o sklonu 3°. Hlavní pěstovanou plodinou je řepka ozimá. (VÚMOP 2014). Dle limitů hospodaření podle GAEC 2 86 % daného půdního bloku spadá do kategorie neohrožených půd a 14 % spadá do kategorie mírně erozně ohrožených půd. Bahenní povodeň způsobila škody na komunikacích. Na 54 % plochy není třeba žádného opatření, na 32 % území je doporučeno pěstování úzkořádkových plodin bez omezení, širokořádkové plodiny však pouze s využitím půdoochranných technologií. Na 14 % plochy je navrhováno vyloučení pěstování širokořádkových plodin a úzkořádkové plodiny pěstovat jen s využitím půdoochranných technologií. Je doporučeno přimět zemědělce k hluboké orbě, k zatravnění pruhů nad roklemi a k osevu vhodných plodin (VÚMOP 2014).

Sedlec u Mšena má rozlohu 9,3 ha a nachází se v nadmořské výšce 335 m n.m. Území se rozkládá na pomezí dvou geomorfologických celků - jihovýchodní polovina náleží k Jizerské tabuli, zatímco ostatní části k Ralské pahorkatině. Okres Mělník leží v severní části středních Čech a je rozložen téměř souměrně kolem soutoku Labe a Vltavy (ČGS 2015). Na obrázku 6.3 je zobrazena poloha postižené oblasti.

Zemědělská půda okresu zaujímá 66,1 % rozlohy okresu a na 18,8 % se rozprostírají lesy. Oblast je převážně rovinatá, má nížinný charakter. Pro příhodnou polohu v povodí velkých řek v nížinné oblasti a plodnost půdy bylo území okresu až do poloviny minulého století především zemědělskou oblastí. Vybudováním mohutné základny chemického průmyslu po druhé světové válce se však původní zemědělský charakter okresu výrazně změnil (AOPK 2010).

Na obrázku 6.2 je znázorněna geologická mapa oblasti Mšena. Mezi nejvíce zastoupené horniny patří pískovce, písčité vápence, spraše a sprašové hlíny. Dále také písčito-hlinité a hlinito-písčité sedimenty.





Obrázek 6.2: Geologická mapa oblasti Mšena a okolí. 6 - nivní sediment, 7 - smíšený sediment, 12 - písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment, 16 - spraš a sprašové hlíny, 17 - spraše a sprašové hlíny, 294 - písčité vápence biodetritické, 295 - pískovce křemenné, podřízené štěrčíkovité pískovce, 183 - alk.ol.bazalt - limburgit, 210 - alk.bazalt -tefrit - augitit (ČGS 2015)



Obrázek 6.3: Poloha oblasti výskytu bahenních povodní v Sedlci u Mšena (ČGS 2015)

## 6.5 Slavičky, Třebíč

Dne 20.4.2015 ve 13:52 došlo k erozi plošné, rýžkové, rýhové a také ke splavování ornice nad polní cestou. Komunikace byla neprůjezdná a voda přetékala přes polní cestu. Došlo k vymílání zaseté plodiny v nejnižší části údolnice.

Tento postižený půdní blok má rozlohu 12,84 ha a sklon povrchu  $3,5^\circ$ . Dle limitů hospodaření podle GAEC 2 náleží 10 % do kategorie Mírně erozně ohrožených půd a 90 % do kategorie Neohrožených půd. Doporučené hospodaření podle Cp: 25 % plochy je bez ohrožení a omezení, 64 % náleží do mírně ohrožených půd a 11 % do

kategorie ohrožených půd. Hlavní pěstovanou plodinou byla řepka ozimá (VÚMOP 2015). Fotografie viz. příloha 7.

## 6.6 Praha 2002

V morfologicky složitých podmínkách např. vnitřní Prahy nebo v místech, kde do údolí Vltavy ústí boční rokle či se vyskytují různé překážky, došlo k sedimentaci v průměru 10 - 30 cm mocné vrstvy bahna, která místy (v Libeňském přístavu) pokrývala plochu až několika hektarů, ale většinou se vyskytovala v pruzích o šířce kolem 10-30 cm. V místech, kde je okolí řeky široce rozevřené a bez překážek, došlo k usazení jen velmi tenké, obvykle 3-20 mm mocné vrstvičky bahna, která posléze zanikala sloupáváním, rolováním a opadem z vegetace (Cílek 2002).

