

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

VLIV ZMĚN KRAJINY NA EROZNÍ A ODTOKOVÉ POMĚRY

THE INFLUENCE OF LANDSCAPE CHANGES ON EROSION AND RUNOFF

DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. JANA UHROVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV DUMBROVSKÝ, CSc.

BRNO 2015

ABSTRAKT

Cílem práce je posoudit vliv změn využití krajiny na erozní a odtokové poměry. Za účelem posouzení byla vybrána dvě povodí (povodí Luhy a povodí Hubenovské nádrže) s odlišnou rozlohou a pedologickými charakteristikami. V povodích bylo porovnáno 26 krajinných pokryvů. Jednotlivé scénáře krajinných pokryvů jsou vyhodnoceny vždy ve čtyřech hlavních obdobích, padesátých a devadesátých letech dvacátého století, dnešního stavu krajiny v podobě podrobného každoročního zhodnocení od roku 2002 do roku 2013 a v období po návrhu ochranných opatření, stavu návrhového. V povodích byly provedeny analýzy jak krajinného pokryvu, tak i geomorfologických, pedologických i hydrologických poměrů s využitím nástrojů geoinformačního systému (GIS). Pro samotnou kvantifikaci ztráty půdy byly využity dvě různé metody, metoda USLE s využitím programu ArcGIS a stanovení ztráty půdy modelem WEPP. K vyhodnocení odtokových poměrů pro stanovené závěrové profily rozhodující z hlediska tvorby soustředěného povrchového odtoku a jejich sběrných povodí bylo využito modelu DesQ-MAXQ. Vybrané scénáře krajinných pokryvů v povodí Luhy byly dále vystaveny skutečné srážkové události z roku 2009, která měla za následek povodňovou situaci v území. Na tomto povodí byl také sestaven srážko-odtokový model v prostředí HEC-HMS, i zde byly scénáře krajinného pokryvu podrobeny skutečné srážkové události. Vývoj změn využití krajiny v ploše povodí vodárenské nádrže Hubenov byl také posuzován i s ohledem na koncentraci látek v měřených profilech.

KLÍČOVÁ SLOVA

Krajinný pokryv, využití krajiny, ztráta půdy, vodní eroze, odtok, povodí, koncentrace látek.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to evaluate the influence of land use changes on erosion and runoff conditions. For the purpose of the evaluation, two catchments with different areas and pedological characteristics were selected (the catchment of the river Luha and the catchment of the Hubenov reservoir). In these catchments, a comparison of 26 selected land covers was conducted. The individual land covers were evaluated first in four seasons of the 1950s and 1990s, second according to the today's status of landscape by means of a detailed yearly evaluation conducted between 2002 and 2013, and third according to a land cover conceptual design. Analyses of not only land cover, but also geomorphological, pedological and hydrological conditions were carried out for both of the catchments by means of geographic information system (GIS) tools. The quantification of soil loss was performed by means of two methods – the method USLE with the use of ArcGIS program and the soil loss model WEPP. The crucial factor of the runoff evaluation of the preset end profiles with respect to the formation of concentrated runoffs and their catchment areas was the hydrological model DesQ-MAXQ. The selected land cover

scenarios of the river Luha were then exposed to the conditions of a real rainfall that occurred in 2009 and that resulted in floods in the area. Furthermore, a rainfall-runoff model was created for this catchment area in HEC-HMS; the land cover scenarios were again subjected to the above-mentioned real rainfall. The land use changes of the catchment area of the reservoir Hubenov were assessed also with respect to the concentration of substances in the profiles studied.

KEY WORDS

Land cover, land use, soil loss, water erosion, runoff, catchment, concentration of substances.

Bibliografická citace VŠKP:

UHROVÁ, Jana. *Vliv změn využití krajiny na erozní a odtokové poměry v povodí*. Brno, 2014. 146 s. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem dizertační práci zpracovala samostatně pod vedením vedoucího dizertační práce a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 11. 2014

.....
podpis autora

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu dizertační práce prof. Ing. Miroslavovi Dumbrovskému, CSc. za poskytnuté významné rady a připomínky k této práci. Děkuji také svým blízkým za morální podporu.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	11
2.1	Rozbor historického hodnocení krajiny	11
2.2	Krajina a její využívání	13
2.2.1	<i>Metodika hodnocení stavu a vývoje krajiny</i>	<i>14</i>
2.2.2	<i>Využívání a změny české krajiny</i>	<i>15</i>
2.2.3	<i>Vliv krajiny na její hydrologický režim</i>	<i>15</i>
2.2.4	<i>Vliv krajinných struktur na jakost vody.....</i>	<i>17</i>
2.3	Faktory ovlivňující odtokové poměry a retenční schopnost krajiny	18
2.3.1	<i>Vliv geografických činitelů na odtok vody z povodí</i>	<i>18</i>
2.4	Metody pro stanovení charakteristik povrchového odtoku v povodí	19
2.5	Metody pro stanovení ztráty půdy erozí.....	20
2.6	Možnosti využití GIS pro výpočet ztráty půdy	22
3	CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE	22
4	MATERIÁL A METODY ŘEŠENÍ.....	23
4.1	Charakteristika modelových území.....	23
4.1.1	<i>Hodnocení hydrologických a morfologických poměrů</i>	<i>23</i>
4.1.2	<i>Hodnocení hydopedologických poměrů</i>	<i>24</i>
4.1.3	<i>Charakteristika povodí Luhy</i>	<i>25</i>
4.1.4	<i>Charakteristika povodí k vodárenské nádrži Hubenov.....</i>	<i>29</i>
4.2	Zpracování historických podkladů k modelovým lokalitám	34
4.3	Stanovení využití plochy povodí.....	38
4.4	Vyhodnocení ztráty půdy	39
4.4.1	<i>Stanovení topografického faktoru LS</i>	<i>39</i>
4.4.2	<i>Stanovení faktoru erozní účinnosti dešťů R.....</i>	<i>41</i>
4.4.3	<i>Stanovení faktoru vegetačního pokryvu C.....</i>	<i>42</i>
4.4.4	<i>Stanovení faktoru erodovatelnosti půdy K</i>	<i>42</i>
4.4.5	<i>Stanovení faktoru účinnosti protierozních opatření P.....</i>	<i>43</i>
4.4.6	<i>Výpočet výsledné ztráty půdy</i>	<i>43</i>
4.5	Rozbor odtokových poměrů.....	43
4.5.1	<i>Stanovení čísla CN</i>	<i>44</i>
4.5.2	<i>Stanovení čísla CN u lesních půd</i>	<i>46</i>
4.6	Metoda čísel odtokových křivek	47
4.7	Srážko-odtokové modelování HEC–HMS	50
4.7.1	<i>Sestavení modelu</i>	<i>51</i>
4.8	Teorie erozního modelu WEPP.....	54
5	DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A DISKUSE	56
5.1	Vyhodnocení území povodí Luhy	56
5.2	Návrh ochranných opatření v povodí Luhy.....	60
5.3	Stanovení míry erozního ohrožení na povodí Luhy	60

5.3.1	<i>Ztráta půdy v povodí Luhy stanovená pomocí programu ArcGIS</i>	60
5.3.2	<i>Průměrná ztráta půdy v povodí Luhy stanovená modelem WEPP</i>	70
5.4	Vyhodnocení odtokových poměrů na území povodí Luhy	75
5.4.1	<i>Odtokové poměry v povodí při zaznamenané srážkové epizodě v červnu 2009</i>	77
5.4.2	<i>Odtokové poměry v povodí při max. hodnotách 24hodinových srážek za rok v letech</i>	83
5.5	Srážko-odtokové modelování – HEC-HMS.....	89
5.6	Vyhodnocení území povodí VN Hubenov	91
5.7	Návrh ochranných opatření v povodí VN Hubenov	95
5.8	Stanovení erozního ohrožení na povodí VN Hubenov	96
5.8.1	<i>Ztráta půdy v povodí VN Hubenov stanovená pomocí programu ArcGIS</i>	96
5.8.2	<i>Ztráta půdy v povodí VN Hubenov stanovená modelem WEPP</i>	100
5.9	Vyhodnocení odtokových poměrů na území povodí VN Hubenov	104
5.10	Vyhodnocení látkových odnosů na toku nad VN Hubenov	111
6	ZÁVĚR A PŘÍNOS DIZERTAČNÍ PRÁCE PRO ROZVOJ VĚDNÍ DISCIPLÍNY	121
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	123
8	SEZNAM PUBLIKOVANÝCH PRACÍ	136
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	138
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	141

1 ÚVOD

Rozhodující vliv na vznik povrchového odtoku a jeho negativní důsledky mají geografičtí, geomorfologičtí, klimatičtí a pedologičtí činitelé povodí (vedle příčinné srážky a morfologických charakteristik se jedná zejména o charakter tzv. aktivního povrchu – vegetačního pokryvu a o charakter půdního pokryvu). Vyhodnocení změn a vývoje těchto faktorů (tvořících základ dizertační práce) bylo provedeno na několika povodích, ze kterých bylo v konečné fázi vybráno povodí Luhy zejména pro silné ohrožení vodní erozí a opakovaný výskyt povodňových stavů a modelové území povodí vodárenské nádrže (VN) Hubenov s odlišnými půdními i klimatologickými vlastnostmi. Toto povodí bylo zahrnuto do práce, z důvodu snahy v povodí vyhodnotit vliv krajiny a ochranných opatření v krajině na množství a skladbu látkového odnosu v tocích.

Sledování dlouhodobých změn krajiny se v posledních letech u nás i v zahraničí stalo významným směrem krajině-ekologického výzkumu. V České republice se hodnocením změn v krajině zabývali krajinní ekologové (např. Lipský, 2000), ale i geografové (Bičík a Jeleček, 2003; Chrastina, 2005) či historikové (Semotanová, 2006). Významná je zejména reakce krajiny na probíhající politické a ekonomické změny v minulých letech, zvláště v průběhu 20. století. Podrobnějším komplexním zhodnocením vývoje změn struktury krajiny a jejího uspořádání na erozní a odtokové poměry v povodí se však doposud v ČR nezabývalo mnoho autorů. Z poslední doby to byly práce Kováře, Křováka a Skleničky (2002), popisující vliv změn užívání krajiny na její ekologickou stabilitu a vodní režim, a dále práce Chmelové (2006) se zaměřením na vliv změny krajiny na odtokové poměry na části povodí Krupé a práce Žlábků (2009), který se v povodí Kopaninského potoka zabýval vlivem uspořádání krajinné matrice na složky odtoku, zejména v kontextu zranitelných lokalit a plošného zemědělského znečištění.

Dlouhodobé změny využití krajiny mají rozhodující vliv zejména na erozní procesy v povodí. Zejména vodní eroze je v podmínkách České republiky významným procesem ohrožujícím v současné době více než polovinu výměry orné půdy prostřednictvím nepříznivých degradačních změn celého komplexu půdních vlastností.

Rozsah aktuální vodní eroze v České republice je 1 780 000 ha, tj. 42 % zemědělské půdy, výrazně poškozeno je 450 000 ha, tj. 10,7 % zemědělského půdního fondu (Vopravil a kol., 2010a, 2010b). Často jsou na pozemcích v kultuře orná půda mělké půdy, které jsou zcela smyté, nebo u kterých lze naměřit posun o jeden stupeň hloubky půdy níže (z 60 cm na 30 cm i méně).

Větrnou erozí je potenciálně ohroženo 10,4 % orných půd, a to především na jižní Moravě a v Polabí podle výzkumné zprávy České zemědělské univerzity v Praze (ČZU), Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) a Mendelovy univerzity v Brně (Janeček a kol., 2011). VÚMOP Praha odhadl, že z 11 592 katastrů ČR je 25,46 % extrémně ohrožených erozí a 32,23 % silně ohrožených erozí. Odhad podporuje fakt, že na území ČR je 43,40 % orných půd na svazích ve sklonech 3°–7°, 8,00 % na svazích 7°–12° a 0,70 % dokonce na svazích nad 12°. Eroze zemědělských půd vážně ohrožuje produkční

i mimoprodukční funkce půd. Ochuzuje zemědělské půdy o nejúrodnější část – ornici, zhoršuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost a snižuje obsah živin a humusu v půdě (Vopravil a kol., 2010a). Nepříznivé důsledky degradace půdního profilu vlivem vodní eroze se projevují negativně zejména ve vztahu ke komplexu půdních vlastností. Existují tři základní typy degradace půdního profilu vlivem vodní eroze: fyzikální, chemická a biologická (Lal, 2001). Z hlediska vodního hospodářství krajiny jsou nejvíce významné změny fyzikálních vlastností půdy.

Fyzikální degradace zahrnuje zhoršování fyzikálních vlastností půdy, jako jsou struktura, textura, objemová hmotnost, vodní kapacita, pórovitost, infiltrační schopnost, příznivá hloubka pro vývoj kořenů aj. Vlivem eroze dochází u fyzikálních vlastností jak ke kvantitativním změnám, tak i ke změnám vzájemných vztahů mezi jednotlivými půdními vlastnostmi (Dumbrovský, 1992).

Nepříznivé důsledky povrchového odtoku a s ním spojená vodní eroze se projevují nejen ohrožením půdy ale i ohrožením dalšího důležitého základního přírodního zdroje – vody, a to znečišťováním uvolněnými a transportovanými látkami. Proto jsem se v kontextu změn využití krajiny u VN Hubenov zabývala také touto problematikou.

Půdní částice a na nich navázané chemické látky uvolněné povrchově stékající vodou jsou ukládány po poklesu jejího tangenciálního napětí a rychlosti částečně na úpatí svahů v tzv. podsvahovém deluviu, ale zejména jsou produkty eroze – nejjemnější půdní částice transportovány vodou do hydrografické sítě, v níž tvoří převážnou část splavenin. Závěrečná zpráva o stavu vodního hospodářství z roku 2009 (Zapletal, 2009) uvádí, že důsledky erozních procesů se v poměrně členitém území ČR promítají v zanášení prvků hydrografické sítě, zejména rybníků a nádrží. V ČR je 42 tis. ha rybníků s výměrou větší než 1 ha, ve kterých je uloženo 196 mil. m³ sedimentů, 9 tis. ha rybníků s výměrou menší jak 1 ha, ve kterých je uloženo 30 mil. m³ sedimentů, 60 765 km drobných vodních toků a závlahových kanálů, ve kterých je uloženo 5 mil. m³ usazenin a 8 287 km odvodňovacích kanálů, ve kterých je uloženo 0,6 mil. m³ usazenin. U mnoha nádrží je ročně zanášeno až 5 % objemu. Je odhadováno, že ve vodních nádržích v ČR je naakumulováno cca 250 mil. m³ sedimentu. Průměrné náklady na odtěžení 1 m³ zeminy činí 200–800 Kč, transportní náklady se mění dle toxicity sedimentu, netoxický sediment je možné rozprostřít zpět na pozemek, kdežto toxický sediment není možné rozprostřít zpět na erodovaný pozemek, ale je nutno ho lokalizovat na skládce, jako toxický odpad, dle studie „Čisté povodí Svratky“ (Pöry, 2006).

Významným degradačním faktorem je také pedokompakce. Obecně se pedokompakce podílí na stlačování a uzavírání půdních pórů, tvorbě krusty (tenké plošné vrstvy s vysokou objemovou hmotností na povrchu půdy, relativně nepropustné) a nepropustných půdních vrstev, což se projevuje na snížení infiltrace vody do půdy.

Půdu je možné považovat za „obnovitelný“ zdroj, avšak čas potřebný k jejímu vytvoření je příliš dlouhý, než aby mohl kompenzovat ztráty způsobené špatným hospodařením. Uvádí se (Janeček, 1996), že v krajním případě může trvat i 7 tisíc let, než ornice dosáhne

přiměřené vrstvy, kterou by bylo možno využívat. Odhaduje se, že v přírodních podmínkách se půda tvoří rychlostí 1 cm za 125 až 400 let a proto je v zájmu člověka ji chránit a uchovat.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Rozbor historického hodnocení krajiny

Jak uvádí Havlíček (2013) pro sledování změn v krajině jsou v poslední době stále častěji využívány historické mapy. Důvodem je zejména jejich zpřístupnění za pomoci moderních technologií. Podrobné informace o struktuře krajinných složek v době svého vzniku podávají zejména mapy velkých měřítek (katastrální mapy). S využitím katastrálních map pro studium změn v krajině se můžeme setkat u autorů z Norska (Hamre a kol., 2007), ze Švédska (Skanes a Bunce, 1997) a dalších evropských zemí. V zemích bývalého Rakouska-Uherska bylo v první polovině 19. století prováděno rozsáhlé podrobné mapování, jehož výsledkem byly mapy tzv. stabilního katastru. V České republice pracovali s mapami stabilního katastru autoři z Univerzity J. E. Purkyně (UJEP) v Ústí nad Labem (Brůna a Křováková, 2005; Brůna a kol., 2005), v dřívějších pracích to byl např. Lipský (1994, 1995) a v současnosti Skaloš a Engstová (2010) a další. Topografické mapy středního měřítka umožňují polohově poměrně přesné sledování změn v krajině od poloviny 19. století.

Nejstarší takto použitelné mapové sady 1. a zejména 2. rakouského vojenského mapování zpřístupnila v digitální podobě Laboratoř geoinformatiky (LG) UJEP v Mostě, podobně jako zpřístupnila mapovou sadu z 3. rakouského vojenského mapování (LG ve spolupráci s brněnským střediskem Agentury ochrany přírody a krajiny ČR, podrobněji v Brůna a kol., 2002). Výhodou topografických map středního měřítka je jejich využitelnost pro studium změn větších územních celků (Haase a kol., 2007; Swetnam, 2007; Palang a kol., 1998; Skaloš a kol., 2011) (in Havlíček, 2013).

Vazba změn využití krajiny na regionální geomorfologické členění byla zkoumána v pracích o Dyjsko-svrateckém úvalu a Dolnomoravském úvalu (Demek a kol., 2008, 2009), při hodnocení změn využití krajiny v povodí Litavy (Havlíček a kol., 2009) a v částech povodí Veličky, Kyjovky a Svratky (Havlíček a kol., 2011). Kromě vazby změn využití krajiny na regionální geomorfologické členění byly studovány i vazby změn využití krajiny na charakteristiky reliéfu. Na Slovensku na území Biosférické rezervace Východní Karpaty se na tuto problematiku zaměřil Olah a kol. (2006), na celém území České republiky to byl např. Štych (2011).

Jak uvádí Havlíček a kol. (2013) nejstarší použitelná data pro analýzy změn využití krajiny založená na dálkovém průzkumu Země (tj. letecké a později i družicové snímky) jsou k dispozici od 30. let 20. století. Většina studií o změnách v krajině na základě porovnání leteckých snímků ovšem spadá až do období cca od roku 1950, kdy již bylo v řadě zemí prováděno systematické celoplošné letecké snímkování, u družicových snímků jsou běžně

dostupná data z 80. a 90. let 20. století. Satelitní snímky použité jako podklad pro sledování změn využití krajiny jsou součástí prací autorů z Evropy (například Groom a kol., 2006) i České republiky (Guth a Kučera, 1997). Jednotným způsobem se postupuje v Evropě při tvorbě map krajinného pokryvu Corine Land Cover, které využívají družicové snímky (Heymann a kol., 1994; Falt'an a Bánovský, 2008).

Letecké snímky oproti družicovým snímkům dosahují vyššího rozlišení a jsou proto vhodnější pro detailnější studie. Letecké snímky použili ve svých studiích o využití krajiny např. němečtí autoři (Hietel a kol., 2004), norští autoři (Fjellstad a Dramstad, 1999) nebo francouzští autoři (Poudevigne a kol., 1997).

Mezi léty 2005 až 2011 byl na oddělení ekologie krajiny a oddělení aplikací geoinformačních systémů (GIS) Výzkumného ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., řešen výzkumný záměr MSM 6293359101 Výzkum zdrojů a indikátorů biodiverzity v kulturní krajině v kontextu dynamiky její fragmentace, jehož jedna část je zaměřena na kvantitativní hodnocení změn v krajině České republiky. V tomto projektu byly prezentovány změny využití krajiny v administrativně i přírodně vymezených územích, např. krajích, okresech, obcích s rozšířenou působností, geomorfologických regionech, povodích, chráněných územích (Demek a kol., 2008, 2009; Eremiášová a kol., 2007; Havlíček, 2008; Havlíček a kol., 2009; Mackovčín a kol., 2009; Skokanová a kol., 2009; Stránská a Havlíček, 2008).

Podle statistické evidence je dlouhodobý vývoj struktury ploch v ČR v souladu s trendy jiných vyspělých zemí Evropy. ČR ovšem vzhledem k přírodním podmínkám vykazuje stále vyšší podíl orné a zemědělské půdy než ostatní státy Evropy. V některých obdobích nedávné historie (1948–1961) je specifický extrémní úbytek orných ploch, který zpomalily zákony o ochraně zemědělského půdního fondu (ZPF) z let 1965 a 1976. V budoucnu lze proto očekávat další úbytky ZPF. Vývoj krajiny z hlediska struktury ploch charakterizuje výrazně odlišný trend, jak v úrovni základních územních jednotek, tak v úrovni vyšších regionálních jednotek (okresy, povodí apod.). Do roku 1880 můžeme hodnotit vývoj krajiny z hlediska vývoje struktury ploch jako ekologicky žádoucí a pozitivní. Dokumentuje to prakticky stálé snižování rozsahu orné půdy, nárůst ploch zahrad a lesů, třebaže nejvýraznější nárůst vykazovaly zastavěné a ostatní plochy (Bičík a Jeleček, 2003).

Případovými studiemi změn využívání krajiny v podhorském regionu se zabývali Bolžitiar a Petrovič (2005), jednalo se o vývoj a změny ve využití krajiny ve velkém měřítku. Žakulík, Šíma a Kolečka (2005) studovali vývoj změn krajiny v okolí chráněné vodní plochy, Dvořák (2005) se věnoval změně krajiny, metodikou výzkumu a hodnocením na modelových katastrech obcí. Pucherová (2004) zpracovala případovou studii vývoje využití krajiny s důrazem na historickou a současnou krajinnou strukturu. V neposlední řadě je vývoj krajiny a její struktura náplní několika diplomových, dizertačních prací (např. Koupilová, 2010; Večerník, 2008; Chmelová, 2006; Havlíček, 2013).

Změnami a vývojem naší kulturní krajiny se zabýval hlavně Lipský (2000), který využíval různé historické podklady ke sledování změn a k jejich ekologickému hodnocení použil několik metodik. Vývojem české venkovské krajiny se zabývali Lipský (1994), Lipský

a Kvapil (2000). Dlouhodobé změny ve využití krajiny ČR studoval ve svých pracích Bičík (1995, 2003).

Aktuálním trendem je navázání studia změn využití krajiny na různá mezioborová témata, např. výskyt biotopů v návaznosti na změny využití krajiny (Holuša a kol., 2012) nebo studium vazeb změn využití krajiny na výskyt a četnost povodní (Brázdil a kol., 2011) (in Havlíček, 2013).

Všechny tyto práce jsou však převážně zaměřeny na vyhodnocení ekologických aspektů změn využití krajiny. Ve své práci jsem se proto zaměřila na oblast erozních a odtokových poměrů, která nebyla dosud v kontextu změn a vývoje využití krajiny tak podrobně popsána.

2.2 Krajina a její využívání

Krajina - tento pojem lze definovat mnoha způsoby, např. dle Zákona č. 114/1992 Sb. je krajina část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, tvořená souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky. Jednou z nejznámějších definic je obdobná definice krajiny od Formana a Gordona (1993), kteří chápou krajinu jako heterogenní část zemského povrchu, skládající se ze souboru vzájemně se ovlivňujících ekosystémů, který se v dané části povrchu v podobných formách opakuje (Forman a Gordon, 1993).

Změny ve využívání krajiny (land use) a v krajinné struktuře obecně způsobené člověkem jsou výrazně spjaty s prvotní krajinnou strukturou, která je základem pro vytváření jednotlivých kategorií využití krajiny. Tento vztah je velmi důležitý a rozhodující pro stanovení sekundární (antropogenní) krajinné struktury, se kterou koresponduje, nebo je v kontrastu se strukturou prvotní. Krajinná struktura a její změny jsou rozhodujícími pro celkovou stabilitu krajiny (Lipský, 2000).

Problematika využívání krajiny (land use) je podrobně zpracována v publikacích Žigrai (1983) a Kostrowicki (1962), kde jsou důkladně zpracovány jednotlivé typy, formy i jednotlivé kategorie využívání země se zpracovanou metodikou při mapování land use.

Struktura krajiny je v podstatě jejím obrazem, ze kterého se dozvíme nejen o jejím dnešním stavu, ale třeba i o způsobech hospodaření v různých historických obdobích. Z krajinné struktury v každé době můžeme usuzovat na tehdejší hospodářskou situaci, stav lidské společnosti, míru narušení i dopady, které tyto faktory měly na stav krajiny a její následný vývoj (Němec, Pojer a kol., 2007).

Dynamikou krajiny se rozumí její změna v čase i prostoru. Změna krajiny je způsobená téměř výhradně lidskou činností. Člověk se stal tak nejdynamičtějším krajinotvorným faktorem. Krajinu tak ovlivňuje přímými vlivy (výstavba, povrchová těžba, výrub lesa) nebo vlivy nepřímými, které zpětně ovlivňují intenzitu a průběh procesů v krajině (eroze, vodní režim, koloběh látek a toky energie) (Lipský, 2000).

Jakákoliv změna v krajině mění její funkci, strukturu, procesy v ní probíhající, její vlastnosti, její charakteristiky i její vzhled. Tím je ovlivněna její ekologická stabilita, zranitelnost a odolnost vůči okolním negativním (stresovým) faktorům. Dnešní podoba

krajiny je tak výsledkem neustále probíhajících změn v krajinné sféře. Rychlost antropogenních procesů, jež mění krajinnou strukturu významně převyšuje rychlost většiny procesů přírodních, které se podílejí na vývoji krajiny – s výjimkou jevů katastrofických (Lipský a Kvapil, 2000).

Struktura (skladba) krajiny je dána vztahy mezi zastoupenými charakteristickými ekosystémy či složkami a dělí se na strukturu vertikální a horizontální. Struktura vertikální je dána geomorfologií, výškovou členitostí terénu, je výsledkem pouze přírodních vlivů (v určitých oblastech mohou antropické vlivy překrývat vliv přírodních faktorů – těžba). Struktura horizontální je složena ze tří základních skladebních součástí každé krajiny: krajinné matrice (matrix), enkláv (plošky) a koridorů (Semorádová, 1998; Sklenička, 2003). Podíl krajinné matrice je z těchto součástí nejrozsáhlejší a nejvíce spojitý, proto hraje v krajině dominantní roli (Forman a Gordon, 1993).

Krajina jako celek má vlastnosti, které její části nemají, proto krajinu nelze popsat jako prostý součet obdělávaných polí, domů, cest, vodotečí a lesů. Nezbytný je popis konfigurace složek, tj. jejich umístění v prostoru, jejich vzájemný vztah a provázanost (Semorádová, 1998). Tato celková provázanost je následně odrazem výskytu a četnosti rozdílných problémových jevů měnících její stav a kvalitu.

Pozorování změn v krajině v čase je založeno na sledování změn jednotlivých krajinných složek, jejich plošného zastoupení, dynamiky (rozšiřování nebo zmenšování a ústup) a prostorové konfigurace (Lipský, 2000).

Studium hodnocení změn v krajině lze rozdělit podle Olah (2003) do 3 skupin:

Krajinně-ekologické přístupy – studují souvislosti a zákonitosti v prostorovém uspořádání jednotlivých forem využití krajiny a jejich změn v čase.

Socio-ekonomické přístupy – zkoumají rovněž změny krajiny v čase, ale důraz věnují na studium změn v sociálně-ekonomickém aspektu. Jejich práce se zaměřují na sociálně-ekonomický stav v území a v něm hledají důvody změn využití krajiny.

Přístupy ochrany přírody a managementu území – z pohledu trvale udržitelného rozvoje využívají znalosti a poznatky o změnách krajiny pro projektování, plánování nebo navrhování její ochrany, trvalé udržitelnosti a jejího využívání.

2.2.1 Metodika hodnocení stavu a vývoje krajiny

Sledování a ekologické hodnocení vývoje (směru) a stavu krajinné struktury můžeme kvantifikovat pomocí tzv. makrostruktury a mikrostruktury. Pojem makrostruktura krajiny je podle Kyjovský (1989) (in Lipský, 2000) hrubé plošné zastoupení hlavních forem využití země (lesní porosty, orná půda, trvalé travní porosty, vodní plochy, zastavěná plocha). Nezabývá se jejich vzájemným působením a vnitřním prostorovým členěním území uvnitř jednotlivých kategorií využití země. Ke kvantifikování této charakteristiky je používáno několik typů tzv. koeficientů ekologické stability, kdy se vychází z relativního plošného zastoupení jednotlivých kategorií využití země. Míchal (1992) definuje

ekologickou stabilitu jako „schopnost vyrovnávat vnější rušivé vlivy vlastními spontánními mechanismy bez vkladů dodatečné energie (tj. bez lidské práce)“.

Vnitřní prostorovou organizovanost zemědělské krajiny nazýváme mikrostrukturou krajiny. Zvyšování mikrostruktury krajiny vede k destrukci rozlehlých bloků monokultur na orné půdě a vytváření mozaikovitosti a fragmentace (rozděbování) v krajině. Mikrostrukturou krajiny se sledují změny kompozice (rozmanitost a početnost) a konfigurace (plošné a prostorové rozmístění) krajinných složek a prvků. Indikátory hodnocení krajinné mikrostruktury (krajinných prvků) jsou:

- Velikost a tvar (např. rozloha, obvod, tvar; index tvaru nebo fraktálový index),
- ukazatele prostorového uspořádání (hustota, rozmístění, velikostní kategorie),
- rozdrobenost (izolovanost, konektivita – spojitost).

Existuje více autorů zabývajících se ekologickým hodnocením stability krajiny, jsou to např. Míchal (1992) nebo Miklós (1986). Zhodnocení a popis těchto koeficientů rozebírá Lipský (2000). Hodnocení faktorů je z velké části založeno na individuálním posouzení a zařazení tak jednotlivých ploch a kategorií využití půdy do jednotlivých stupňů kvality.

2.2.2 Využívání a změny české krajiny

Bičík a kol. (2001) in Moravcová (2011) uvádí, že změna struktury a využívání krajiny v České republice odráží především jednotlivé fáze socio-ekonomického vývoje území a také politického uspořádání státu. Sádlo a kol. (2005) popisuje dvě významné socio-ekonomické změny ve 20. století v České republice, které výrazně ovlivnily krajinnou strukturu a využití území. Sklenička (2003) dodává, že nejradikálnější zlom pro krajinu znamenaly události z roku 1948 a následná socializace a kolektivizace venkova.

Tvrzení podporuje i Skokanová (2012) se závěry, že změny rozlohy orné půdy a také rozlohy trvalých travních porostů odrážejí změny zemědělské politiky za posledních 180 let: na konci 19. století byl zaznamenán vrchol zemědělské revoluce, který byl mimo jiné spjat s přechodem trojpolního zemědělského systému na střídavé hospodaření a s následnou intenzifikací zemědělství zapříčiněnou vysokými nároky na potravinářský trh. Ve 20. století byly hlavními hnacími silami dvě pozemkové reformy v letech 1919 a 1948. Všechny tyto faktory znamenaly pokles rozlohy trvalých travních porostů a nárůst rozlohy orné půdy a zároveň i zjednodušení struktury krajiny. Na konci 20. století došlo ke změně politického systému, což mělo z počátku za důsledek postupnou extenzifikaci zemědělství zejména v méně příznivých podmínkách pro zemědělskou výrobu. Další typickou změnou jsou rozsáhlé zábory zemědělské půdy a zastavování pozemků v okolí sídel - ať už se jedná o objekty k bydlení či podnikání.

2.2.3 Vliv krajiny na její hydrologický režim

Půda hraje v hydrologickém cyklu roli nádrže o značném retenčním objemu, který v celostátním měřítku řádově převyšuje objem vody v nádržích a vodních tocích (Kutílek, 1978). Lesní porosty plní velmi významnou vodohospodářskou funkci, především

z hlediska zabezpečování trvalosti a vydatnosti vodních zdrojů, ve snižování rozkolísanosti průtoků (retardace a retence, akumulace odtoku) a zlepšování kvality odtokové vody. Lesní porost svou existencí usměrňuje oběh vody tak, že v porovnání s holým povrchem zvyšuje absolutní množství srážek tvorbou horizontálních srážek, zvyšuje celkovou hodnotu výparu intercepce a transpirací přesto, že snižuje výpar z půdy, převádí větší množství srážkové vody do půdy zvýšeným vsakem a vytváří předpoklady pro jejich větší akumulaci v půdě. Také snižuje velikost povrchového svahového odtoku, tím zmenšuje předpoklady pro tvorbu erozních škod a zároveň zpomalením odtoku významně přispívá ke snížení kulminačních průtoků (Chmelová, 2006). Mechanismus působení lesa během srážek je vysvětlen velmi podrobně v odborné literatuře. Není jednoduché určit, jaká bude odezva na určitou srážku, protože výsledný odtok ovlivňují rozmanité podmínky v konkrétním povodí a velké množství faktorů. Zatím se příliš nedaří ani na základě modelování přesně předpovědět, jaký objem vody z území odečte, ani jaký lze předpokládat kulminační průtok a dobu, kdy ho bude dosaženo. To neplatí jen pro lesní porosty, ale obecně pro jakékoliv využívání půdy (Pavlík, 2014).

Travní porosty se jeví jako velmi perspektivní kultury, neboť z hydrologického pohledu mají mnoho ekologicky významných vlastností. Na významné rozdíly infiltrační schopnosti různých travníkových druhů trav ve své práci poukazují autoři Fadrna a Hrabě (1997). Zapojený drnový porost má příznivější půdní strukturu, protože má v průměru o 10 % vyšší pórovitost nežli orná půda, což umožňuje lepší plynulý odtok a vsak přívalových i srážkových vod. V půdách pod trvalými travními porosty je pro hydrologické poměry důležitý obsah organické hmoty, který se odráží v jejich retenční schopnosti (Chmelová, 2006). Travní porost využívaný jako louka má zpravidla výhodnější způsob využití vody než pastvina. Příčina je v tom, že porost na pastvině se nachází častěji v období intenzivní spotřeby vody (Mrkvička a kol., 1998).

V neposlední řadě je i orná půda velmi významným hydrologickým činitelem, který má podstatný vliv na vodní režim krajiny. Tato část krajiny se dynamicky rozvíjí nejen během let, ale i v průběhu roku a nejvíce se na ní projevují změny v oblasti kvality půdy a její následné schopnosti infiltrovat srážkové události. Dynamika porostu na půdě využívané k rostlinné zemědělské výrobě ovlivňuje míru odtoku a eroze vysokým podílem.

S druhem pěstovaných plodin úzce souvisí objemová hmotnost, pórovitost a infiltrační schopnost půdy. Poměrně vysokou infiltrační schopností se vyznačují půdy stanovišť obilovin a stanovišť ručně obhospodařovaných luk. Půdy bez vegetace, zvláště pak se ztvrdlým povrchem vzniklým po intenzivních deštích, půdy s kulturami kukuřice a vojtěšky a louky mechanizačně obhospodařované mají nejmenší infiltrační schopnost. Také mikroreliéf vzniklý agrotechnickým zpracováním půdy se vyznačuje určitou povrchovou i vnitřní retenční schopností. Intenzifikací zemědělské výroby často dochází právě k negativnímu ovlivnění infiltrační schopnosti půdy (zhutňováním půd, zařazováním okopanin na úkor víceletých pícnin a travních porostů). V závislosti na těchto změnách se mění i hydrologické, zejména srážko-odtokové procesy v krajině (Kasprzak, 1990 in Chmelová, 2006).

Vliv využívání krajiny na její hydrologický režim řešilo mnoho autorů, jak z experimentálního hlediska (např. Bosch a Hewlet, 1982) či dlouhodobých pozorování (např. Schwarze a kol., 1994), tak také s použitím hydrologických modelů (Klöcking a Haberland, 2002). Zatím co vliv vývoje krajiny na hydrologickou funkci je popsán a uchopen různými autory z různých hledisek, problematika vlivu dlouhodobého vývoje krajiny na erozní procesy nebyla zkoumána v takovém měřítku. Dnešní možnosti stanovení erozních jevů dovolují přesnější porovnávání a vyhodnocování tohoto problematického degradačního procesu.

2.2.4 Vliv krajinných struktur na jakost vody

Vliv krajinných struktur na jakost vody je další otázkou. House a Warwick (1998a) uvádějí, že ve vnitrozemských oblastech je jakost vody v úzkém vztahu s geomorfologií, klimatem a využíváním povodí. Rovněž velikost a svažitost povodí, srážky, teplota vzduchu, eroze, vegetace a půdní pokryv dohromady hrají podle Christopher a kol. (2008) a Schindler (1997) roli v utváření jakosti vody v povodí. Jakost vody ovlivňuje také využívání půdy v povodí, zejména pak zemědělství, lesnictví, zahradnictví, ochrana přírody, průmysl a osídlené plochy (Johnes a kol., 1996).

Pittera (2009) uvádí jako nejdůležitější prvky ovlivňující jakost vody sloučeniny dusíku a fosforu. Zvýšenou přítomnost dusíku a fosforu ve vodě připisuje Graham (1995) častému nesprávnému použití minerálních hnojiv. Vedle těchto prvků ovlivňují jakost vody také další prvky jako je vápník, hořčík, draslík, sodík, kovy a organické sloučeniny (Novotny, 2003). Dle Pittera (2009) se dusík ve vodách stanovuje jako celkový dusík ($N_{\text{celk.}}$), který se dále dělí na anorganicky a organicky vázaný dusík a amoniakální dusík. Ten se vyskytuje ve vodách jako kationt NH_4^+ a v neiontové formě jako NH_3 . Fosfor se ve vodách vyskytuje jak ve formě rozpuštěné tak nerozpuštěné. Ke zvýšeným hodnotám koncentrací fosforu v povrchových vodách přispívají podle Novotného (2003) odpadní vody a smyvy minerálních hnojiv.

Jak je uvedeno v práci Moravcové (2012) koncentrace dusíku a fosforu ve vodách pozitivně souvisí se zemědělským, komerčním a urbánním krajinným pokryvem v povodí a negativně souvisí se zastoupením přirozených lesů (Tong a Chen, 2002) a luk (Kvítek a kol., 2009). V mnoha případech, kdy hnojení způsobilo znečištění dusičnany, tomu tak bylo důsledkem nevhodného systému hospodaření (Diez a kol., 2000). V zemědělsky využívaných povodích jsou zpravidla koncentrace dusíku a odnosy dusičnanů nejvyšší na jaře, jak popisuje Doležal a kol. (2006a). Zemědělství je tedy považováno za rozhodující zdroj problému s dusičnany a dalšími nutrienty, jak popisuje Kolář a kol. (2002a). Schilling (2002) při studiu rozdílných intenzivně zemědělsky využívaných a zatravněných povodí prokázal, že ze zemědělského povodí je odnášeno mnohem více dusičnanů a fosforečnanů než z povodí zatravněných.

Land use podle Sylvia a kol. (1998) ovlivňuje objem živin odnášených z povodí za normálního vodního stavu, není však jasné jak land use ovlivňuje dynamiku koncentrací živin při bouřkových událostech. Dle Hladkého a kol. (1998) zatím není dostatek poznatků

o reakcích krajiny na mimořádné srážky, a proto není možné jejich začlenění do modelů srážko-odtokových procesů v krajině.

2.3 Faktory ovlivňující odtokové poměry a retenční schopnost krajiny

Klasifikace a popis faktorů ovlivňujících erozní a odtokové poměry respektive retenční schopnost krajiny se objevuje v publikacích řady autorů. Lacey a Grayson (1998) uvádějí, že odtok je funkcí mnoha proměnných, které zahrnují faktory topografické, geologické, půdní, vegetační a klimatické.