Velmi řídké bahno v průběhu dalších dvou až tří týdnů sesychalo, zmenšovalo svůj objem až o 40 % a rozpadalo se do sítě bahenních prasklin. Téměř okamžitě po povodni 2002 v Praze docházelo k silně nerovnoměrnému, ale místy rychlému ničení vzniklých útvarů, a to zejména lidskou činností a erozí způsobenou několika dalšími povodňovými náběhy. Bahnité náplavy jsou ničeny zejména rozšlapáním a rychle rostoucí vegetací (Cílek 2002).

K neobvyklému vývoji došlo během zimy voda zatékající pod bahnité náplavy mrzla a místy (v Praze Holešovicích u tramvajového mostu) nadzvedávala průměrně 1-1,6 m široké ovály či kruhy až o 20 cm. Na zemědělsky obdělávaných plošinách nad řekami bylo pozorováno silné zvlhčení půd doprovázené bahnotoky. Z praktického hlediska považujeme za zcela zásadní (byť jakkoliv samozřejmé) následující pozorované jevy: v ploché nezastavěné nivě, např. Labe pod soutokem s Vltavou, voda při povodni plyne sice 8 m nad normálem, ale nečekaně klidně. Téměř neeroduje a usazuje jen tenké polohy písku či bahna. Naproti tomu v členité či zastavěné nivě je schopná ničit komunikaci či přemísťovat půlmetrové kameny (Cílek 2002).

## 6.7 Společné rysy lokalit povodňových událostí

Bahenní povodně se nejčastěji vyskytují na půdních blocích se sklonem od 2,2° do 3,5°. Ve výše zmíněných postižených oblastech mají půdní bloky nejčastěji sklon povrchu 3,2°. Pokud je sklon půdního povrchu větší než 3,5°, jedná se o území, ze kterého vzniklá bahenní povodeň způsobí značné škody po transportu do intravilánu a do oblastí s veřejnou infrastrukturou. Je zapotřebí monitoringu těch zemědělských oblastí, které se svými charakteristikami dají považovat za rizikové. Ke zhoršení následků přispívá také pěstování širokořádkových plodin jako je řepka ozimá, brambory, jarní obilovina a jeřina. V mnohých případech zemědělci nedbali

na protierozní doporučení a praktikovali setí ve směru údolnice spolu s pěstováním již zmíněných plodin a nadměrnou orbou. V ČR nejsou poskytovány dostatečné finanční prostředky k vybudování účinných a kvalitních protierozních a protipovodňových opatření. Náchylnost k vyšší půdní erozi a většího množství akumulovaného materiálu v odtoku je přítomnost sprašových půd. V Evropě se bahenní povodně vyskytují právě v těchto oblastech. Častým případem je usnadňování šíření odtoku s akumulovaným materiálem do intravilánu liniovými prvky, jako jsou cesty, silnice, příkopy, strouhy apod.

Pokud území splňuje tyto charakteristiky a stane se oblastí výskytu přívalových srážek, je velice pravděpodobné, že bahenní povodně budou mít škodlivé následky, obzvláště pokud by se jednalo o zemědělskou oblast ve více zalidněném území. Dalším faktorem, který přispívá k velikosti bahenních povodní je nízká schopnost infiltrace půd a řídké pokrytí vegetací, která by jinak mohla půdní povrch alespoň z části chránit.

## 7. Metodika

Data v několika zmíněných studiích byla obdržena z průměrů odpovědí v dotaznících, z pozorování a novinových článků. Dotazníky byly vytvořeny za účelem stanovení počtu obcí, které se potýkají právě s bahenními povodněmi. Další technikou, jak zhodnotit rozsah a důležitost povodní malého měřítka bylo sbírání novinových článků, které tento problém zmiňují (Verstraeten 1999).

Klíčovou metodou hodnocení reliéfu je detailní terénní výzkum spojený s geomorfologickým mapováním. Při hodnocení recentního vývoje reliéfu byly ve slovenských studiích použity letecké snímky, rozhovory s místními odborníky, katastrální mapy, současné topografické mapy a fotografická a mapová dokumentace postižených lokalit během extrémních událostí (Stankoviansky a kol. 2012).