Ven Te Chow (1964) popisuje, že z hydrologického hlediska je možné odtok z povodí uvažovat jako výsledek hydrologického cyklu, který je ovlivňován dvěma velkými skupinami faktorů, a to faktory klimatickými a geomorfologickými. Klimatické faktory zahrnují hlavně účinky různých druhů srážek, interceptci, evaporaci a transpiraci, které vykazují sezónní změny v souladu s klimatickými poměry. Geomorfologické faktory se rozdělují na charakteristiky povodí a charakteristiky koryt toků. Charakteristikami povodí se rozumí geometrické faktory (velikost, tvar, průměrný sklon, orientace, nadmořská výška) a fyzikální faktory (využití půdy, porost, půdní typ, geologické podmínky jako propustnost a kapacita podzemních vod, místní podmínky jako přítomnost jezer a bažin nebo odvodnění drenáží). Charakteristiky koryta se vztahují většinou k hydraulickým vlastnostem koryt, a to průtočné kapacitě (velikost a tvar příčného profilu, sklon, drsnost, délka, přítoky) a jímací kapacitě koryta (účinek stojaté vody). Ven Te Chow (1964) poukazuje na to, že tato klasifikace není přesná, neboť mnoho faktorů je do určité míry závislých jeden na druhém.

2.3.1 *Vliv geografických činitelů na odtok vody z povodí*

Pro účely porovnávání povodňových událostí mezi sebou a také v různých povodích kvantifikuje Dumbrovský a kol. (1998), Spitz a Prudký (2000), faktory, které ve vzájemné interakci nejvíce ovlivňují retenční schopnost povodí: druh pozemků (kultury) a zastavěná plocha, geomorfologické poměry, hydrologické půdní poměry, hydrogeologické poměry podloží, tvar povodí, vlhkost půdy před povodňovou srážkou, odvodnění, vodohospodářská zařízení (především údolní nádrže, rybníky) aj.

Kvítek a kol. (1997) určili jako nejdůležitější faktory ovlivňující množství odtékající vody z povodí procento zornění zemědělského půdního fondu v povodí, velikost bloků orné půdy a jejich umístění v terénu, rozmístění, velikost a diverzitu trvalých kultur (louka, les) v krajině, hloubku půdního profilu a jeho zrnitostní složení.

Zásadní vliv na velikost objemu a časový průběh povodně, a tím i na velikost kulminačního průtoku, má velikost příčinných srážek a jejich plošné i časové rozložení (Riedl, Zachar a kol., 1973; Šercl, 2009). Pro povodí malého vodního toku jsou rozhodující letní přívalové srážky krátkého trvání a vysoké intenzity (Soukup a Hrádek, 1999). Proto je třeba věnovat pozornost stavu vegetace v krajině v průběhu celého roku.

Vegetační kryt ovlivňuje rychlost svahového odtoku, infiltraci vody, evapotranspiraci a zachycuje určitý podíl srážek interceptcí. Z hlediska účinnosti vegetačního krytu na

zvýšení retence vody v povodí je možno uvést následující pořadí: lesní porosty, trvalé travní porosty, dočasné travní porosty, úzkořádkové plodiny a širokořádkové plodiny. V souvislosti s pěstovanými plodinami ovlivňuje retenční schopnost povodí i způsob agrotechnického obdělávání půdy (Soukup a Hrádek, 1999).

Z uvedeného přehledu vyplývá, jak uvádí také Němec (1964), že množství činitelů ovlivňujících odtok je velké, jednotlivé faktory jsou vzájemně závislé a jejich složitý vliv na odtok se může buď doplňovat, nebo také rušit. Šercl (2009) uvádí, že působení jednotlivých fyzicko-geografických faktorů při procesu vytváření povodně se velice často vzájemně podmiňuje, a proto je problematické jejich vlivy vyčleňovat a hodnotit samostatně.

2.4 Metody pro stanovení charakteristik povrchového odtoku v povodí

K odvozování Q_N na povodích bez přímého pozorování průtoků jsou v zásadě možné a v hydrologické praxi používané přístupy uváděné Šercl (2009):

- použití empirických regresních vzorců, kde závisle proměnná je některá z charakteristik maximálních průtoků (např. průměrný maximální či 100letý specifický odtok) a nezávisle proměnnými jsou vybrané klimatické či fyzicko-geografické charakteristiky povodí (např. 100letá 1denní srážka, plocha povodí, sklon povodí, délka či sklon údolnice atd.),

- použití vhodných deterministických srážko-odtokových modelů, kde vstupem je časové rozložení (návrhové) srážky a výstupem časový průběh průtoků (teoretická povodňová vlna) (Šercl, 2009).

Všechny uvedené přístupy, pokud mají být správně aplikovány, by měly, jak uvádí Šercl (2009), respektovat skutečnost, že velikost kulminačního průtoku, tvar a objem povodňové vlny (extremita povodně) závisí na:

- celkovém úhrnu příčinných srážek a formě jejich časového a prostorového rozložení,

- fyzicko-geografických charakteristikách povodí, např. sklonitosti povrchu, propustnosti půd, způsobu využívání území, tvaru povodí atd.

Jednotlivé deterministické srážko-odtokové modely se od sebe liší obsaženými metodickými přístupy, avšak zejména tím, zda jsou schopné zahrnovat a modelovat všechny složky srážko-odtokového procesu včetně evapotranspirace a základního odtoku (kontinuální modely) nebo jen vytváření a transformaci přímého odtoku (událostní modely). Kontinuální modely se oproti modelům událostním vyznačují zpravidla nepoměrně větším počtem parametrů, které je vždy nutné kalibrovat. Tím nejsou z hlediska využití pro malá nepozorovaná povodí příliš vhodné (Šercl, 2009).

Daňhelka a kol. (2003) popisují matematický model srážko-odtokového procesu jako zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními veličinami určitého hydrologického systému.

Přehled a stručnou charakteristiku modelů maximálního odtoku z přívalových dešťů použitelných právě na povodích bez vodoměrného pozorování uvádějí ve své práci Hrádek a kol. (2000) a dodávají, že modely maximálního odtoku z povodí popisují z celého hydrologického cyklu pouze jeho výsek obsahující děje od dopadu přívalové srážky na povrch terénu do průchodu vody závěrovým profilem. Vzhledem k poměru složek odtoku v povodňové vlně z (malého) povodí se většinou nezabývají vodou podpovrchovou.

Hlavní těžiště výzkumu a vývoje všech typů hydrologických modelů spočívá dle Jeníčka (2005) v pracích zahraničních autorů, především pak v pracích Bevena (1996), Bergströma (1995), nebo i Refsgaarda a Storma (1996), kteří aplikovali nejrůznější hydrologické modely a výrazně tím přispěli k vývoji metod popisujících srážko-odtokový proces.

Ze srážko-odtokových modelů využívaných v našich podmínkách je třeba zmínit model KINFIL (Kovář a kol., 2002, 2006), který může být díky svým vlastnostem aplikovatelný i v nepozorovaných profilech. Dále je to model HYDROG (Starý, 1991–2008) vyvinutý pro potřeby spojitě simulace odtoku z povodí s nádržemi, či srážko-odtokový model HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System). Jedná se o široce používaný a velice celistvý model (HEC, 2010).

2.5 Metody pro stanovení ztráty půdy erozí

Od roku 1930 je problematika stanovení eroze půdy zájmem řešení. Byla vyvinuta škála modelů snažících se tento složitý proces zhodnotit (např. USLE, RUSLE, MUSLE, CREAMS, ANSWERS, AGNPS, WEPP atd.).

Metody vznikaly postupným vývojem empirických vztahů pro predikci půdy od prvotního návrhu zohledňujícího vliv disperze půdy, míru infiltrace, propustnost půdy a velikost částic od Bavera (1933) přes Zingga (1940), který vztáhl erozi půdy ke sklonu svahu, dále přes Smitha a Whitta (1948), kteří do rovnice doplnili vliv dalších faktorů.

Hlavním předchůdcem univerzální rovnice pro výpočet ztráty půdy (Universal Soil Loss Equation – USLE) byl model vytvořený Musgrave (1947), který vyvinul parametrický model založený na vztahu eroze a erodibility půdy (K), vegetačního pokryvu (C), sklonu svahů (S), délce svahu (L) a maximální 30 minutové intenzitě (I_{30}). Byl to právě tento vztah, který byl následně upraven autory Wischmeier a Smith (1958) a stal se známým pod akronymem USLE (Sobotková, 2012).

Podobně jako v jiných zemích, tak i v České republice se dnes používá tzv. „Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí – USLE“ (Wischmeier a Smith, 1978) k určování ohroženosti zemědělských půd vodní erozí a k hodnocení účinnosti navrhovaných protierozních opatření. Rovnice vychází z principu přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku, jehož parametry jsou definovány a odvozeny z rozměrů standardních elementárních odtokových ploch o délce 22 m a sklonu 9 %, jejichž povrch je

po každém přívalovém dešti mechanicky udržován ve směru sklonu svahu jako úhor. Hodnota přípustné ztráty půdy slouží ke stanovení míry erozního ohrožení pozemku a je definována jako maximální velikost eroze půdy, která dovoluje dlouhodobě a ekonomicky dostupně udržovat dostatečnou úroveň úrodnosti půdy (Janeček a kol., 2012). Hodnota ztráty půdy je závislá na charakteru srážek a povrchového odtoku, půdních poměrech, morfologii území, vegetačních poměrech a způsobu hospodaření na pozemcích.

Ztráta půdy vodní erozí se stanoví na základě rovnice (Wischmeier a Smith, 1978):

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

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

Podrobný popis jednotlivých faktorů včetně jejich stanovení je uveden v metodice Janeček a kol. (2012). Vypočtená hodnota představuje dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy a udává množství půdy, které se z pozemku uvolňuje vodní erozí. Nezahrnuje však její ukládání na pozemku, či na plochách ležících pod ním. Rovnice se nedoporučuje používat pro zjišťování ztráty půdy erozí z jednotlivých srážek nebo z tání sněhu (Janeček a kol., 2012).

USLE je široce používán a od jeho vytvoření došlo k několika přizpůsobením a změnám. Model USLE byl vyvinut jako regresní vztah pro predikci eroze půdy na zemědělských pozemcích na skloněných svazích. Během let 1970–1980 byl modifikován tak, aby byl použitelný také pro jiné podmínky. Byla vyvinuta modifikovaná univerzální rovnice pro výpočet ztráty půdy (Modified Universal Soil Loss Equation – MUSLE). Pro odnos sedimentů z povodí (Williams a Berndt, 1972 a 1977) a další modifikované rovnice zabývající se odnosem sedimentu z pastvin, ze zalesněných ploch, rovinatých ploch, aj. Revidovaný model RUSLE aktualizuje informace o data získaná po roce 1978, kdy byl vytvořen model USLE a liší se ve stanovení některých hodnot faktorů (Renard a kol., 1991).

Použitelnost empirických modelů (např. USLE) je omezena pouze na takové ekologické podmínky, které jsou podobné těm, ve kterých byly tyto modely vyvíjeny. S ohledem na úvahy ohledně analýzy velkých ploch bylo vyvinuto několik procesních modelů (např. EUROSEM, LISEM). Široce používán je procesní model Water Erosion Prediction Project – WEPP (Foster, 1991; Nearing a kol., 1994; Renard a kol., 1996). Model WEPP počítá erozi pomocí rýhových a mezirýhových procesů.

2.6 Možnosti využití GIS pro výpočet ztráty půdy

Pro identifikaci plošně rozsáhlých území ohrožených ztrátami půdy vlivem vodní eroze je optimální stanovení ztráty půdy erozí pomocí GIS analýz v prostředí ArcGIS. Pro stanovení faktorů R, K, C, P se při GIS analýzách využívá postupů uváděných při sestavování rovnice USLE (Wischmeier a Smith, 1978; Janeček a kol., 2012) tak, že se jednotlivé faktory pomocí vhodných nástrojů ArcGIS převedou na plošné rastrové vrstvy nebo konstanty. Základem výpočtu ztráty půdy v GIS softwarech je stanovení L a S faktorů. Obecně se oba topografické faktory počítají dohromady jako LS faktor. Pro plošně rozsáhlá území je metodicky doporučeno pro stanovení LS faktoru použít program USLE2D (Govers a Van Oost, 2000) vyžadující data ve formátu Idrisi, která jsou s využitím programu LS Converter převedena do prostředí ArcGIS. V programu USLE2D je faktor LS počítán zvlášť pro každý rastrový element. Délka odtokové dráhy je nahrazena zdrojovou plochou (dílčím povodím) rastrového elementu. Rovnice pro výpočet LS faktoru může být stanovena podle postupů různých autorů, a to Wischmeier a Smith (1978), McCool a kol. (1987, 1989), Govers (1991) a Nearing (1997).

Další možný způsob stanovení LS faktoru je prezentovaný v literatuře Mitášová a kol. (1996), kdy je ve výpočtu LS faktor zohledňován velký vliv soustředění odtoku (nástroj Flow Accumulation), čímž je vyjádřen výrazný vliv na výpočet ztráty půdy v místech koncentrace odtoku.

Faktor LS je možné stanovit pomocí rovnice pro přímý svah podle Wischmeiera a Smithe (1978) a také Janečka a kol. (2012) tak, že se využije v programu ArcGIS „Raster Calculator“ s vložením rovnice obsahující vrstvy rastrů nepřerušovaných svahových délek v metrech (nástroj „Flow Lengths“) a sklonu (nástroj „Slope“) v % stanovených na základě digitálního modelu terénu (DMT). Na výsledný LS faktor mají výrazný vliv svahové délky, tj. odtokové linie.

Pro stanovení LS faktoru byl v práci použit program USLE2D a byl zvolen algoritmus podle McCoola (1987 a 1989), který využívá metodu výpočtu LS faktoru uvedenou v RUSLE. Metoda je určena pro plošnou erozi se stejným poměrem rýhového i mezirýhového prostoru. Výhodou této metody je plošné vyjádření LS faktoru na rozdíl od metod výpočtu ztráty půdy na základě soustředěného odtoku nebo odtokových linií.

3 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Jak vyplývá z názvu práce, cílem dizertační práce je posouzení vlivu změn využití krajiny na erozní a odtokové poměry. Bylo provedeno vyhodnocení 26 scénářů krajinných pokryvů ve čtyřech hlavních obdobích, a to v padesátých letech a devadesátých letech dvacátého století, v období současného stavu krajiny v podobě podrobného každoročního zhodnocení od roku 2002 do roku 2013 a v období po návrhu ochranných opatřeních, tj. stavu návrhového. Tento komplexní cíl v sobě zahrnuje dále uvedené dílčí cíle.

Posoudit vliv využití krajiny na výši ztráty půdy ve variantních stavech krajinného pokryvu. Vyhodnocení a porovnání poměrů s výsledky retrospektivních analýz příčinných faktorů vztažených k subpovodím hydrografické sítě. Dalším cílem práce je stanovení dvou různých způsobů hodnocení ztráty půdy a porovnání rozdílů ve významnostech jednotlivých příčinných faktorů ovlivňujících míru erozního ohrožení.

Cílem práce je provést také analýzu a posouzení ovlivňování scénářů krajinného pokryvu v jednotlivých studovaných obdobích, totožných s obdobími analyzovanými na erozní poměry, na odtokové poměry. Vyhodnocení a porovnání poměrů s výsledky retrospektivních analýz příčinných faktorů odtoku je vztaženo ke sběrným povodím vynesných k závěrovým profilům, které jsou zásadní pro vznik soustředěného povrchového odtoku. Při analýze a posouzení odtokových poměrů podrobit jednotlivé scénáře krajiny dlouhodobě stanoveným srážkovým úhrnům i skutečným srážkovým událostem.

Dalším cílem práce je sestavení matematického srážko-odtokového modelu a jeho vystavení skutečné srážce zaznamenané v povodí, která způsobila povodňový stav. Aplikací různých scénářů krajinného pokryvu posoudit vliv konkrétních změn v krajině na odtokové poměry povodí při extrémní srážce.

Pro komplexnost práce byl vývoj změn využití krajiny v ploše posuzován i s ohledem na zaznamenaná měření koncentrací látek v měřených profilech. Cílem je prokázat vliv změn využití krajiny i na množství odtoku, výši odplavovaných látek a koncentrace látek ovlivňujících kvalitu vody.

4 MATERIÁL A METODY ŘEŠENÍ

4.1 Charakteristika modelových území

Jako stěžejní pro disertační práci byla po předchozích šetřeních různých lokalit vybrána dvě rozdílná modelová území. V konečné fázi bylo vybráno povodí Luhy o rozloze 95,66 km² pro charakter svých geografických činitelů a opakovaný výskyt povodňových stavů. Rozsah práce byl dále rozšířen o modelové území povodí VN Hubenov s odlišnými půdními i klimatickými vlastnostmi, zaujímající plochu 47,70 km². V tomto modelovém území bylo vedle vyhodnocení jednotlivých scénářů krajinného pokryvu provedeno také vyhodnocení vlivu krajiny a ochranných opatření v povodí z hlediska látkového odnosu.

4.1.1 *Hodnocení hydrologických a morfologických poměrů*

Hydrologické a morfologické poměry povodí byly stanoveny pomocí GIS analýz v prostředí programu ArcGIS 9.3.1 (ESRI, 2009). Zdrojem hydrologických dat byla především databáze VÚV TGM, v.v.i. DIBAVOD a to vrstvy rozvodnic povodí IV. řádu, vrstvy vodních toků a vodních nádrží. Velikost a zájmová oblast studovaných povodí byly stanoveny tak, aby byly tvořeny vždy celými povodím IV. řádu.

Základem stanovení hydrologických a morfologických poměrů v řešených povodích je hydrologicky korektní digitální model terénu (DMT) vytvořený s ohledem na rozlohu řešených území v rozlišení 5 krát 5 m. Podkladem pro vznik modelu byly vrstevnice po 2 metrech vygenerované pomocí nástroje „3D Analyst Tools\Raster Surface\Contour“ z hrubšího modelu topogrid ČR (VÚV T.G.M., v.v.i., Oddělení GIS a kartografie) v rozlišení 10 krát 10 m velikosti gridové buňky. K vytvoření DMT z vygenerovaných vrstevnic a dat z databáze DIBAVOD slouží nástroj „Spatial Analyst tools\Interpolation\Topo to Raster“. Nástroj je na bázi interpolačního algoritmu, který je primárně přizpůsoben pro práci s vrstevnicovými daty. Základní úvaha vychází z předpokladu, že hlavním faktorem, který modeluje tvar terénu, jsou hydrologické procesy. Takto vzniklý model obsahuje řadu nepřesností v místech depresí, poklesů, výčnolků a vrcholů, proto je třeba model tzv. vyhladit. Jedná se o vyplnění poklesů nebo o odstranění vrcholů vzniklých při řešení interpolace výšek. Vyhlazený rastr DMT získáme po použití nástroje „Spatial Analyst tools\Hydrology\Fill“. Sklonitostní poměry v povodích byly stanoveny pomocí nástroje „Spatial Analyst tools\Surface\Slope“.

4.1.2 Hodnocení hydopedologických poměrů

Hodnocení hydopedologických poměrů a z nich vycházejících vyhodnocení byla prováděna z digitální vrstvy BPEJ v prostředí GIS poskytnuté VUMOP, v.v.i. Nejprve byl z pětimístného kódu BPEJ vyčleněn kód HPJ (2. a 3. číslo BPEJ) pro každé BPEJ. HPJ je účelové seskupení půdních forem, příbuzných ekologickými vlastnostmi, které jsou charakterizovány morfogenetickým půdním typem, subtypem, půdotvorným substrátem, zrnitostí a u některých hlavních půdních jednotek výraznou svažitostí, hloubkou půdního profilu, skeletovitostí a stupněm hydromorfismu.

K jednotlivých HPJ byla poté přiřazena hydrologická skupina půdy (HSP) dle tabulky uvedené v metodice „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ (Janeček a kol., 2012). Jednotlivé HSP A až D jsou zde přiřazeny k HPJ na základě minimální rychlosti infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém syčení (A – nejvíce propustné písčité půdy, D – nejméně propustné jílovité půdy).