Výběr konkrétních rozebíraných událostí bahenních povodní byl založen na charakteristice oblastí z hlediska sklonu jejich povrchu, rozlohy, místním klimatu, geologických poměrech, stupně ohroženosti erozí, antropogenních vlivů apod. Bylo obtížné dohledat události bahenních povodní na území České republiky, protože tento jev není u nás takto samostatně evidován. Na stránkách Monitoringu eroze půdy bylo nutné hledat v katalogu erozních a povodňových událostí dle typů vyskytované eroze a jednu událost po druhé zkoumat, zda na daném území proběhly povodně z přívalových srážek. Ty však musely zapříčinit transport akumulovaného materiálu ze zemědělských oblastí, který způsobil škody na obdělávané půdě, na komunikacích, veřejné infrastruktuře a v intravilánu. Společné charakteristiky těchto oblastí byly shrnuty a použity v průběhu práce. Zahraniční lokality byly vybrány dle frekvence výskytu a množství akumulovaného materiálu během bahenních povodní na daném území.

## 8. Závěr

Fenoménu bahenních povodní není v České republice věnována dostatečná pozornost. Proto by bylo dobré doporučit a navrhnout několik opatření. Mezi ně by patřilo zavedení systematické evidence výskytu významných přívalových povodní (s dobou opakování kulminačního průtoku alespoň 100 let) s cílem zjištění možného trendu v četnosti jejich výskytu, zpracování radarových odhadů sum srážek (za cca 30 min až 3 hodiny) za účelem detekce oblastí s frekventovanějším výskytem přívalových srážek. Dále zpracování, aktualizování a zveřejnění povodňových plánů a vylepšení záložních způsobů komunikace. Potřebné je také zlepšení znalostí místních podmínek, kritických míst při odtoku dešťových srážek, zaplavení a vodní eroze a tyto znalosti přenést alespoň do povodňového plánu (Šercl a kol.2009).

Do budoucna je nutností počítat s výskytem povodní z přívalových srážek a není možné vyloučit, že s případnými dopady změn klimatu může jejich výskyt narůstat. Na základě údajů z posledních 15-20 let se zdá, že počet přívalových povodní a obecně extrémních hydrologických jevů narůstá, ale na druhé straně je potřeba konstatovat, že v této době se velmi zvýšila obecná informovanost o zmíněných jevech, což může tuto skutečnost částečně i zkreslovat. Fakt, že extrémní přívalové povodně nejsou na území ČR z dlouhodobého hlediska výjimečným jevem, je potvrzen historickými záznamy (např. v roce 1875 a v květnu 1872) (Šercl a kol. 2009).

Předpověď povodní z přívalových srážek je značně omezena, a to vzhledem k prudké dynamice vývoje konvekční oblačnosti, ze které vypadávají přívalové srážky. I když meteorologické podmínky pro vznik silných přívalových srážek mohou být celkem úspěšně předpověděny, přesnou lokalizaci výskytu, trvání a intenzitu přívalových srážek a tedy i oblast případného výskytu přívalových povodní pomocí standardních meteorologických modelů (např. ALADIN) predikovat v podstatě nelze (ČHMÚ 2015). Existuje několik přístupů pro varování a zmírnění dopadů tohoto jevu, jedním z často zmiňovaných jsou lokální varovné systémy. Ty mohou vcelku dobře posloužit v rámci menší oblasti, pro celé území ČR je nutno najít jiné efektivní řešení. To musí být dostatečně přesné, rychlé a robustní, tedy nenáročné na vstupní data (Unucka a kol. 2010).

Věřím, že informovanost a zájem o fenomén bahenních povodní bude stále narůstat a s ním i aplikace protieročních a protipovodňových opatření v zemědělských oblastech za účelem předejití nebo zmírnění negativních následků tohoto fenoménu.