Pro potřeby práce byly zkoumány možnosti vstupních vrstev ovlivňujících erozní a odtokové poměry na území. Jedna fáze průzkumu se týkala vrstvy BPEJ. Vypracování systému hodnocení půd BPEJ se datuje mezi roky 1973 až 1980, kdy na základě usnesení vlády č. 101/1971 probíhal Komplexní průzkum půd s pro dnešní data nedostatečnými parametry přesnosti vymezených BPEJ (> 3 ha u BPEJ nekонтрастního charakteru a > 0,5 ha u kontrastních BPEJ), která odpovídala podmínkám, účelu a kladenému termínu dokončení. Přesnější metodika je uvedena v „Metodice vymezení a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek“ (Mašát a kol., 1974) (in Mašát, 2002). Od roku 1985 byly BPEJ upřesňovány a od roku 1998 došlo na základě potřeby podrobnějšího mapování a díky novým metodám hodnocení ke zpřesňování a aktualizaci BPEJ. Aktualizace zohledňuje degradační změny, změny v hydromorfismu půdy, případně určuje BPEJ u pozemků, kde nebyly dříve stanoveny nebo došlo k jejich nesprávnému určení na základě existujících podkladů. Při aktualizaci BPEJ došlo v rámci stávajících a nově

zavedených BPEJ k upřesnění svažitosti, skeletovitosti, hloubky půdy, expozice zemědělských půd v souvislosti s přiřazením BPEJ k vlastnické parcele při provádění KPÚ. Upřesněny byly rovněž okrsky půd zamokřených jak svrchní vodou (hnědé půdy oglejené, oglejené půdy zbažínělé), tak spodní vodou (glejové půdy a glejové půdy zrašelinělé).

Po provedených šetřeních zdrojových podkladů bylo rozhodnuto o nevhodnosti využití prvních vzniklých podkladů BPEJ, důvodem byla nejen jejich dostupnost pro velikost zvolených území, ale především jejich přesnost a odlišná metodika prováděné aktualizace bonitace, zpracování technických dat a využití informačních systémů (Novotný, Vopravil, 2013). Proto byla k hodnocení využita data stávající, poskytnutá v digitální podobě. Přesněji je popis vrstvy BPEJ uveden dále v textu práce u každého území zvlášť.

Další částí bylo stanovení hydrologických vlastností na lesních půdách, které probíhalo rovněž v prostředí GIS s využitím dat SLT pořízených v ÚHÚL. Při stanovení HSP byla využita metoda „Systému komplexního hodnocení lesních půd“ (Macků, 2000) in Projekt VaV/640/3/00, který publikoval Macků (2012). Koncepce tvorby mapové vrstvy vychází z kvantifikace potenciálních schopností lesního ekosystému, diferencovat hydrologické vlastnosti lesních půd. V ekosystémovém pojetí se vychází z analýz hydrických vlastností lesa, respektive dílčích vrstev lesního porostu a lesní půdy, resp. jejich složek – nadložního humusu a minerálních horizontů. Podkladem pro přiřazení HSP na lesních půdách byly vektorové vrstvy jednotek lesních typů (LT) k nimž byly přiřazeny jednotlivé HSP.

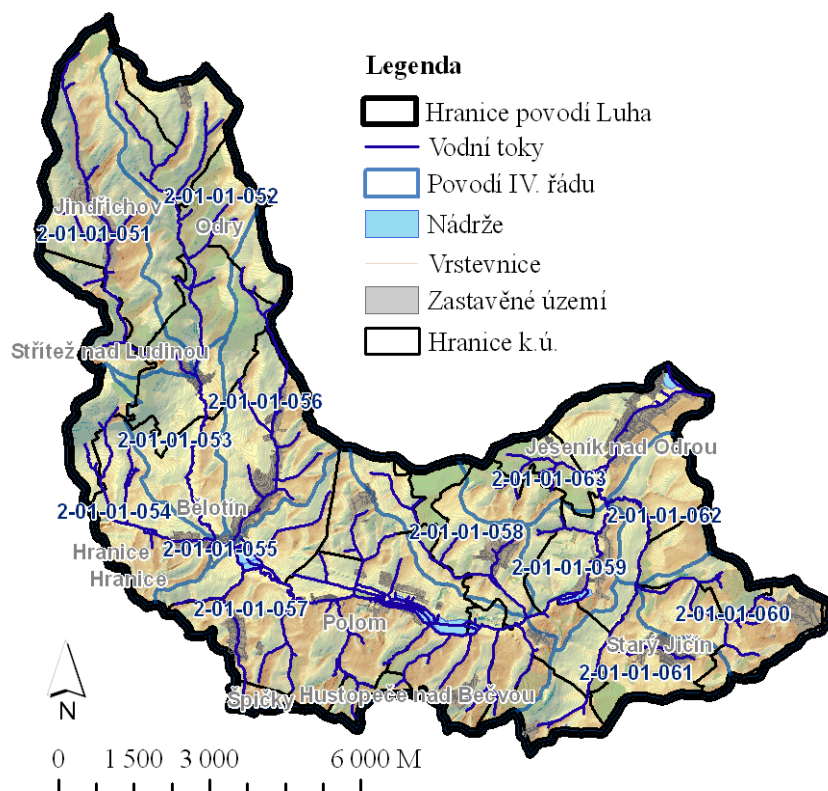
4.1.3 Charakteristika povodí Luhy

Z hlediska administrativně-správního se povodí rozkládá na území dvou krajů a současně i okresů (Olomoucký kraj - okres Přerov, Moravskoslezský kraj - okres Nový Jičín). Do okresu Přerov zasahuje 55,2 % z celkové plochy, zbylých 44,8 % se rozkládá na území novojičínského okresu. V povodí Luhy se nachází celkem 23 katastrálních území dle výše uvedených kategorií, z toho je 11 v okrese Přerov a 12 leží v okrese Nový Jičín.

Katastrální území v povodí Luhy

- okres Přerov: Bělotín, Nejdek u Hranic, Lučice na Moravě, Kunčice, Hranice, Hranické Loučky, Vysoká u Hustopečí nad Bečvou, Jindřichov u Hranic, Polom u Hranic, Střítež nad Ludinou, Špičky.

- okres Nový Jičín: Hrabětice nad Odrou, Jeseník nad Odrou, Blahutovice, Polouvsí, Hůrka, Dobešov, Veselí u Oder, Heřmanice u Polomi, Dub u Nového Jičína, Starojická Lhota, Vlčnov u Starého Jičína, Starý Jičín.



Obr. 1 Situace povodí Luhy

4.1.3.1 Klimatické poměry

Zájmové území spadá dle klimatického členění dle Quittovy klasifikace (Quitt, 1971) do dvou klimatických oblastí MT3 - mírně teplý, vlhký – nížinný, MT4 - mírně teplý, vlhký – vrchovinný.

4.1.3.2 Hydrologické poměry

Řeka Luha je tokem II. řádu s číslem hydrologického pořadí 2-01-01-063. Pramení severně od Jindřichova ve výšce 559 m n. m, po své délce 29,2 km má levé přítoky Hradečný p., Běloutínský p., Lučina, Lučický p. a 6 bezejmenných toků a pravé přítoky, Doubrava, Račí p., Heřmanický p., Rybník a 9 bezejmenných toků. Obě strany povodí mají téměř stejnou plochu, levá (severní) část má rozlohu 46,59 km², pravá (jižní) část zaujímá 48,78 km². Tvar povodí je protáhlý, charakteristika povodí daná podílem plochy a druhou mocninou délky údolí činí 0,14. Povodí Luhy zaujímá rozlohu 95,37 km², nachází se severně od Hranic na Moravě v okresech Přerov a Nový Jičín. Jižní část rozvodnice tvoří zároveň i hranici úmoří mezi Černým a Baltským mořem, neboť území na jih od rozvodnice Luhy spadá do sběrné oblasti Bečvy a je tedy součástí povodí Moravy. Luha ústí zprava do Odry u Jeseníku nad Odrou v 225 m n. m s průměrným průtokem u ústí 0,53 m³·s⁻¹. Povodí Odry je nejmenší v ČR a má odtok do Baltského moře. Celková plocha povodí Luhy je rozdělena do 13 povodí IV. řádu.

Tab. 1 Povodí IV. řádu v řešené části povodí Luhy

Tok a místo	ČHP
Luha nad Hradečným potokem	2-01-01-051
Hradečný potok	2-01-01-052
Luha od Hradečného potoka po Doubravu	2-01-01-053
Doubrava	2-01-01-054
Luha od Doubravy po Bělotínský potok	2-01-01-055
Bělotínský potok	2-01-01-056
Luha od Bělotínského potoka po Lučický potok	2-01-01-057
Lučický potok	2-01-01-058
Luha od Lučického potoka po Rybník	2-01-01-059
Rybník nad Lhoteckým potokem	2-01-01-060
Lhotecký potok	2-01-01-061
Rybník od Lhoteckého potoka po ústí	2-01-01-062
Luha od rybníka po ústí	2-01-01-063

4.1.3.3 Geologické poměry

V pahorkatinách povodí Luhy tvoří deluvia zvětralín kulmských hornin o různé hloubce profilu jednotvárný matečný substrát půd. V terénních depresích, kterými prochází vodní toky, jsou deluviální splachy zemitých kulmských zvětralín, které překrývají neohlazené zvětraliny kulmských hornin, charakteru šterkové terasy. Neogenní výplň a paleogen je překryt hlubokými eolickými pleistocenními a holocenními pokryvy. Z horních třetihor je to karpatský flyš v typickém vývoji střídání pískovců a břidlic, většinou slabě vápnitých. Kvartérní pokryvy zastupují sprašové hlíny. Tyto půdy většinou eolického a sedimentárního původu zpravidla neobsahují klasické pevné příměsi. V blízkém okolí řeky Luhy se nacházejí aluviální nevápnité nivní uloženiny.

4.1.3.4 Hydropedologické poměry

Na svazích, vrcholech a částečně na náhorních plošinách s překrytou deluvií se nachází kambizemě značně šterkovité, místy až kamenité. Na deluviích a pevných kulmských horninách se vyvinuly kambizemě lokálně oglejené. Na sprašových hlínách se vyvinuly illimerizované půdy oglejené, méně hnědozemě illimerizované oglejené, na nevápnitých nivních uloženinách nivní půdy a nivní půdy glejové. Pedologické poměry byly identifikovány s využitím BPEJ dle hlavní půdní jednotky. Příslušnost k hlavní půdní jednotce je důležitá i při zjišťování erozní ohroženosti pozemků, podle druhé a třetí číslice je určen K – faktor, který je nezbytný pro výpočet ztráty půdy. Data pro potřeby práce poskytl VÚMOP, v.v.i.

Tab. 2 Zastoupení HPJ v povodí Luhy

HPJ	Plocha [ha]	Procentuální zastoupení [%]
14	1104,64	11,5
26	668,35	7,0
43	1875,69	19,6
46	401,01	4,2
49	546,04	5,7
Ostatní	4970,28	52,0

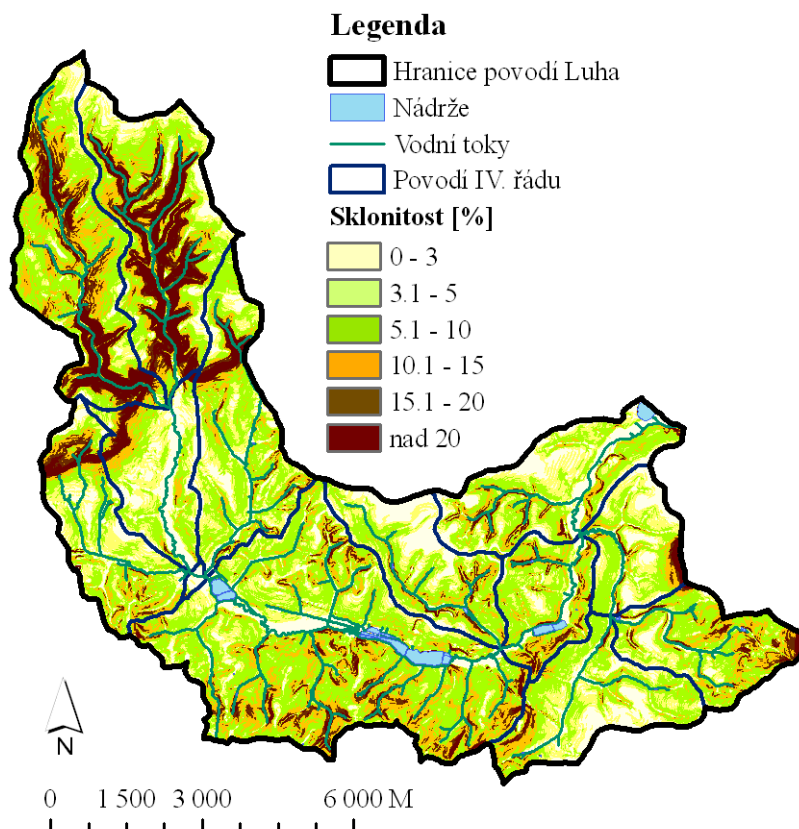
Pro vznik odtoku je základní charakteristikou rychlost infiltrace, která je vyjádřena plošným rozložením hydrologických skupin půd. Významným faktorem, který velmi ovlivňuje charakteristiky přímého odtoku je vysoké procento zastoupení půd s nízkou intenzitou vsaku, HSP typu C a D představují 41 % plochy povodí. HSP C je charakterizována nízkou rychlostí infiltrace ($0,02\text{--}0,06\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) při úplném nasycení, zahrnuje půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu, jílovohlinité až jílovité. HSP D představuje půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ($< 0,02\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnatostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím.

Tab. 3 Procentuální zastoupení HSP v povodí Luhy.

Povodí dle ČHP	Plocha povodí dle ČHP [ha]	HSP A [%]	HSP B [%]	HSP C [%]	HSP D [%]
2-01-01-051	1034,55	1,9	70,1	11,0	17,1
2-01-01-052	1057,51	2,2	61,5	4,0	32,3
2-01-01-053	517,57	1,3	63,4	27,4	7,9
2-01-01-054	613,70	3,2	56,6	14,9	25,4
2-01-01-055	18,11	0,0	67,8	9,3	22,9
2-01-01-056	788,04	0,6	60,3	14,4	24,7
2-01-01-057	2236,69	2,2	51,8	10,0	36,0
2-01-01-058	562,73	1,6	45,8	34,9	17,7
2-01-01-059	413,75	3,0	43,6	38,9	14,4
2-01-01-060	538,54	3,6	46,4	35,2	14,8
2-01-01-061	635,91	1,4	60,4	15,1	23,1
2-01-01-062	414,29	1,5	80,2	5,6	12,8
2-01-01-063	734,63	2,2	58,8	14,6	24,3
Luha	9566,01	2,0	57,9	15,7	24,4

4.1.3.5 Geomorfologické poměry

Na území povodí se nachází orografické celky - Podbeskydská pahorkatina, Moravská brána a Nízký Jeseník (Culek, 1996). Z geomorfologického hlediska zde převažují pahorkatiny. Sklonitostní poměry v povodí Luhy získané dle postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 ukazuje obr. 2.



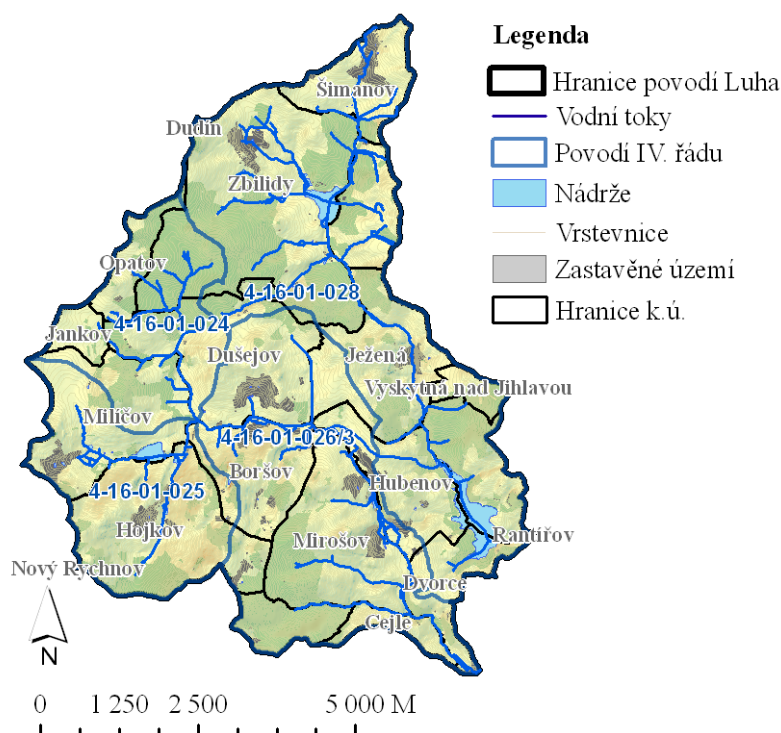
Obr. 2 Sklonitostní poměry v povodí Luhy

4.1.4 Charakteristika povodí k vodárenské nádrži Hubenov

Povodí VN Hubenov se rozkládá ve východní části Českomoravské vrchoviny, západně od Jihlavy v kraji Vysočina. 98,71 % (47,08 km²) spadá do okresu Jihlava a 1,29 % (0,61 km²) plochy zasahuje do okresu Pelhřimov. V povodích se nachází 21 katastrálních území s nadmořskou výškou pohybující se od 530 m n. m. až do 696 m n. m. v povodí Jedlovského potoka a do 709 m n. m. v povodí Jiřinského potoka.

Katastrální území v povodí VN Hubenov

- okres Jihlava: Jankov u Pelhřimova, Nový Rychnov,
- okres Pelhřimov: Hubenov, Boršov, Rantířov, Dvorce u Jihlavy, Mirošov u Jihlavy, Ježená, Rounek, Dušejov, Jiřín, Hutě, Šimanov na Moravě, Cejle, Hojkov, Milíčov u Jihlavy, Opatov u Jihlavy, Vyskytná nad Jihlavou, Dudín, Kostelec u Jihlavy, Zbilidy.



Obr. 3 Situace povodí VN Hubenov

4.1.4.1 Klimatické poměry

Území VN Hubenov leží, podle klimatického členění ČR, v mírně teplé klimatické oblasti MT9, většina území v MT5 (Quitt, 1971). Průměrná roční teplota je 7,0 °C. Roční úhrn srážek se pohybuje v dlouhodobém průměru nad hranicí 630 mm. Proudění vzduchu je oproti volné atmosféře značně modifikováno reliéfem terénu. Území otevřených náhorních plošin je dobře provětrávané. Převažující větry jsou severozápadní až západní, největší rychlosti dosahují v měsících březnu a září.

4.1.4.2 Hydrologické poměry

Celková plocha povodí je rozdělena do 4 povodí IV. řádu spadajících pod povodí Moravy, Hojkovský potok (4-16-01-025), Maršovský potok (4-16-01-028) a dvou povodí na Jedlovském potoce (4-16-01-024 a 4-16-01-026/3).

Tab. 4 Stručné charakteristiky potoků v povodích (Podhrázská, 2008)

Název toku	Plocha povodí [km ²]	Dlouhodobý průměrný roční průtok Q_a [m ³ ·s ⁻¹]
Maršovský potok	19,19	0,110
Jedlovský potok	14,14	0,113

Odtoky z povodí Maršovského potoka jsou poměrně vyrovnané, převládá vliv odtoku podzemních vod. Podle objemového součinitele celkového odtoku se oblast klasifikuje jako průměrně vodná až vodná. Celá oblast zásobuje vodou VN Hubenov využívanou jako

zdroj pitné vody pro město Jihlavu a okolí, proto je celá oblast protkána řadou odběrných míst pod správou povodí Moravy, s.p. hodnotících kvalitu vody (tab. 5) (Podhrázská, 2008).

Tab. 5 Odběrné profily povodí Moravy, s.p. (Podhrázská, 2008)

ČHP	Tok	Profil	Říční km	Mapa	Poznámky	Popis
4-16-01-028	Jedlovský potok	Hubenov	2,6	23-23-17	PHO Hubenov	most Dušejov-Boršov, pod čerpací stanicí Jedlovského přivaděče
4-16-01-028	Jiřinský přivaděč	Ježená	3,4	23-23-18	PHO Hubenov	nad ústím do Maršovského potoka- výtok z roury (nad rybníčkem)
4-16-01-028	Maršovský potok	Hubenov - odtok	0,265	23-23-23	PHO Hubenov	u LG – pravý břeh
4-16-01-028	Maršovský potok	Hubenov - hráz	0,7	23-23-23	PHO Hubenov	odběr u hráze z lávky k věži
4-16-01-028	Maršovský potok	Hubenov - surová	0,683	23-23-23	PHO Hubenov	z kohoutu surové vody ve vstupním prostoru štol
4-16-01-028	Maršovský potok	Hubenov - ústí	2,638	23-23-18	PHO Hubenov hl. př.	u LG – pravý břeh
4-16-01-028	Maršovský potok	Ježená	4,4	23-23-18	PHO Hubenov hl. př.	mostek na polní cestě nad obcí, nad vyústěním Jiřinského přivaděče

Po uvedení VN do provozu byla stanovena a zpřesněna pásma hygienické ochrany (PHO) 1–3, z toho pásma 2 a 3 byla zpřesněna. Byly stanoveny a vyhlášeny „Zásady zdravotně–vodohospodářské ochrany v povodí vodárenské nádrže Hubenov“. V roce 1986 byla provedena revize PHO, byla stanovena PHO 1–3, druhé pásmo bylo rozděleno na vnitřní a vnější. V roce 1996 byla provedena druhá revize a stanovena pouze dvě pásma, PHO 1 a 2. V obou pásmech byl stanoven režim a vymezena vodohospodářsky významná území, ve kterých byla a budou z důvodu ochrany kvality vody ve VN provedena speciální opatření. PHO 1 zůstává prakticky beze změn tak, jak bylo navrženo při uvedení nádrže do provozu. V PHO 2 jsou stanoveny tzv. tři stupně ochrany (zóny) proti plošnému zemědělskému znečištění, (jsou stanoveny agrotechnické postupy, množství hnojiv na jednotku produkce, velikost dobytčích jednotek na hektar apod.), hlavně proti vyplavování látek z půdního profilu. PHO 2 se týká plochy celého povodí VN.

OP I. VN Hubenov zahrnuje celou plochu vodárenské nádrže při maximálním vzduť a přilehlé plochy ve vzdálenosti 50–100 m od hladiny max. vzduť a slouží k ochraně vodního zdroje v jeho bezprostřední blízkosti. Součástí OP I. je i vlastní těleso hráze vodárenské nádrže s komunikací.

Ochranné pásmo II. stupně tj. zóna zvýšené ochrany (ZZO), zóna údolních niv (ZÚN) a silničních zón v nově stanovených OP VD Hubenov navazuje bezprostředně na první pásmo a skládá se z tzv. zón diferencované ochrany.

4.1.4.3 *Hydropedologické poměry*

Půdní typy a druhy odpovídají půdotvornému substrátu. V závislosti na charakteru zvětralin a svahovin převládá mozaika kambizemí nenasycených s různou příměsí štěrku. Lokálně se vyskytují pseudogleje až gleje.

Tab. 6 Zastoupení HPJ v povodí VN Hubenov

HPJ	Plocha [ha]		Procentuální zastoupení [%]	
	2006	2009	2006	2009
29	242,78	243,53	5,1	5,1
32	522,89	527,26	10,9	11,0
34	1219,46	1208,44	25,5	25,3
37	193,14	188,82	4,1	4,0
50	449,46	452,96	9,4	9,5
Ostatní	2146,11	2152,84	45,0	45,1

Zájmová katastrální území leží v oblasti tvořené horninami krystalinika. Z hornin krystalinika je zde zastoupena žula, která patří ke kyselým horninám vyvřelým, složeným z křemene, živců a slíd. Průběh zvětrávání závisí na velikosti zrna a na obsahu živců a křemene. Na žulách vznikly hnědé půdy kyselé, hnědé půdy kyselé slabě oglejené a hnědé půdy kyselé oglejené, které při bonitaci byly zařazeny do hlavních půdních jednotek HPJ 29, 32, 34, 37, 39, 40.

Pleistocén je v zájmovém území zastoupen svahovinami z převážně kyselého materiálu, které se nacházejí v rovinatějším, málo členitém terénu. Jsou to uloženiny přemístěné z vyšších poloh do nižších, vytvářející různě mocnou vrstvu. Vznikly na nich oglejené půdy zbažinné, glejové půdy a glejové půdy zrašelinělé, zařazené v bonitaci do HPJ 67, 68, 69, 74, 75. Nejmladší geologický útvar holocén je zastoupen nevápnitými nivními uloženinami, nacházejícími se podél vodních toků. Vznikly na nich glejové půdy a glejové půdy zrašelinělé zařazené v bonitaci do HPJ 64, 65, 67, 68, 69.

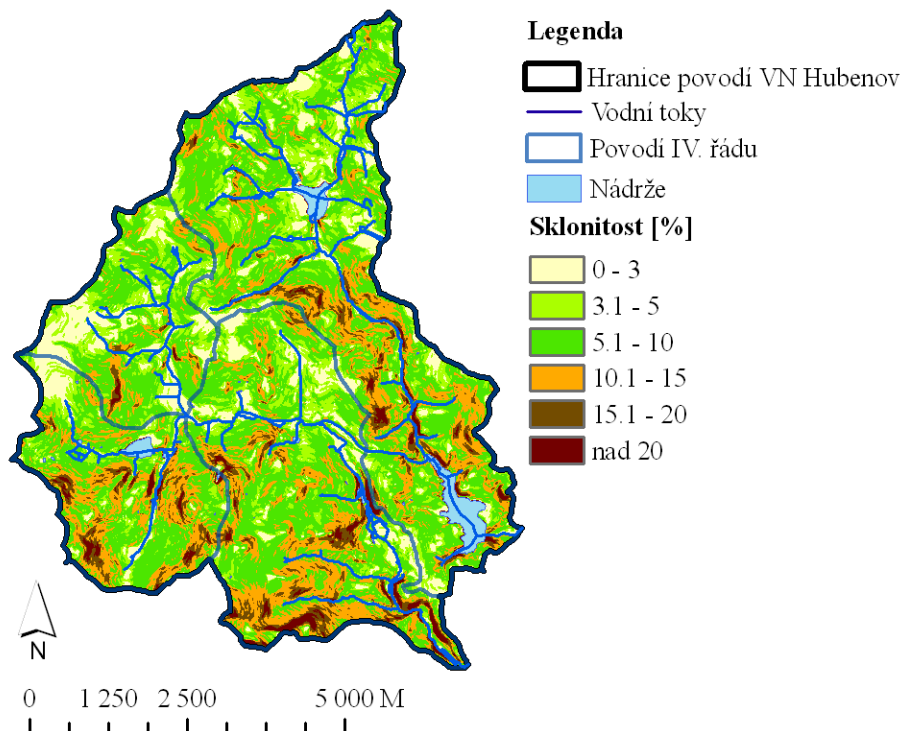
Tab. 7 Dnešní procentuální zastoupení HSP v povodí VN Hubenov

Povodí dle ČHP	Plocha povodí dle ČHP [ha]	HSP A [%]	HSP B [%]	HSP C [%]	HSP D [%]
4-16-01-024	647,38	0,0	67,1	18,7	14,2
4-16-01-025	747,00	0,0	73,6	11,1	15,3
4-16-01-026/3	1370,96	30,2	39,9	18,7	11,2
4-16-01-028	2004,17	18,7	55,5	19,5	6,4
Pov. VN Hubenov	4769,51	17,3	54,7	17,7	10,4

4.1.4.4 Geomorfologické poměry

Řešené území se nachází v Českomoravské vrchovině na rozhraní Jihlavských vrchů a vlastní Velkomeziříčské pahorkatiny. Území je tvořeno pahorkatinou se zarovnaným povrchem, který je rozčleněn velmi mělkými brázdami, rovněž údolí řek jsou nevýrazná.

Podle geobiocenologické typizace dle nového členění České republiky na biogeografické regiony (Culek, 1996) leží řešené území ve Velkomeziříčském bioregionu. Jeho nadstavbovou biogeografickou jednotkou je hercynská podprovincie. Její nadřazenou jednotkou je biogeografická provincie středoevropských listnatých lesů. Bioregion je tvořen zarovnanou jemnou pahorkatinou na zdviženém povrchu na rulách a syenitech. V údolích vodních toků jsou uloženy čtvrtohorní říční usazeniny. Sklonitostní poměry v povodí získané dle postupu uvedeného v kapitole 4.1.1 ukazuje obr. 4.



Obr. 4 Sklonitostní poměry v povodí VN Hubenov.

4.2 Zpracování historických podkladů k modelovým lokalitám

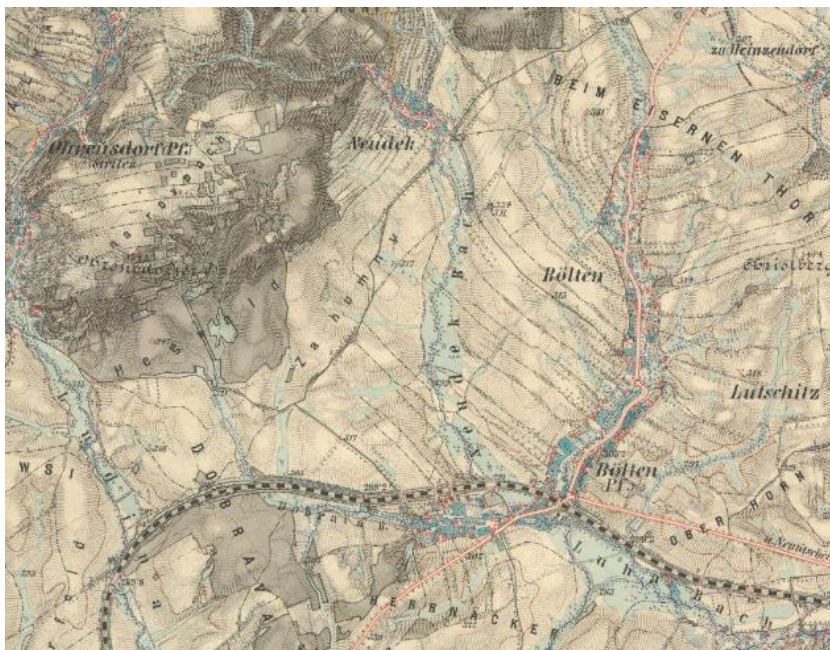
Změny využití krajiny byly studovány na základě různých zdrojů, starých topografických map, leteckých a družicových snímků, map katastru nemovitostí, geodetických map a map pozemkové evidence ve dvou časových horizontech, období padesátých a devadesátých let devatenáctého století. Na výhody a nevýhody těchto zdrojů poukázali publikované práce např. Skokanová a kol, 2007; Skokanová a kol., 2009.

Mapami topografickými nebo mapami stabilního katastru v digitální či analogové podobě disponuje Ústřední archiv zeměměřictví a katastru České republiky, vojenské letecké snímky poskytuje Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce. Obě instituce disponují rozsáhlým mapovým dílem ze všech proběhlých mapování na území dnešní České republiky. S ohledem na náplň této práce je přesnost starších mapování uskutečněných na území dnešní České republiky nedostatečná a nevhodná k porovnávání získaných pokryvných vrstev. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o nevyužití map z I. vojenského mapování – jinak také josefského mapování pro naplnění cílů práce. Vzhled podkladu z I. vojenského mapování v oblasti povodí Luhy, přesněji k. ú. Nejdek, Bělotín a Lučice prováděné v letech 1764–1768 a 1780–1783 zobrazuje obr. 5. Mapování probíhalo bez využití trigonometrické sítě, šlo pouze o odhad podle pozorování v terénu, případně podle odkrokování podrobností.

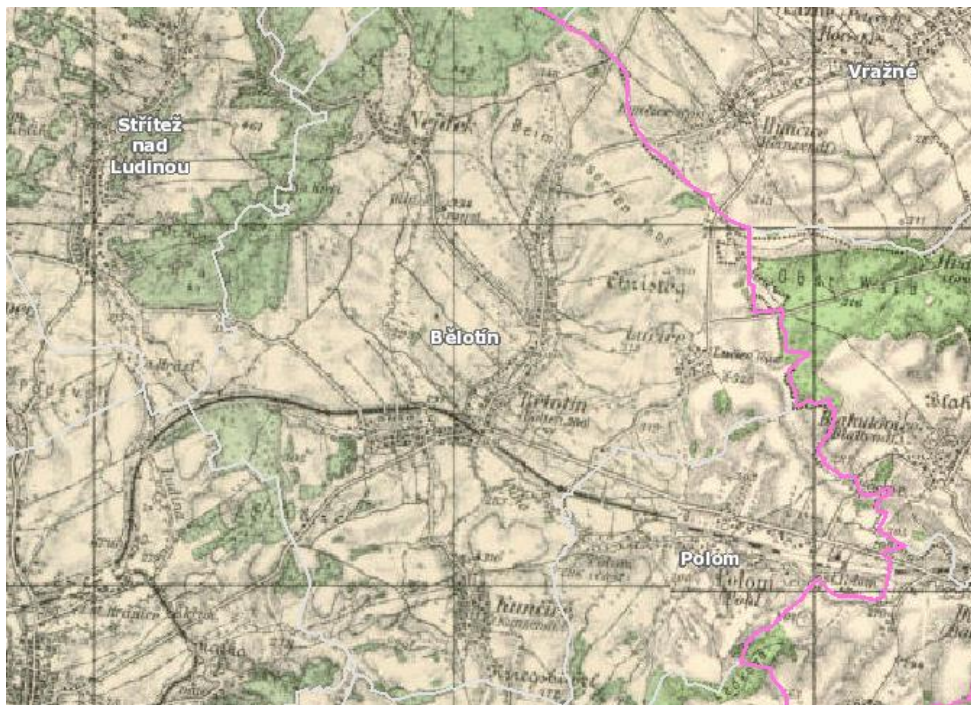


Obr. 5 Vzhled podkladu z I. vojenského mapování v oblasti povodí Luhy (<http://oldmaps.geolab.cz/>)

Ani mapy z II vojenského mapování (Františkovo mapování), které proběhlo v letech 1836–1852 po vybudování trigonometrické sítě v měřítku 1 : 28 800 s chybou 11–30 m, nebyly využity. Přímou v zájmové lokalitě povodí Luhy se uskutečnilo mapování roku 1836. Oblast k. ú. Nejdek, Bělotín, Lučice znázorňuje obr. 6. Místem uložení výsledných operátů prvního a druhého vojenského mapování je Kriegsarchiv ve Vídni (A-1030 Wien, Nottendorfergasse 2).



Obr. 6 Vzhled podkladu z II. vojenského mapování v oblasti povodí Luhy (<http://oldmaps.geolab.cz/>)



Obr. 7 Vzhled podkladu z III. vojenského mapování v oblasti povodí Luhy (<http://kontaminace.cenia.cz/>, III. vojenské mapování © UJEP, CENIA, Ministerstvo životního prostředí)

Ukázka kvality speciální mapy podkladu pro stanovení pokryvu z III. Vojenského mapování provedeného v letech 1876–1878 (Morava a Slezsko), 1877–1880 (Čechy) v měřítku 1 : 25 000 s chybou 13–30 m. Z nich vznikly mapy speciální 1 : 75 000 (obr. 7). Přesnost mapování a z ní získaný pokryv je neporovnatelný a kvalitou nevyhovující jako

vstupní podklad potřebný pro získání pokryvu území s možností a hlavně správností vyhodnocení erozních a odtokových charakteristik, tak jak si klade za cíl tato práce.

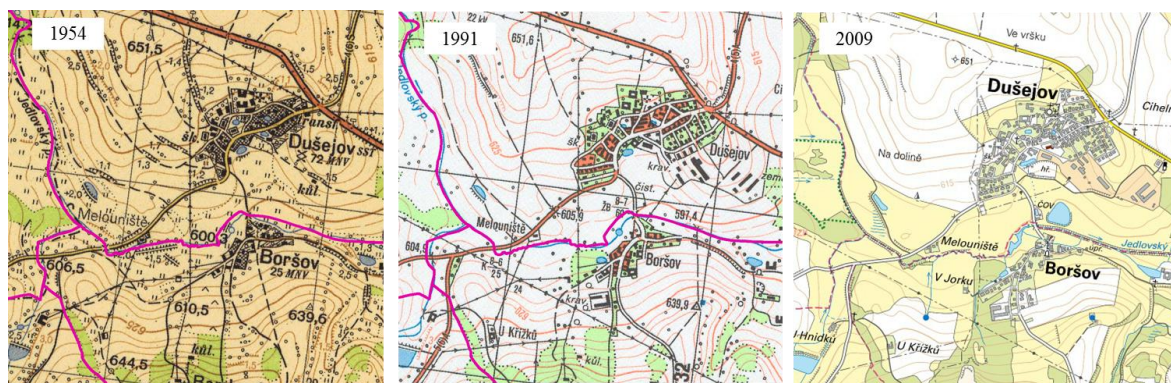
Proto byly v práci jako historická data použity snímky až z let padesátých devatenáctého století. Zdrojové datové soubory pochází zejména z československého vojenského mapování. Pro odvození dat využití půdy období bylo použito map vzniklých na území Československé republiky v rámci vojenského mapování v letech 1952–1955 (TM25) a poté v letech 1988–1995 v měřítku 1 : 25 000 s polohovou chybou 10–15 m.

V období 1990 bylo ještě využito při tvorbě vrstvy pokryvu i základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED 2), která vznikla v letech 1982–1996 v měřítku 1 : 10 000 s chybou 5–10 m. I Veverka (2001) uvádí jako velmi zajímavá zdrojová data z hlediska vývoje krajiny první sadu TM25 z let 1952–1957.

Topografické vojenské mapy 1:25 000 z 50. let 20. století byly zapůjčeny ke skenování z Katedry vojenské geografie a meteorologie Univerzity obrany v Brně. Skenování map a jejich georeferencování probíhalo na oddělení aplikací GIS AOPK ČR v Brně (dnes Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i.).

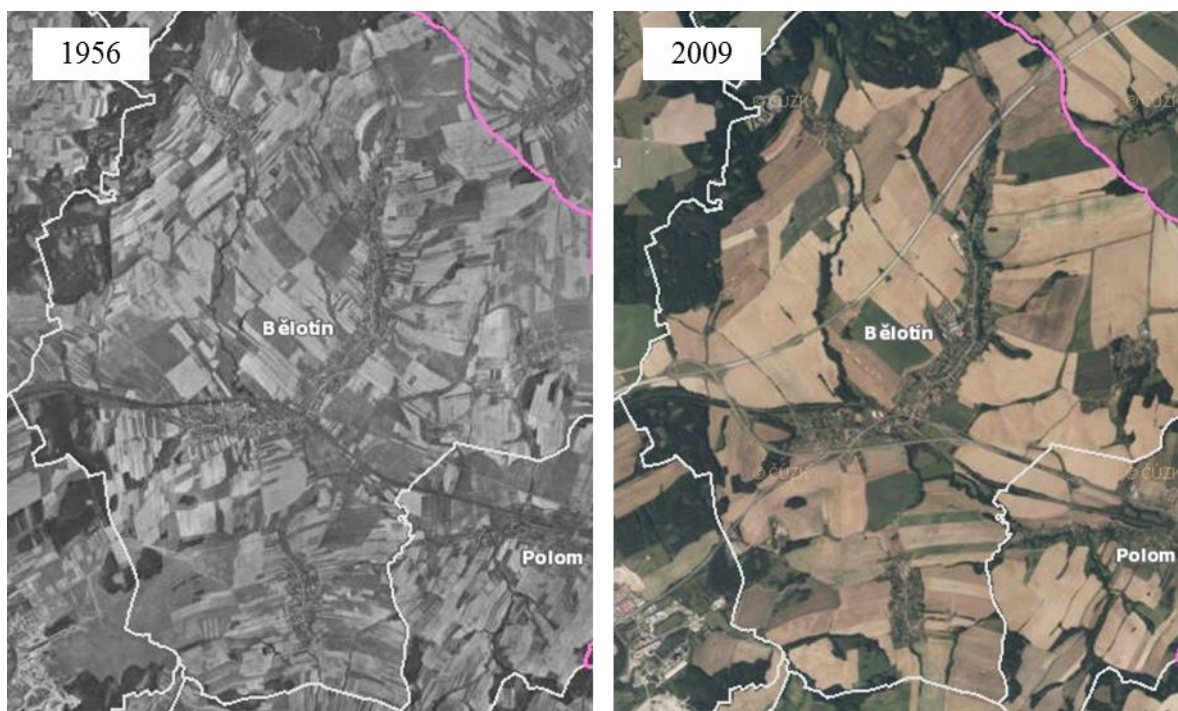
Co se týče map z 90. let 20. století, jejich kompletní sada byla vlastněna na AOPK ČR v Brně. Jejich skenování a georeferencování probíhalo rovněž na oddělení aplikací GIS AOPK ČR v Brně (dnes Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i.). Georeference těchto map do souřadnicového systému S-JTSK probíhala v prostředí ArcGIS.