## Literatura

### Elektronické zdroje

- 1) Agentura ochrany přírody a krajiny [online]. 2015 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: <http://kokorinsko.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/geologie/>
- 2) BAROŇ, . *GeoHAZARDY - Katalog geologických rizik* [online]. 2015 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/geohazardy/katalog/geohazard-28>
- 3) ČHMÚ: *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. 2015 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/les/portal/doc>
- 4) Česká geologická služba [online]. [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: <http://geology.cz/extranet>
- 5) EVRARD, O. *Spatial and temporal variation of muddy floods in central Belgium, off-site impacts and potential control measures* [online]. 2007, (70): 443 - 454 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- 6) FAVIS, D. *Soil Erosion Site* [online]. 2005 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: <http://soilerosion.net/doc/off-site.html>
- 7) Helmholtz Zentrum für Umweltforschung [online]. 2015 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: [www.ufz.de/index.php?en=15536](http://www.ufz.de/index.php?en=15536)
- 8) PAPAJ, V. *Metodický postup pro Monitoring eroze zemědělské půdy* [online]. 2015 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: <http://me.vumop.cz/mapserv/monitor/postup.php>
- 9) *Povodňový informační systém* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2006 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: [http://www.povis.cz/mzp/Povodne\\_indd.pdf](http://www.povis.cz/mzp/Povodne_indd.pdf)
- 10) ŠERCL, P. *Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky* [online]. 2009 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/pov09/doc/03.pdf>
- 11) UNUCKA, J. *Bleskové povodně - návrh metodiky stanovení ohrožení území a varovného systému* [online]. 2010 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: [www.gis.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ/\\_5/\\_5.pdf](http://www.gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ/_5/_5.pdf)
- 12) WISCHMEIER, a H. SMITH. ): *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning.: Agr. Handbook* [online]. 1978 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: [www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ad\\_hoc/36021500](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ad_hoc/36021500)