Při vektorizaci bylo využito i topografických map ze sledovaných období, jejich porovnání je patrné z obr. 8.

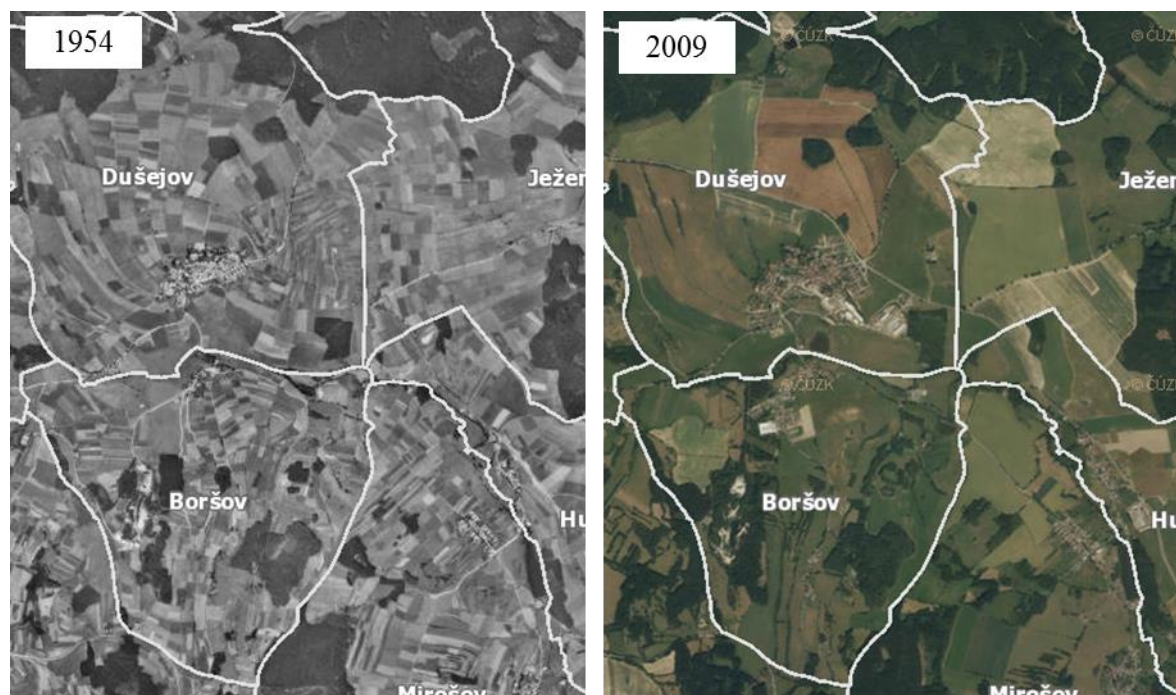


Obr. 8 Porovnání topografických map z roku 1954, 1991 a 2009 v povodí VN Hubenov

Přesněji bylo území VN Hubenov snímkováno roku 1954 (obr. 9) a povodí Luhy roku 1956 (obr. 10), na obrázcích jsou snímky srovnány se stavem z roku 2009.



Obr. 9 Porovnání vzhledu krajinného pokryvu z roku 1956 a 2009 v povodí Luhy
(Historická ortofotomapa © CENIA 2010 a GEODIS BRNO, spol. s r.o. 2010, Podkladové
letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2009, Aktuální ortofotomapa ©
ČÚZK)



Obr. 10 Porovnání vzhledu krajinného pokryvu z roku 1954 a 2009 v povodí VN Hubenov
(Historická ortofotomapa © CENIA 2010 a GEODIS BRNO, spol. s r.o. 2010, Podkladové
letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2009, Aktuální ortofotomapa ©
ČÚZK)

Analýza změn využití krajiny vycházela z metodiky Výzkumného ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i. (Mackovčín, 2009; Skokanová, 2009). Topografické mapy byly ručně vektorizovány v softwaru ArcGIS. Extrahování informací z mapových podkladů bylo řešeno pomocí jejich manuální vektorizace tzv. metodou on-screen. Než však mohlo dojít k samotné vektorizaci, musely být mapové podklady převedeny z analogové do digitální podoby (naskenováním) a zgeoreferencovány v programu ArcGIS podle hlavních zastoupených bodů od rohů mapových listů vytvořených pro Vojenský topografický průzkum do souřadného systému S-JTSK. Zmíněná metodika vektorizuje pouze plochy větší než 0,8 ha, což je pro hodnocení erozních i odtokových poměrů nevyhovující rozlišení, které bylo pro potřeby práce zpřesněno v maximální míře možné vycházející z kvality a přesnosti vstupních podkladů.

Na základě legend zdrojových datových souborů byly vytvořeny kategorie, vznikly na základě kombinací značkových klíčů jednotlivých mapových děl a zároveň s přihlédnutím k již existujícím kategoriím využívání krajiny (např. CORINE).

4.3 Stanovení využití plochy povodí

Pro následný rozbor území bylo použito několik scénářů využití plochy povodí. Jednalo se o dva typy vstupních informací. Pro rozbor byla použita kompletní škála vrstev LPIS, která je uchovávána každý rok na MZE. Roky 2005 až 2012 byly poskytnuty MZE, zdrojem LPIS z let 2002 a 2004 byla firma EKOTOXA. U vrstvy z roku 2002 jde o první verzi LPIS. Jedná se tedy o vrstvu vzniklou v letech vývoje. Zákres obsahuje prakticky veškerý povrch, zakreslovalo se vše co by mohlo být v budoucnu použitelné. Teprve v dalších verzích vrstvy proběhla verifikace vrstvy a její upřesnění s uživateli. Z tohoto důvodu je zdrojový LPIS z roku 2002 třeba brát jen jako přibližný a výsledky z této vrstvy získané pouze za informativní, nikoliv stěžejní při posuzování výsledků. Www stránky eAGRI, přesněji Portál farmáře byl zdrojem vrstvy LPIS pro rok 2013. U stanovení využití plochy povodí byl doplněn LPIS vrstvou lesů s typologií lesa (ÚHÚL), ZABAGEDem (VÚV T.G.M.,v.v.i..) a vrstvami z Digitální Báze Vodohospodářských Dat (DIBAVOD, VÚV T.G.M.,v.v.i..) využitelných při zpracování území pro potřeby práce. Základem pro návrhový krajinný pokryv bylo využití krajiny z roku 2013. Tento pokryv byl pro zvýšení ekologické stability území doplněn prvky protierozní a protipovodňové ochrany v ploše povodí. Podrobněji je návrhový stav v povodí Luhy popsán v kapitolách 5.2 a v povodí VN Hubenov v kapitole 5.7.

Jako druhý, odlišný zdroj pro tvorbu krajinného pokryvu byly zvektorizovány, zpřesněny a doplněny scénáře historické vycházející z vrstev vzniklých při československém vojenském mapování poskytnutých Výzkumným ústavem Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i.. Původní metodika vektorizace map vytvořená VÚKOZ, v. v. i. (Mackovčín, 2009; Skokanová, 2009) byla rozpracována a doplněna. Došlo k vektorizaci všech ploch bez předchozího plošného omezení, přesnost se stala závislou pouze na kvalitě podkladové georeferencované vrstvy, která vznikla při československém vojenském mapování v příslušných letech. Tyto mapy tvoří kompletní mapové dílo pokrývající území celé České republiky. Byly použity pro odvození dat využití půdy

v obou obdobích. Mapy vznikaly na území Československé republiky v letech 1952–1955 (u Luhy jde přesněji o rok 1956 a u povodí k VN Hubenov o rok 1954) a poté v letech 1988–1995 (mapa pro povodí Luhy vznikla roku 1995, u VN Hubenov je to rok 1991) v měřítku 1 : 25 000 s polohovou chybou 10–15 m. V období 1990 bylo ještě využito Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED 2), která vznikla v letech 1982–1996 v měřítku 1 : 10 000 s chybou 5–10 m. Mimo lokalizace ploch došlo k vektorizaci i liniových staveb a tedy vytvoření vrstvy pokryvu, jejíž součástí jsou překážky odtoku zkracující délku svahu a snižující odnos půdy vodní erozí.

Vznikající vrstvy krajinných pokryvů bylo třeba upravit tak, aby byly za dané časové horizonty plně srovnatelné. Z tohoto faktu se vycházelo při tvorbě kompletních pokryvů povodí za daná období. Jak u historických, tak také u stávajících a návrhových pokryvných vrstev území byly stanoveny na základě legend zdrojových datových souborů kategorie jednotlivých využití krajiny. Kategorie a jejich kódování vycházely z kombinace značkových klíčů jednotlivých mapových děl spolu s přihlédnutím k již existujícím kategoriím využívání krajiny (např. CORINE).

4.4 Vyhodnocení ztráty půdy

Ztráta půdy vodní erozí byla stanovena na základě rovnice Wischmeier a Smith (1978), rovnice (1), podrobněji popsána v kapitole 2.5. V práci byla rovnice Wischmeier – Smith (1978) aplikována v prostředí ArcGIS. Ztráta půdy v povodí v jednotlivých hodnocených obdobích jakož i pro jednotlivé scénáře využití povodí po návrhu ochranných opatření byl stanoven na základě DMT s využitím ArcGIS a programu USLE 2D (Govers a Van Oost, 2000) s využitím LS algoritmu dle Mc Coola (1987 a 1989), zmíněného již v kapitole 2.6.

Pro možnost použití Raster Calculator v nadstavbě Spatial Analyst bylo třeba do výpočtu vstupující faktory převést z vektorového na rastrové zobrazení. Vytvořeny a převedeny byly vrstvy LS faktoru, K faktoru a C faktoru. Pro tvorbu rastrových podkladů uvedených faktorů byla použita velikost buňky 5 krát 5 m. U faktorů R a P byly použity konstantní hodnoty.

4.4.1 Stanovení topografického faktoru LS

Topografický faktor LS je tvořen kombinací faktorů sklonu svahu S a faktoru délky svahu L. LS faktor představuje poměr ztrát půdy na jednotku plochy svahu ke ztrátě půdy na standardním pozemku o délce 22 metrů se sklonem 9 %. Pro stanovení topografického faktoru LS pro rozsah řešeného území bylo nutno vygenerovat z dostupných dat digitální model terénu, v práci bylo s ohledem na rozlohu řešených území zvoleno rozlišení 5 krát 5 m. Podkladem pro vznik modelu byly vrstevnice po 2 metrech vygenerované pomocí ArcGIS z hrubšího modelu topogrid ČR (VÚV T.G.M., v.v.i., Oddělení GIS a kartografie) v rozlišení gridové buňky o velikosti 10 krát 10 m a data z databáze DIBAVOD. Druhou vstupující vrstvou do výpočtu je vrstva využití území, zde byly postupně použity jak zvektorizované historické vrstvy z 50. a 90. let 19. století, tak následně vrstvy LPIS (MZE) i vytvořená vrstva návrhového stavu. Vrstva „pozemků“ rozčleňuje území na dílčí plochy. Výpočet vychází z předpokladu, že hranice mezi dílčími plochami působí jako překážky

pro plošný povrchový odtok, čímž zde dochází k přerušení odtoku a následnému zkrácení délky odtokové dráhy a délky svahu.

Program USLE 2D (Govers a Van Oost, 2000) byl použit pro stanovení LS faktoru. Program nabízí různé metody výpočtu. Pro práci byl vybrán na základě provedených analýz výpočet pomocí „Routing Algorithm: flux decomposition“ (umožňující větvení odtokové dráhy) a „LS Algorithm: Mc Cool“ (McCool a kol., 1987, 1989), pro standardní metody výpočtu LS faktoru v RUSLE.

Vliv sklonu a délky svahu na intenzitu eroze je počítán zvlášť pro každý rastrový element. Délka odtokové dráhy je nahrazena zdrojovou plochou rastrového elementu.

Teoretická východiska metody USLE 2D umožňují několik přístupů ke stanovení LS faktoru. Podle Foster a Wischmeiera (1974) se výpočet faktoru LS, pro nepravidelné svahy provádí na základě vztahu:

$$LS = \sum_{j=1}^N \frac{S_j \cdot \lambda_j^{m+1} - S_j \cdot \lambda_{j-1}^{m+1}}{(\lambda_j - \lambda_{j-1}) (22,13)^m} \quad (2)$$

kde S_j je S faktor pro j-tý segment ($m \cdot m^{-1}$), λ_j je vzdálenost ze spodní hranice j-tého segmentu k jeho horní hranici (m).

Rovnici (2) upravíme pro verzi 3D LS:

$$LS = \sum_{i,j} \frac{S(i,j) \cdot \lambda(i,j)_{outlet}^{m+1} - S(i,j) \cdot \lambda(i,j)_{inlet}^{m+1}}{(\lambda(i,j)_{outlet} - \lambda(i,j)_{inlet}) (22,13)^m} \quad (3)$$

kde LS je topografický faktor USLE pro pozemek nebo celé sběrné území (povodí), $\sum_{i,j}$ je suma pro všechny gridové buňky pozemku nebo celé sběrné území, $\lambda(i,j)_{inlet}$ je délka svahu ke vtoku na gridovou buňku (i, j) (m), $\lambda(i,j)_{outlet}$ je délka svahu k odtoku z gridové buňky (i, j) (m), $S(i,j)$ je S faktor pro gridovou buňku (i, j), m je exponent délky svahu.

Jednotka zdrojové plochy může být definována jako zdrojová plocha na jednotku šířky. Když počítáme jednotku zdrojové plochy, musíme rozdělit zdrojovou plochu na šířku, přes kterou odtok vniká na gridovou buňku. Tato šířka závisí na „Flow direction“ a je počítána s využitím expozice svahu „Aspect“ (Desmet a Govers, 1996). To znamená:

$$\lambda_{(i,j)inlet} = A_{s,in} = A_{in}/D' \text{ en } \lambda_{(i,j)outlet} = A_{s,out} = A_{out}/D' \quad (4)$$

kde $A_{s,in}$ je jednotka zdrojové plochy na vtoku do gridové buňky, $A_{s,out}$ je jednotka zdrojové plochy na odtoku z gridové buňky, D' je šířka buňky gridu přes kterou odtok (flow) prochází.

$$A_{out} = A_{in} + D'^2 ; \quad D' = D/x \quad (5)$$

kde D je velikost gridu, x je korekční faktor.

$$L(i, j) = \frac{x}{x^{m+1}} \cdot \frac{D}{D^{m+1}} \cdot \frac{(A_{in} + D^2)^{m+1} - A_{in}^{m+1}}{(A_{in} + D^2 - A_{in}) \cdot (22,13)^m} \quad (6)$$

$$L(i, j) = \frac{(A(i, j) + D^2)^{m+1} - A(i, j)^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22,13)^m} \quad (7)$$

Exponent m v rovnici je vyjádřen jako $m = (\beta/\beta + 1)$, (8)

kde $\beta = (\sin s / 0,0896) / [3,0(\sin s)^{0,8} + 0,56]$ (9)

Pokud je vyšetřovaná plocha v důsledku místních podmínek výrazně náchylná k tvorbě rýžkové eroze, je třeba pro exponent m použít hodnotu 2,0 - nejvyšší hodnota podílu rýžové k mezirýžové erozi (McCool, 1989). Tyto podmínky se převážně vyskytují na strmých svazích využívaných k obhospodařování. V případě, že se na pozemku vyskytuje převážně plošná mezirýžová eroze, m je počítán násobením hodnoty β x 0,5 (nejnižší hodnota podílu rýžové eroze k mezirýžové), tyto hodnoty se použijí rovněž pro neobdělávané, nevyužívané půdy.

Pro krátké svahy (kratší než 4 metry):

$$S(i, j) = 3,0 * (\sin \theta_{i,j})^{0,8} + 0,56 \quad (10)$$

Rovnice pro výpočet LS odvozená McCool a kol. (1987, 1989) je také užita v rámci RUSLE:

$$S(i, j) = 10,8 * \sin \theta_{i,j} + 0,03, \text{ kde } \theta_{i,j} \leq 9\% \quad (11)$$

$$S(i, j) = 16,8 * \sin \theta_{i,j} - 0,5, \text{ kde } \theta_{i,j} > 9\% \quad (12)$$

4.4.2 Stanovení faktoru erozní účinnosti dešťů R

Pro Českou republiku byla původně průměrná roční hodnota faktoru erozní účinnosti deště $R = 20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ určena na základě dlouhodobé řady pozorování srážek na 3 stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ) Praha – Klementinum, Tábor a Bílá Třemešná s tím, že k výpočtu R faktoru byly použity deště s úhrny sníženými o 12,5 mm. Využitím nově zpracovaných dlouhodobých řad ombrografických záznamů z dalších stanic ČHMÚ (Janeček a kol., 2012) a provedením důkladnějšího metodického rozboru erozních účinností srážek bylo možné nově stanovit R faktor pro území České republiky. Pro naprosto převažující plochu zemědělské půdy České republiky je přiřazena průměrná roční hodnota $R = 40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, tedy hodnota dvojnásobná, oproti hodnotě dříve doporučované. Do průměru nebyly zahrnuty oblasti dešťového stínu, kde je $R = 15$ až $30 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ a podhorské oblasti s R faktorem 45 až $60 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ (Janeček a kol., 2012).

Pro výpočet R faktoru byla v práci použita nově zpracovaná průměrná hodnota $R = 40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, do výpočtů vstupující jako konstanta.

4.4.3 Stanovení faktoru vegetačního pokryvu C

Pro stanovení C faktoru byl použit celostátně dostupný registr půdních bloků LPIS získaný z MZE. U vektorizovaných pokryvů vycházejících z pokladů získaných z VÚKOZ, bylo s ohledem na následné porovnání i u let s dostupnou vrstvou LPIS využito průměrné struktury zemědělských plodin ke stanovení C faktoru. Zdrojem pro stanovení průměrných struktur plodin se staly kroniky obcí, případně místní pamětníci.

Následné hodnoty faktoru C vypočtené v souladu s metodikou „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ (Janeček a kol., 2012) mají hodnoty uvedené v tab. 8.

Tab. 8 Struktury osevní rotace a vypočtené hodnoty C faktoru

Časové období	Struktury osevní rotace	Zastoupení [%]	C faktor [-]
50. léta	luštěniny (čočka, hrách, fazole)	4	0,174
	mák	1	
	obiloviny (pšenice ozimá (60 %), jarní ječmen (40 %))	50	
	řepa pro krmení	10	
	brambory	10	
	celoroční pícniny (jetel, vojtěška)	20	
	travní porost (pastviny, louky)	5	
90. léta	kukuřice	10	0,193
	obiloviny (30 % (pšenice ozimá, 25 % jarní ječmen)	55	
	vojtěška	25	
	cukrová řepa	10	
2002 až návrh	obiloviny (35 % (pšenice ozimá, 15 % jarní ječmen)	50	0,302
	kukuřice, slunečnice	30	
	řepka	20	

4.4.4 Stanovení faktoru erodovatelnosti půdy K

Pro stanovení K faktoru bylo využito údajů z celostátní databáze BPEJ. Na základě hlavní půdní jednotky byla přiřazena každému elementu vektorové vrstvy BPEJ hodnota K faktoru. Hodnoty K faktoru byly převedeny do rastrové podoby.

V povodích Luhy byla do dnešní doby provedena aktualizace vrstvy BPEJ zatím pouze na jednom k. ú. s provedenou KPU. Proto do výpočtu ztráty půdy v letech vstupuje pouze jedna totožná vrstva K faktoru.

V závislosti na probíhajících KPÚ v oblasti povodí VN Hubenov probíhala na částech území postupná aktualizace BPEJ. V měsících květnu a září v letech 1995 a 1996 proběhla první aktualizace v katastrálních územích Ježená, Boršov, Dušejov, Hubenov, Hojkov a Miličov spojená s počátkem KPÚ v těchto katastrech. Postupně následovala aktualizace u katastrů, tak jak vstupovaly do procesu KPÚ viz. tab. 37. Jako nejstarší dochovanou vrstvu BPEJ pro povodí VN Hubenov se pro práci podařilo využít vrstvu BPEJ z roku 2006. Podrobněji vysvětlené důvody využití až této pozdější vrstvy jsou uvedené v hodnocení hydropedologických poměrů v kapitole 4.1.4.3 Jako druhá vrstva byla využita vrstva aktuální. Pro každou plochu v povodí VN Hubenov byly stanoveny dvě hodnoty

K faktoru. Rastrová vrstva K faktoru vstupující do výpočtu pro krajinné pokryvy do roku 2006 a rastrová vrstva K faktoru pro zbylé vyhodnocované roky.

Stanovení K faktoru bylo provedeno v souladu s metodikou „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ (Janeček a kol., 2012).

4.4.5 Stanovení faktoru účinnosti protierozních opatření P

P faktor vstupoval do výpočtů jako konstanta $P = 1,0$ a $P = 0,7$ pro historický stav z let padesátých. Důvodem byl z historických podkladů doložený způsob obdělávání pozemků s ohledem na drobnou drážbu a tedy větší pestrost plodin, které nebyly pěstovány na velkých lánech. Stanovení P faktoru bylo provedeno v souladu s metodikou „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ (Janeček a kol., 2012).

4.4.6 Výpočet výsledné ztráty půdy

Pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí v prostředí ArcGIS dle výše popsaných podmínek a postupů uvedených v kapitole 2.5 byl použit rastrový kalkulátor, v jehož prostředí se vynásobily jednotlivé rastrové vrstvy, které byly nově vygenerovány, se zadanými konstantami.

$$G = [LS_faktor] * 40 * [K_faktor] * [C_faktor] * 0,7 \quad (13)$$

$$G = [LS_faktor] * 40 * [K_faktor] * [C_faktor] * 1,0 \quad (14)$$

Kde [LS_faktor] je vygenerovaná rastrová vrstva LS faktoru, 40 je zvolená konstanta R faktoru, [K_faktor] je vygenerovaná rastrová vrstva K faktoru, [C_faktor] je vygenerovaná rastrová vrstva C faktoru, konstanta P faktoru má hodnotu 0,7 nebo 1,0 v závislosti na způsobu obdělávání. Důvody stanovení a použití těchto konstant jsou uvedeny v kapitole 4.4.5.

Výsledkem je rastrový mapový podklad udávající plošnou lokalizaci jednotlivých zadaných kategorií průměrné dlouhodobé ztráty půdy G ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$). Vygenerovaná výsledná ztráta půdy dále vstupovala do dalších výpočtů a grafů uvedených v práci.

4.5 Rozbor odtokových poměrů

Pro stanovení odtoku bylo řešené povodí schematizováno na jednotlivá subpovodí. Byly stanoveny sběrné plochy k vynesným závěrovým profilům rozhodujícím z hlediska tvorby soustředěného povrchového odtoku. Pro stanovení závěrových profilů byly jako podklad využity kritické body (KB) stanovené v roce 2009 pro území ČR (VUV T.G.M., v.v.i., 2009). Vrstva bodů vytvořená podle metodického návodu pro identifikaci KB vznikla spoluprací pracovišť VÚV T.G.M., v.v.i.. pobočka Brno a ÚVHK, VUT v Brně. Metodický návod i vrstva KB jsou k nahlédnutí na v elektronické podobě na internetových stránkách povodňového informačního systému MŽP (www.povis.cz).

Metodický návod VUV pro lokalizaci kritických bodů určil v povodí VN Hubenov jeden KB. S ohledem na potřebu podrobného rozboru a ochranu území VN používané jako zdroj

vody byl vytvořen postup stanovení závěrových profilů rozhodujících z hlediska tvorby soustředěného povrchového odtoku pomocí vlastních postupů.

V ArcMap byla pomocí jednotlivých GIS analýz z hydrologicky korektního DMT vytvořeného interpolační metodou na základě vrstevnic ZABAGED odvozena mapa směrů odtoku (funkce „Flow direction“), tj. mapa směru největšího spádu každé buňky gridu k sousední níže položené buňce. Na základě analýzy směrů odtoku se následně provedlo pomocí hydrologické nadstavby ArcGIS (funkce „Flow accumulation“) generování akumulace odtoku a následné odvození hydrografické mikrosítě drah soustředěného povrchového odtoku (DSO) v závislosti na velikosti přispívající plochy 0,3 km².

V místech, kde vygenerované linie drah soustředěného odtoku vnikají do zastavěné části obcí a v místech vyhodnocených jako rizikových pro ochranu krajiny z hlediska tvorby soustředěného povrchového odtoku, se stanovily závěrové profily. Profil byl určen na linii dráhy soustředěného povrchového odtoku s velikostí přispívající plochy $\geq 0,3 \text{ km}^2$. Z hlediska plošného rozsahu příčinného jevu přívalových srážek a primárně lokálních důsledků následných povodní se dále uvažují ty závěrové profily, jejichž přispívající plocha nepřesáhne velikost rozlohy 10 km². K identifikovaným profilům byly v prostředí GIS na základě DMT s využitím hydrologických nástrojů ArcGIS (nadstavba ArcHydro) generovány orografické rozvodnice a polygony sběrných ploch.

Pomocí GIS analýz byly vyhodnoceny základní charakteristiky sběrných povodí závěrových profilů potřebné k výpočtům, velikost sběrné (přispívající) plochy, její průměrný sklon, délka a sklon údolnice. Pro potřeby dalších analýz došlo dále ke stanovení hodnot průměrného čísla CN pro sledovaná období, podrobný postup popsán v kapitole 4.5.1 a 4.5.2. Následně byl s využitím zonální statistiky pro každé sběrné povodí stanoven průměrný sklon v % z rastru sklonitosti vygenerovaného při analýze území.

Pro rozbor odtokových poměrů v rámci jednotlivých zvolených období byla použita metoda čísel odtokových křivek v modifikaci modelu DesQ–MAXQ a modelu HEC HMS. Stručné charakteristiky modelů jsou uvedeny v kapitolách 4.4 a 4.5.

4.5.1 Stanovení čísla CN

Hodnoty čísla CN jsou závislé na hydrologických vlastnostech půd, vegetačním pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové retenci. Pracovní postup stanovení čísel CN každého místa povodí v prostředí ArcGIS spočívá v sestrojení vektorové vrstvy kombinující vrstvu HSP a vrstvu krajinného pokryvu. Jednotlivým vzniklým kombinacím HSP a krajinného pokryvu jsou přiřazeny konkrétní hodnoty čísla CN. Následně je možné převést tyto údaje do rastrové podoby. Podrobně je postup tvorby čísel CN v prostředí GIS popsán např. v publikaci Dumbrovského (2009).

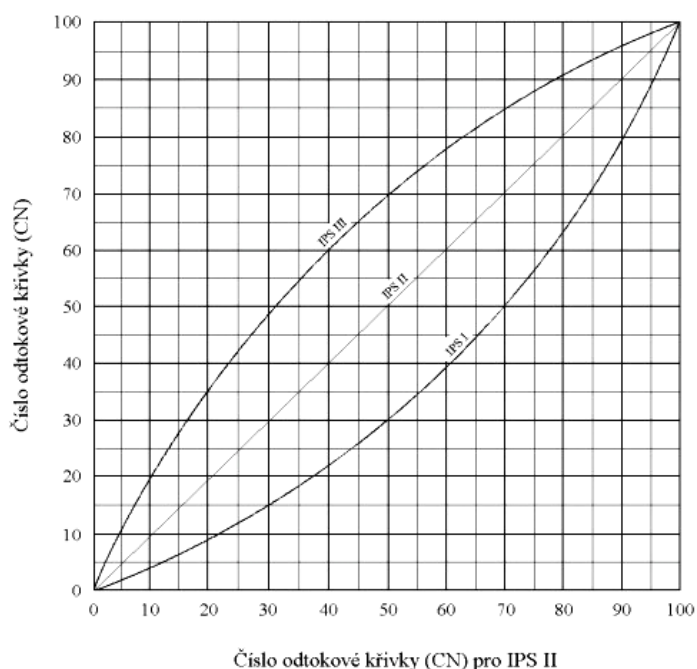
Čísla odtokových křivek - CN jsou tabelována podle:

- a) Hydrologických vlastností půd rozdělených do 4 skupin: A, B, C, D, na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení.

- b) Vlhkosti půdy určované na základě 5denního úhrnu předcházejících srážek, resp. indexu předchozích srážek (IPS) ve 3 stupních viz tab. 9, kdy IPS I odpovídá takovému obsahu vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání, při IPS III je půda přesycena předcházejícími dešti. Pro návrhové účely se nejčastěji uvažuje IPS II (Janeček a kol., 2012). Vliv indexu předchozích srážek na změnu čísla odtokové křivky zobrazuje obr. 11.

Tab. 9 Index předchozích srážek (Pasák a kol., 1983)

IPS	Úhrn předchozích srážek za 5 dnů [mm]	
	Mimo vegetační období	Vegetační období
I	< 13	< 36
II	13–28	36–53
III	> 28	> 53



Obr. 11 Vliv IPS na změnu CN obsahu vody v půdě (Janeček a kol., 2012)

Změnu čísel CN v závislosti na změně stavu předchozího nasycení povodí srážkami je možné podle Kováře (1994) také vyjádřit prostřednictvím hodnot CN odpovídajících stavu středního nasycení povodí (CN_{II}), následovně:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,334 - 0,01334 \cdot CN_{II}} \quad (15)$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 + 0,005964 \cdot CN_{II}} \quad (16)$$

kde:

CN_I – hodnota čísla CN odpovídající stavu předchozího nasycení IPS I (-),

CN_{II} – hodnota čísla CN odpovídající stavu předchozího nasycení IPS II (-),

CN_{III} – hodnota čísla CN odpovídající stavu předchozího nasycení IPS III (-).

c) Krajinného pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření.

Hodnota CN se pohybuje v rozsahu (0–100) pro dané povodí. Hodnota blízká 100 je u téměř nepropustných povodí. Běžné hodnoty použité v práci se pohybují v rozmezí 55–85.

4.5.2 Stanovení čísla CN u lesních půd

Hydrologické podmínky lesních půd vycházejí především ze stavu pokryvu, hustoty vegetace, množství hrabanky apod. Nerozložené listí, jehličí, větévky, kůra a jiné zbytky vegetace na lesní půdě tvoří hrabanku, ze které vzniká vrstva nadložního humusu. Při dobrém obhospodařování je nadložní humus pórovitý a má velkou vsakovací a akumulaci schopnost.

Stanovení hydropedologických poměrů na lesních půdách probíhalo v prostředí ArcGIS s využitím dat SLT pořízených z ÚHÚL. Při stanovení HSP bylo využito postupu, který publikoval Macků (2012). Koncepce tvorby mapové vrstvy vychází z kvantifikace potenciálních schopností lesního ekosystému, diferencovat hydrologické vlastnosti lesních půd. V ekosystémovém pojetí se vychází z analýz hydrických vlastností lesa, resp. dílčích vrstev lesního porostu a lesní půdy, resp. jejich složek – nadložního humusu a minerálních horizontů. Podkladem pro přiřazení HSP na lesních půdách byla vektorové vrstva jednotek lesních typů (LT) k nimž byly přiřazeny jednotlivé HSP dle tab. 10.

Tab. 10 Klasifikace potenciálních vlastností vodního režimu (Macků, 2012)

Typ vodního režimu	Typologické jednotky LT	Stupeň vodního režimu		Hydrologické skupiny půd
R, G	0-8T, 0-8G, 8V, 8Q, 8P, 0-9R	1	podmíněný	D
P	0-7Q, 0-7O, 1-7V, 0-7P	2	nízký	C
V, L	3-7V, 1-6L, 9U	3	nízký	
T2	1-7B, 1-6H, 1-6D, 0N, 3-8N, 3-8S, 7-9K, 5-9Z, 0Z, 1-7I, 1-5J, 3-8F	4	vysoký	B
T1	0-7M, 0-6K, 0-5C, 1-2S, 3-4Z, 1-5W, 1-8A, 0-8Y	5	mimořádný	A

4.6 Metoda čísel odtokových křivek

Metoda čísel odtokových křivek v modifikaci modelu DesQ-MAXQ, verze 6.0.8 byla v práci aplikována na sběrná povodí stanovená k závěrovým profilům v zájmových povodích rozhodujících z hlediska tvorby soustředěného povrchového odtoku.

Model DesQ-MAXQ umožňuje několik variant výpočtu:

- Výpočet maximálních N-letých (návrhových) průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných přívalovými dešti „kritické“ doby trvání.
- Výpočet maximálních N-letých průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných dešti zadané doby trvání a příslušné náhradní intenzity.
- Výpočet maximálních průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných dešti zadané doby trvání a intenzity.
- Odvození tvaru povodňových vln (časové řady).
- Výpočet charakteristik hydrogramů, ovlivněných antropogenní činností v povodí (změna ve způsobu využívání pozemků v povodí, provedení agrotechnických a technických opatření, rozšíření zpevněných ploch v povodí urbanizací, aj.) (Hrádek a Kuřík, 2001).

Model DesQ-MAXQ vychází z výpočtu intenzity odtoku v době koncentrace, která je maximální intenzitou odtoku ze svahu při době trvání přítoku (Hrádek a Kuřík, 2001).

$$i_{sk} = A_s^{b-1} \cdot t_{sk}^{1-b}, \quad (17)$$

kde:

i_{sk} intenzita odtoku v době koncentrace ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$).

t_{sk} doba koncentrace (min),

i_{sp} intenzita přítoku na svah ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$),

A_s hydraulická charakteristika svahu ($\text{mm} \cdot \text{min}$).

$$A_s = a^{-1} \cdot I_{so}, \quad (18)$$

kde:

a parametr vyjadřující vliv drsnosti a sklonu,

V době koncentrace platí: $i_{sk} = i_{sp}$ (19)

Doba koncentrace na svahu t_{sk} je doba, potřebná k ustálení hladiny vody na celé délce svahu. V této době dochází k soustředění odtoku z celé plochy svahu v jeho patě (závěrovém profilu), kde se vytvoří maximální výška vrstvy vody a jí odpovídá maximální (největší možný) odtok ze svahu.

Doba koncentrace na svahu (Hrádek a Kuřík, 2001) závisí na intenzitě přítoku na svah, délce svahu, průměrném sklonu svahu I_s a drsnostní charakteristice povrchu svahu m .

$$t_{sk} = f(i_{sp}, A_s) \quad (20)$$

Řešení maximální intenzity odtoku ze svahu

Princip řešení spočívá v řešení soustavy rovnic, vyjadřujících závislosti $i_{sp} = f(t_{sp})$ a $i_{sk} = f(t_{sk})$, znázorněných na obr. 12 „přítokovou křivkou“ D a „křivkou koncentrace“ K_s . Při řešení maximální intenzity odtoku ze svahu $\max i_{sk}$ se uplatňují 3 varianty řešení.

Varianta S1: *Výpočet max. největší možné intenzity odtoku ze svahu, zvolené doby opakování.*

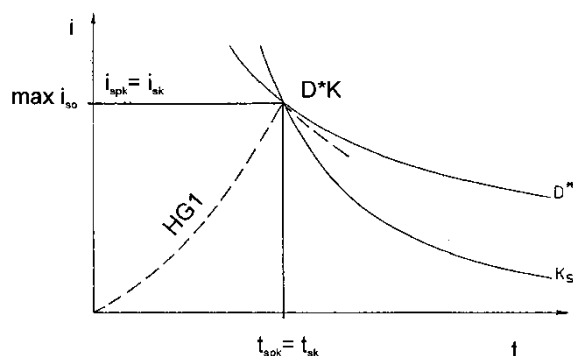
Předpokládá se, že maximální odtok je vyvolán přívalovým deštěm „kritické doby trvání“ t_{dk} . Kritická doba trvání přítoku na svah t_{spk} je doba trvání „efektivního deště“ v odtokové fázi. Podmínkou vzniku maximální intenzity odtoku ze svahu je rovnost doby trvání přítoku a doby koncentrace na svahu:

$$t_d = t_{dk}, \quad t_{sp} = t_{spk} = t_{sk} \quad (21)$$

Řešení (znázorněno na obr. 12):

Kritická doba trvání přítoku $t_{spk} = t_{sk}$ a odpovídající maximální intenzita odtoku $\max i_{so} = i_{sk}$ jsou souřadnicemi průsečíku křivek D*K o souřadnicích $[\max i_{so}, t_{sk}]$.

Hydrogram odtoku ze svahu je označený HG1. Maximální intenzita odtoku nastává v době ukončení přítoku $t_{sp} = t_{spk} = t_{sk}$.



Obr. 12 Řešení maximální intenzity odtoku ze svahu – Varianta S1 (Hrádek a Kuřík, 2001)

Varianta S2: *Výpočet maximální intenzity odtoku ze svahu při zadané době trvání deště:*

$t_d > t_{dk}$, kdy přítok na svah: $t_{sp} > t_{sk}$. Hydrogram odtoku ze svahu je označený HG2.

Max. intenzita odtoku $\max i_{so}$ nastává v době koncentrace t_{sk} , trvá až do ukončení přítoku t_{sp} .

$$\max i_{so} = i_{sp} \quad (21)$$

Varianta S3: *Výpočet maximální intenzity odtoku ze svahu při zadané době trvání deště:*

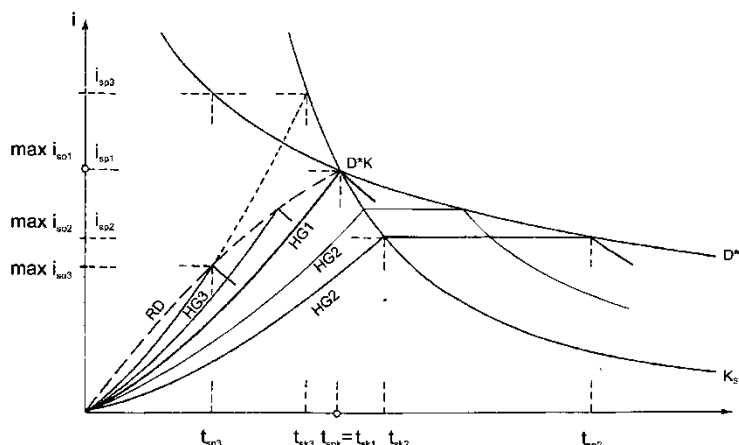
$t_d < t_{dk}$, kdy přítok na svah: $t_{sp} < t_{sk}$. Hydrogram odtoku ze svahu je označený HG3.

Max. intenzita odtoku nastává v době ukončení přítoku t_{sp} , maximální intenzita odtoku $\max i_{so} < i_{sp}$.

$$\max i_{so} = A_s^{-1} \cdot H_{sp}^b \quad (23)$$

Porovnání variant řešení maximální intenzity odtoku ze svahu

Varianty řešení jsou znázorněny na obr. 13, odvozené hydrogramy jsou označeny HG1, HG2 a HG3.