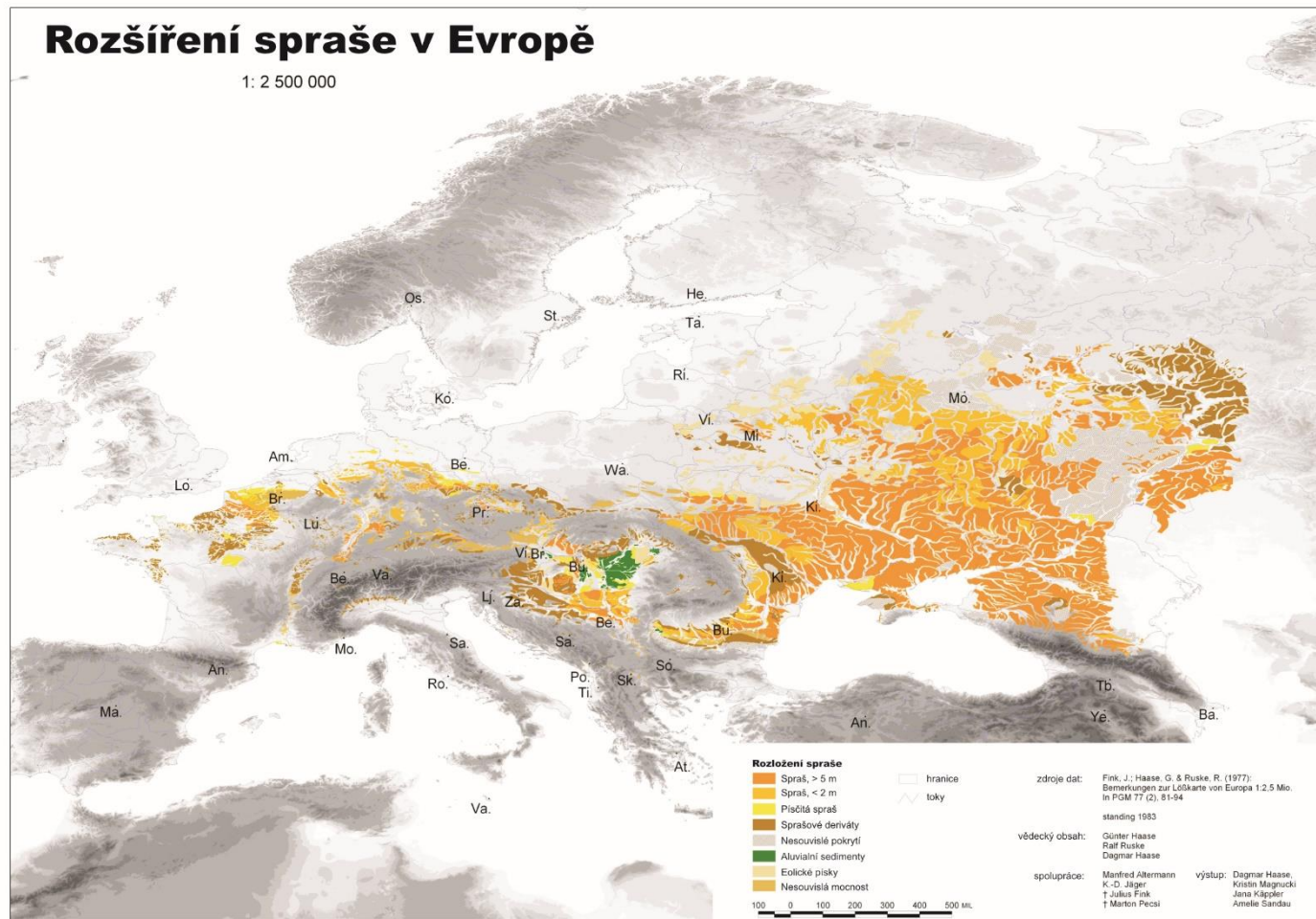
### Tištěné zdroje

- 13) BRÁZDIL, Rudolf (2007) *Vybrané přírodní extrémny a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku*. 2007.
- 14) CÍLEK (2002) *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2002- 2002. Zprávy o geologických výzkumech v roce 2000 - 2002, : 69 – 71*

- 15)EVARD, O. (2008) A grassed waterway and earthen dams to control muddy floods from a cultivated catchment of the Belgian loess belt. *Geomorphology*.
- 16)HOLÝ, M. (1994) *Eroze a životní prostředí*. Vydavatelství ČVUT Praha.
- 17)KONEČNÁ (2011) Transport splavenin v malém zemědělském povodí Hustopeče. *Vodní hospodářství*.
- 18)KOTRNEC, J. *Příspěvek k hodnocení eroze v ČR*. Brno: Zemědělská vodohospodářská správa, 2006.
- 19)NĚMEC, J.(1981) *Geologické poměry SPR Kokořínský důl - Bohemia Centralis*. Praha.
- 20)KOTRNEC, (2006) *Příspěvek k hodnocení eroze v ČR*.
- 21)NOVOTNÁ, D. (2013) *Kokořínsko*. Praha: Olympia a.s. ISBN 80-7033-843-8
- 22)NOVOTNÝ, I. (2014) Příručka ochrany proti vodní erozi. *Ministerstvo zemědělství*. Praha.
- 23)PODHRÁZSKÁ,(2011.) *Analýza účinnosti opatření na ochranu půdy a vody v pozemkových úpravách při povodních roku 2009*.
- 24)PODHRÁZSKÁ, J. (2013). *Protierozní ochrana půdy*. Brno: MZLU,. ISBN 80-7157-856-8
- 25)*Slovníček pojmů webového portálu Monitoring eroze zemědělské půdy*. (2013) VUMOP.
- 26)STANKOVINASKY, M. (2012) Reliéf katastrálního územia Starej Turej a jeho recentný vývoj. *Geographia Cassoviensis*.
- 27)STANKOVIANSKY, M. (2008) Enviromentální dopad a pedogeomorfologický efekt bahenných povodní, Výzkumný ústav podoznalectva a ochrany pody. *Ústav podoznalectva a ochrany pody*..
- 28)TARÁBEK, K. (1985) *Podnebie. Pody*. Bratislava: Obzor.
- 29)VERSTRAETEN, G. (1999) The nature of small-scale ooding, muddy floods and retention pon sedimentation in cen- tral Belgium. *Geomorphology* (29).

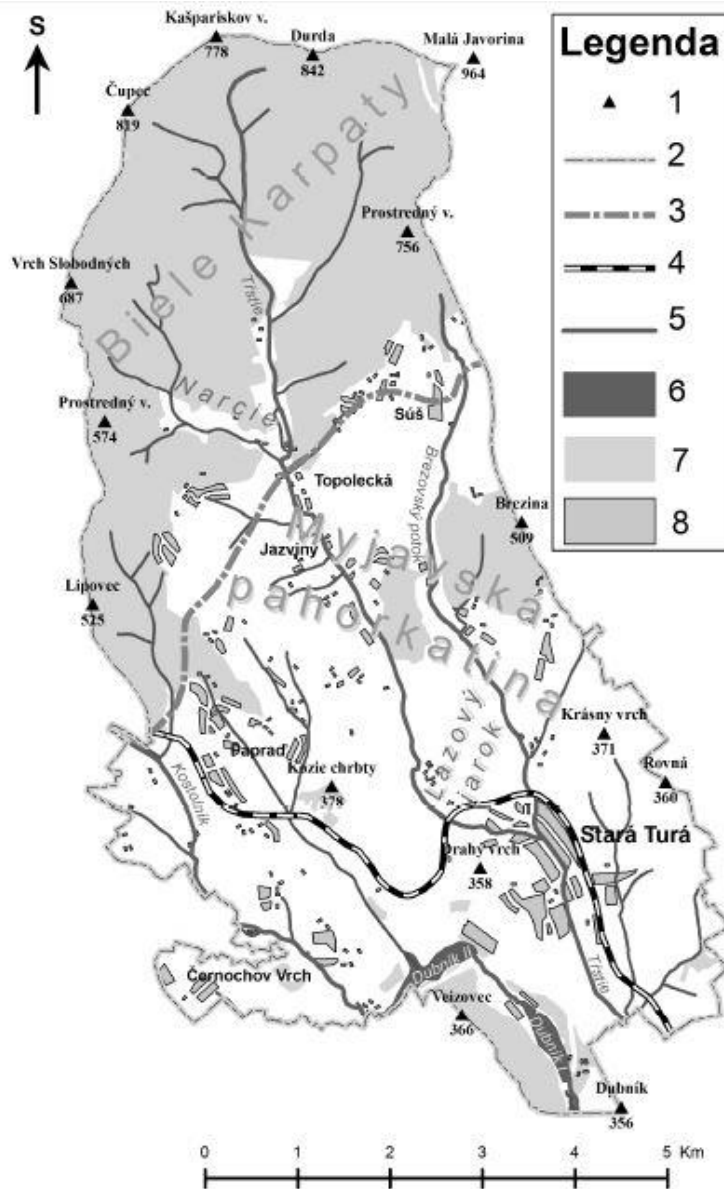
# Přílohy

1) Mapa Evropských sprašových oblastí (Helmholtz Zentrum für Umweltforschung 2015).

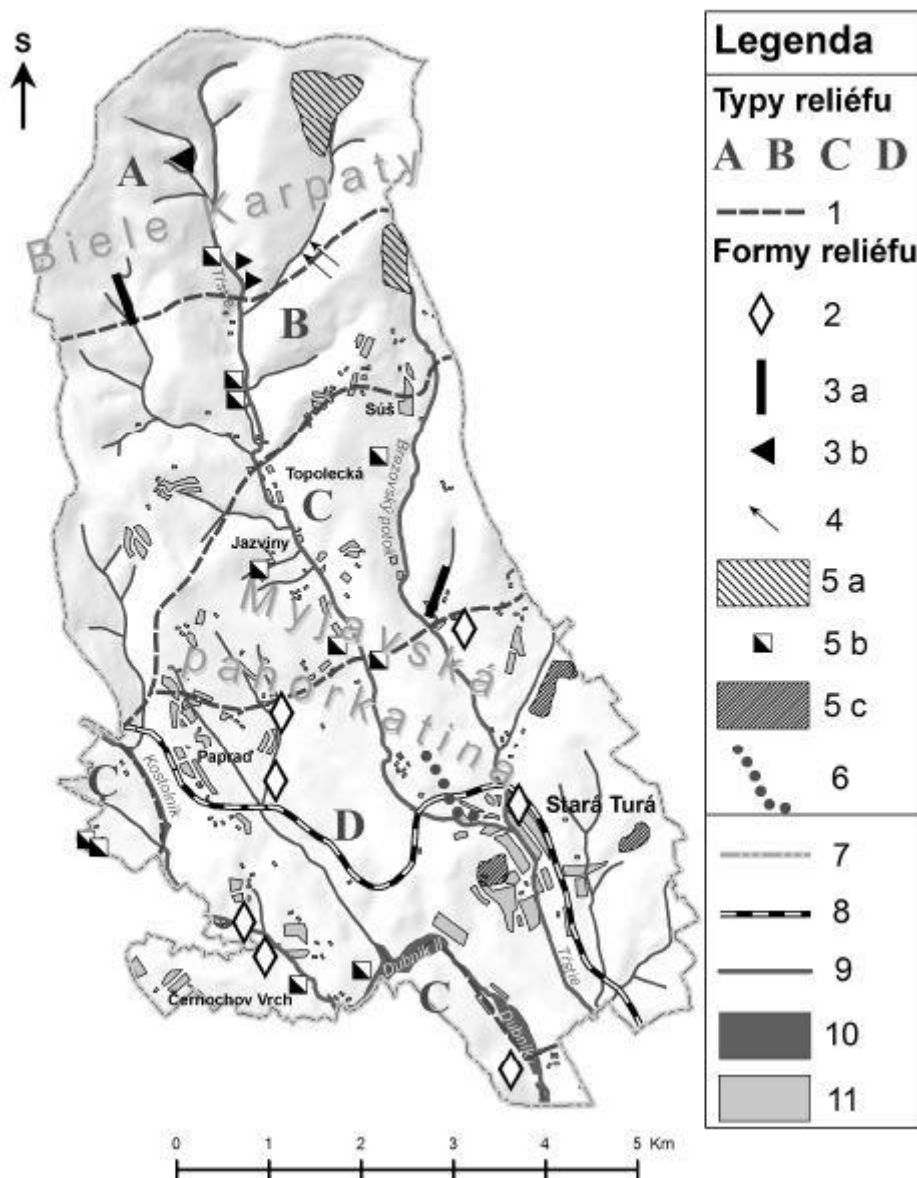




2) Mapa Staré Tury (1 – významné kóty, 2- hranice k.ú., 3 – hranice geomorfologických jednotek, 4 – železnice, 5- vodní toky, 6 – nádrže, 7- sídla, 8- lesy) (Stankoviánsky et al. 2012).



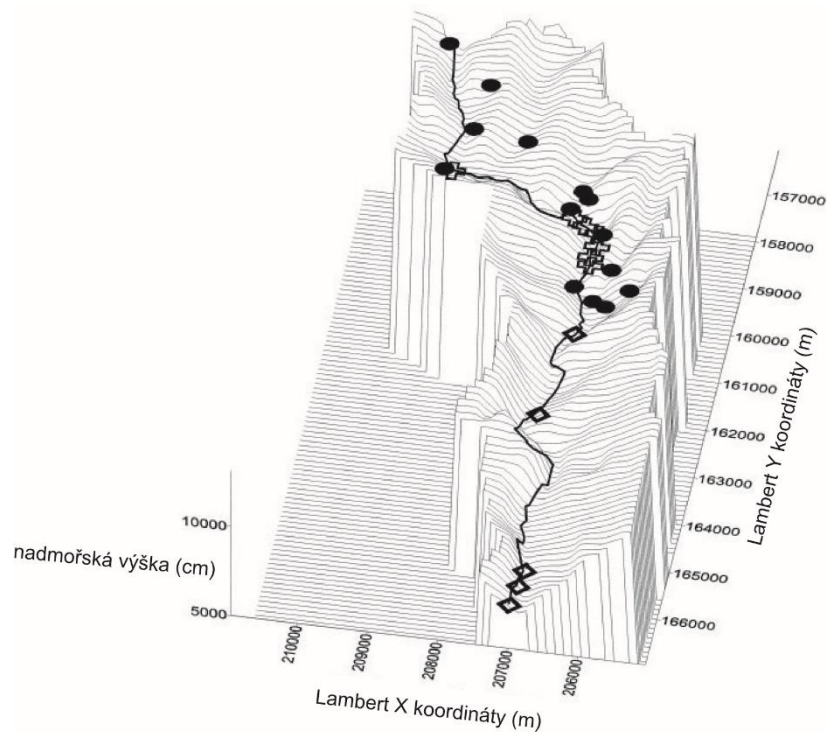
3) Mapa Staré Tury- typy reliéfu (A – hornatý reliéf, B – reliéf vyšších vrchovin, C – reliéf nižších vrchovin, D – pahorkatiny, 1 – hranice typů reliéfů, 2 – periglaciální tvary, 3 – pěniovkové formy, 4 – murové rýhy, 5 – sesuvy, 6 – dráhy častých bahenní povodní, 7- hranice k.ú, 8 – železnice, 9 – vodní toky, 10 – nádrže, 11 – sídla)(Stankoviansky 2012)



4) Fotografie - Rillar - SV od Leuven - 13 až 14.září 1998. (Erdvard 1998)



5) Prostorové rozložení povodní malého měřítka a bahenních povodní v pohoří Cicindria v jižním Limburgu v Belgii (černá tečka – bahenní povodně způsobené odtokem z obdělávaných oblastí, kosočtverec – povodně) (Verstreuten 1999).



6) Bahenní povodeň Kokořínsko 20.9. 2014 (foto: D.Novotná)



7) Bahenní povodeň v lokalitě Slavičky (VÚMOP 2015)