Obr. 13 Porovnání variant řešení maximální intenzity odtoku ze svahu (Hrádek a Kuřík, 2001)

Maximální intenzita odtoku $\max i_{so1}$, vypočtená dle varianty S1 je největší možnou intenzitou odtoku z daného svahu, která je vyvolána přívalovým deštěm zvolené doby opakování. Varianta S1 umožňuje výpočet maximálního návrhového průtoku Q_N , zvolené doby opakování, vyvolaného přívalovými dešti (Hrádek a Kuřík, 2001). V práci bylo použito modelu pro výpočet maximálních N-letých (návrhových) průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných přívalovými dešti „kritické“ doby trvání, tedy varianta S1 (Hrádek a Kuřík, 2001).

Vstupní hodnoty parametrů zájmových povodí potřebných pro výpočet v modelu (délky údolnice, podélný sklon údolnice, plocha povodí, sklon povodí a hodnota čísla CN) byly stanoveny s využitím programu ArcMap a jeho aplikací. Postup stanovení čísla CN je uveden v kapitole 4.3 a kapitole 4.5.1 a 4.5.2.

Dalšími vstupními hodnotami jsou maximální srážkové úhrny. Byla využita rastrová vrstva ČHMU se stanovenými max. hodnotami 24hodinových srážek za rok pro gridové buňky velikosti 10x10, ze které pomocí zonální statistiky v prostředí ArcGIS byla stanovena průměrná hodnota srážky na každé stanovené povodí. U povodí Luhy bylo využito i rastrové vrstvy stanovené CHMU pro skutečnou srážku, která byla nad povodím zaměřena ve dne 24. 6. 2009. V den vzniku povodňové situace v povodí.

Model vychází ze zadané hodnoty součinitele drsnosti γ , který byl v povodích stanoven na hodnotu 6 a typu CN křivky určeného podle předchozích vláhových podmínek (milimetrového úhrnu srážek za 5 dnů předcházejících modelovému vyhodnocení)

zvoleného typu 2 odpovídající stupni předchozího nasycení povodí IPS II. Hodnoty obou parametrů odpovídají průměrným podmínkám pro výpočet.

Z výsledků byly pro práci významné stanovené maximální průtoky Q v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a vypočtené časové řady pro generování hydrogramů jednotlivých povodí.

Dle metody CN, už mimo model DesQ-MAXQ, byl stanoven objem přímého odtoku na základě předpokladu, jaký dodržuje metoda CN, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky je rovný objemu vody zadržené při odtoku k potencionálnímu objemu, který může být zadržen. Odtok začíná po počáteční ztrátě, která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové retence. Tato počáteční ztráta byla stanovena na základě experimentálních měření na 20 % potenciální retence ($I_a = 0,2A$) (Janeček a kol., 2012).

Parametry odtoku stanovené pomocí tabelárního zpracování a vstupující do následných hodnocení jsou výška přímého odtoku, potencionální retence a objem přímého odtoku. Určení výšky přímého odtoku se stanoví dle rovnice:

$$H_0 = \frac{(H_s - 0,2A^2)}{(H_s + 0,8A)}, \text{ pro } H_s \geq 0,2A \quad (24)$$

kde :

H_0 - výška přímého odtoku (mm),

H_s - úhrn návrhového deště (mm),

A – potencionální retence (mm), vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek.

$$A = 25,4 \frac{1000}{(CN - 10)} \quad (25)$$

Objem přímého odtoku O_{pH} (m^3) je dán vztahem

$$O_{ph} = 1000 \cdot P_p \cdot H_0 \quad (26)$$

kde:

P_p je plocha povodí (km^2).

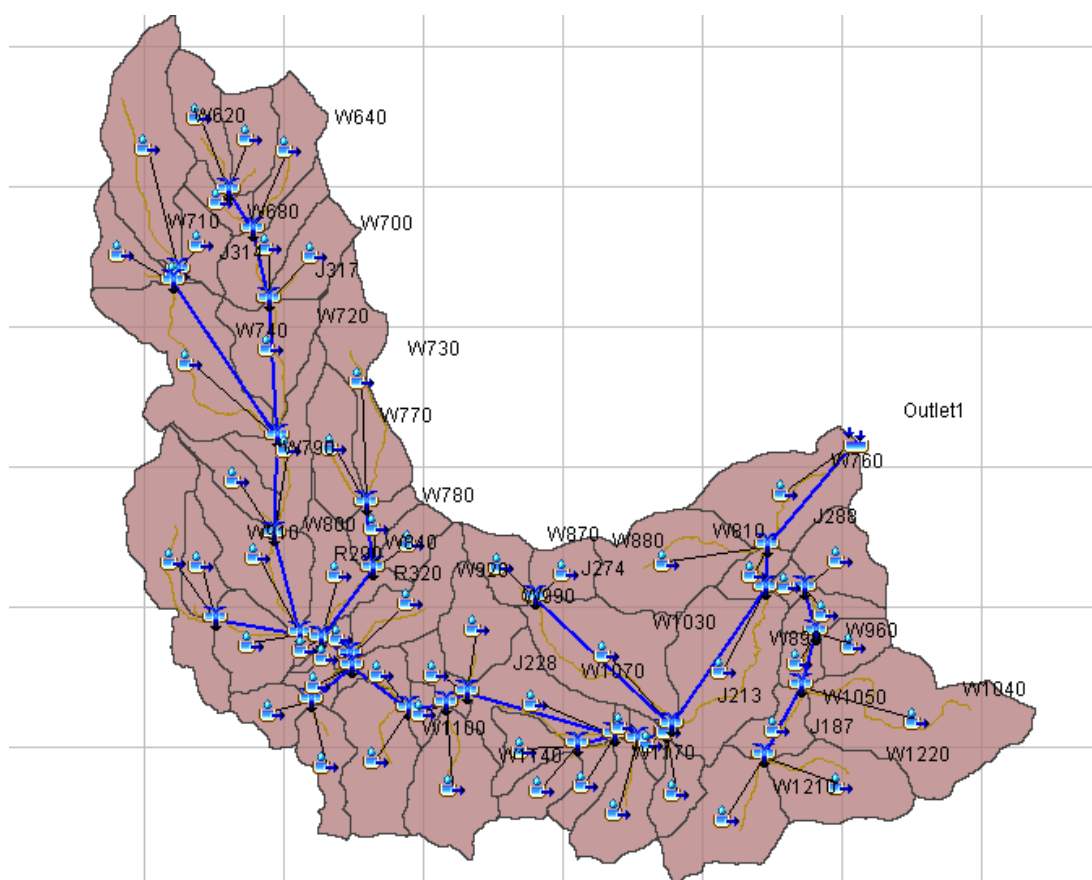
4.7 Srážko-odtokové modelování HEC–HMS

Pro možnost posouzení vlivu konkrétních změn krajiny v povodí Luhy na odtokové poměry a retenci povodí bylo přistoupeno k modelování ve srážko-odtokovém modelu HEC–HMS. Významnou výhodou programu je jeho volná dostupnost na internetu (HEC, 2010). Výhodou srážko-odtokového modelu je odhad celého průběhu povodňové vlny (a tím i proteklého objemu) ve stanoveném profilu na základě časového průběhu spadlých srážek (Šercl a kol., 2009).

Prostřednictvím modelu byl následně ve stanovených údobích skutečný pokryv krajiny podroben přívalové srážce, která v červnu 2009 způsobila povodňovou situaci na povodí. Veškeré simulace byly provedeny na srážkových datech ze srážkoměrné stanice ležící přímo v povodí, stanice Bělotín a stanice Hodslavice nacházející se východně od hranice povodí.

4.7.1 Sestavení modelu

V první fázi výpočtu bylo třeba vytvořit srážko-odtokový model, jehož prostřednictvím výpočet probíhá. Tvorba schematizace řešeného povodí byla provedena v prostředí ArcGIS (obr. 14) s využitím nástrojů HEC-GeoHMS (HEC, 2010) a ArcHydro tools (Scopel, 2011), které pracují nad hydrologicky korektním DMT. Následně byl proveden export do formátu *.hms, který je pak možné importovat do programu HEC-HMS (HEC, 2010). Zde je nutné importovat provedenou schematizaci do 1. významné komponenty srážko-odtokového modelu, a to do komponenty „Basin models“. Schematizaci povodí, tedy definování dílčích povodí (Subbasin), soutokových uzlů (Junction), úseků koryt vodních toků (Reach) a závěrového profilu (Outlet), lze také provést přímo v prostředí programu HEC-HMS. Nevýhodou je však nutnost ručního zadávání vazeb mezi jednotlivými prvky systému schematizace.



Obr. 14 Schematizace povodí Luhy pro HEC-HMS

Při další přípravě dat potřebných pro sestavení srážko-odtokového modelu byly v prostředí GIS (s využitím nástrojů HEC-GeoHMS) definovány vlastnosti ploch nově vzniklých dílčích povodí. Jedná se především o plochu dílčího povodí a další parametry dle zvolených výpočtových metod. V této práci byla pro výpočet přímého odtoku zvolena metoda SCS CN a tedy dalšími definovanými parametry plochy dílčích povodí byly průměrné hodnoty čísla CN a počáteční ztráty. Postup jejich stanovení v prostředí ArcGIS je podrobněji popsán v kapitole 4.3.2. Pro výpočet transformace přímého odtoku byla zvolena metoda Clarkova jednotkového hydrogramu, která je charakterizována parametry doby koncentrace (Time of concentration) T_c a retenční konstanty (Storage coefficient) R .

Metoda Clarkova jednotkového hydrogramu je specifickým rozšířením klasické metody jednotkového hydrogramu (UH, Unit Hydrograph). Metoda se zaměřuje na řešení odtokové odezvy povodí na jednotkový efektivní déšť s konstantní intenzitou a rovnoměrným pokrytím jednotky povodí. Celkově jde o vyjádření funkční linearit odezvy povodí na srážkový impuls, což do výpočtu přináší zjednodušení.

Hodnotu T_c je možné stanovit několika vzorci, které blíže popisuje např. Dingman (2002). V této práci byl využit vzorec SCS (Soil Conservation Service) pro odvození hodnoty T_{LAG} , což je časový posun v hodinách mezi výskytem maxima příčinné srážky a výskytem kulminačního průtoku v počítaném závěrovém profilu povodí.

$$T_{LAG} = \frac{3,281 \cdot L^{0.8} \cdot (0,0394 \cdot A + 1)^{0.7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} \quad (27)$$

kde:

L – délka údolnice k rozvodnici (m),

A – potenciální retence povodí (mm),

Y – průměrný sklon povodí (%).

Následně je dopočítána doba koncentrace T_c (hod) jako:

$$T_c = 1,67 \cdot T_{LAG} \quad (28)$$

Pro určení koeficientu R (hod) existuje jen minimum výpočetních vzorců. Zpravidla pro výpočet teoretické povodňové vlny na nepozorovaných povodích se odhaduje velikost koeficientu R jako n -násobek doby koncentrace (Šercl, 2009):

$$R = n \cdot T_c \quad (29)$$

kde:

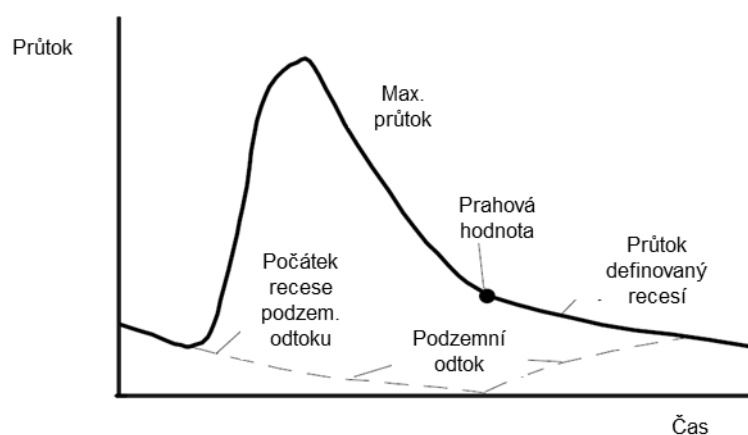
n – nejčastěji v rozmezí 1,2–2 (-).

Pro koeficient n byla v této práci pro aplikovanou přívalovou srážku nakonec zvolena hodnota 1,3.

Potřebné parametry byly v práci zpracovávány v tabulkovém procesoru dle uvedených vzorců a následně vkládány do programu HEC-HMS. Parametry charakterizující výpočet transformace přímého odtoku je také možné zpracovat, v závislosti na zvolených výpočtových metodách, v prostředí GIS s využitím nástrojů HEC-GeoHMS.

Další součásti srážko-odtokového modelu byly zadávány přímo v programu HEC-HMS. Jednalo se o způsob výpočtu podzemního odtoku a odtoku korytem.

Pro výpočet podzemního odtoku byla použita recesní metoda, která je v podstatě metodou rozčlenění hydrogramu na část přímého odtoku, tzn. odtoku povrchového a podpovrchového (tj. hypodermického) a část podzemního odtoku (obr. 15). Celkový odtok je pak stanoven součtem těchto dílčích částí.



Obr. 15 Základní odtok v HEC-HMS – metoda exponenciálního poklesu (Feldman, 2000)

Velikost podzemního odtoku se stanovuje na základě velikosti počátečního podzemního odtoku a recesní konstanty, vyjádřený ve tvaru (Feldman, 2000):

$$Q_t = Q_0 \cdot k^t \quad (30)$$

kde:

Q_t – podzemní odtok v čase t ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),

Q_0 – počáteční podzemní odtok, tj. průtok v toku před výskytem povodňové epizody ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),

k – recesní konstanta, která vyjadřuje podíl mezi počátečním a koncovým průtokem v daném časovém intervalu a určuje tak rychlost poklesu.

Při definování parametrů této metody (Recession) byla při volbě metody počátečního odtoku (Initial type) zvolena metoda počátečního odtoku (Discharge). Hodnota počátečního podzemního odtoku pro jednotlivá dílčí povodí byla dopočítána z hodnoty setrvalého průtoku před výskytem povodňové epizody v závěrovém profilu, tedy z celé plochy hodnoceného povodí. Tato hodnota průtoku byla rozdělena na dílčí průtoky, a to poměrem celkové plochy povodí k ploše jednotlivých dílčích povodí. Při tvorbě srážko-

odtokového modelu se jako způsob výpočtu prahové hodnoty (Threshold) volila metoda poměru ke kulminaci (Ratio to peak), po jejímž překročení dochází ke změně podzemního odtoku. Hodnota poměru byla stanovena na 0,045. Hodnota recesní konstanty (Recession constant) byla zadána 0,7.

Pro řešení výpočtu odtoku korytem byla z metod nabízených HEC-HMS vybrána metoda Muscungum-Cunge. Metoda je založena na aproximaci kombinace rovnice kontinuity a difúzní formy momentové rovnice (Šercl, 2009) a podrobněji je popsána např. Feldmanem (2000). Pro stanovení délek a průměrných podélných sklonů jednotlivých říčních úseků byly využity výstupy GIS analýz prováděných v rámci tvorby schematizace povodí. Geometrický tvar koryt byl jednotně volen lichoběžníkový, kde rozměry byly odhadovány při terénních průzkumech. Manningův drsnostní součinitel byl zadáván 0,35.

Významnou součástí tvorby srážko-odtokového modelu je zadání měřených příčinných srážek, byly zadávány prostřednictvím časových řad přímo v programu HEC-HMS do modelu „Time – Series Data“. Data srážek (Precipitation Gages) je možné zadávat z mnoha srážkoměrných stanic, kde prostorové rozložení srážek na jednotlivá dílčí povodí (u něj se uvažuje vždy jednotná srážka na celé ploše) lze provést prostřednictvím dalšího modelu, „Meteorological Models“. V případě povodí Luhy byla na území aplikována srážka z období 24.6.2009 až 26.6.2009 naměřená na dvou srážkoměrných stanicích, Bělotín a Hodslavice. Poslední významnou částí srážko-odtokového modelu, bez níž model správně nefunguje, je „Control Specifications“ sloužící ke kontrole ve vztahu k zadaným datům srážek.

Po vložení a nastavení všech parametrů a metod může dojít ke spuštění simulace v záložce „Compute“ pomocí „Create Simulation Run“. Po dokončení výpočtu je možné v záložce „Results“ zobrazit výsledky pro jednotlivé elementy povodí (dílčí povodí, soutokové uzly a úseky koryt vodních toků).

4.8 Teorie erozního modelu WEPP

Stanovení vlivu krajinného pokryvu na erozní projevy na půdě probíhaly pomocí modelu WEPP. Devět výpočtových linií bylo stanoveno pro vyhodnocení modelem WEPP v povodí Luhy zvolených na blocích LPIS. Linie byly voleny podle kritérií maximální délky a sklonu svahu pozemku. Na studovaném území VN Hubenov bylo prověřeno 7 výpočtových linií. V rámci profilů linií, po definování jejich morfologických parametrů a po zadání sledu agrooperací byla zjištěna úroveň modelové ztráty půdy pro tři stavy odpovídající padesátým a devadesátým letům 20. století a dnešnímu stavu krajinného pokryvu v povodích.

Charakteristiky půdního profilu v místech situování linií byly získány z tabulkových a mapových podkladů vygenerovaných z tzv. výběrových sond z doby Komplexního průzkumu půd (KPP), který probíhal v letech 1961 až 1971 po celém území tehdy ještě ČSSR. Databázi Webový archiv Komplexního průzkumu půd, která obsahuje kompletní fyzikální a chemické rozborů odebraných sond z doby KPP, spravuje VÚMOP, v.v.i. a je volně dostupná z <http://wakpp.vumop.cz/>.

WEPP (Water Erosion Prediction Project, USA) je simulační model pro řešení odtoku a eroze na jednotlivém svahu a v malém zemědělsko-lesním povodí (Renard a kol., 1991). Model je založen na moderních principech soudobé hydrologie, hydrauliky a erodologie a je určen pro simulace předpovědi povrchového odtoku, ztráty půdy a ukládání sedimentů v malých povodích na svazích, v údolnicích pozemků a v korytech drobných vodních toků. Model používá měřené deště nebo syntetické návrhové deště, včetně dešťů vytvořených stochastickým generátorem, který současně poskytuje informace i o ostatních denních meteorologických údajích. Model WEPP poskytuje informace o polohovém a časovém rozložení ztrát půdy a její depozici včetně přesné lokalizace s vyznačením místa a doby výskytu na povodí. Simulace procesu eroze rozlišuje kinetické rozrušování půdy dešťovými kapkami, plošnou a rýžkovou erozi i erozi rýhovou vyvolanou soustředěným odtokem (Janeček a kol., 2012).

Eroze půdy ze svahu je v modelu WEPP reprezentována dvěma způsoby, a to rozrušováním půdních částic kinetickou energií kapek deště a jejich následný transport plošným povrchovým odtokem nazývané jako mezirýhová eroze a rozrušováním půdních částic smykovým napětím a dále transportovaných soustředěným odtokem, tj. rýhová eroze (Flanagan a kol., 1995).

Model WEPP pro popis pohybu sedimentu v rýhách používá ustálenou rovnici kontinuity sedimentu vyjádřenou jako (Foster a kol., 1995):

$$\frac{dG}{dx} = D_f + D_i \quad (31)$$

Kde x je vzdálenost na svahu (m), G je množství sedimentu ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$), D_i je dotace mezirýhového sedimentu do rýhy ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) a D_f je míra rýhové eroze ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Přísun mezirýhového sedimentu D_i je uvažován jako nezávislý od x a je vždy pozitivní. Rýhová eroze D_f je pozitivní pro uvolňování sedimentu a negativní pro usazování sedimentu. Pro účely výpočtu v daném modelu obě hodnoty D_f a D_i jsou počítány na jednotku plochy rýhy a tím je G počítáno na jednotku šířky rýhy. Na základě kompletního výpočtu je ztráta půdy vyjádřena jako ztráta půdy na jednotku plochy povodí.

Rovnici kontinuity sedimentu model aplikuje jako základ pro popis pohybu sedimentu v rýze. Stejně jako ostatní erozní modely (CREAMS) model WEPP počítá erozi z rýhových a mezirýhových oblastí a posuzuje uvolňování a usazování v rýhách a je funkcí části transportní kapacity, která je vyplněna sedimentem. Na rozdíl od ostatních modelů WEPP rozděluje odtok na rýhovou a mezirýhovou oblast a počítá smykové napětí založené na rýhovém odtoku než plošném odtoku (Page, 1988).

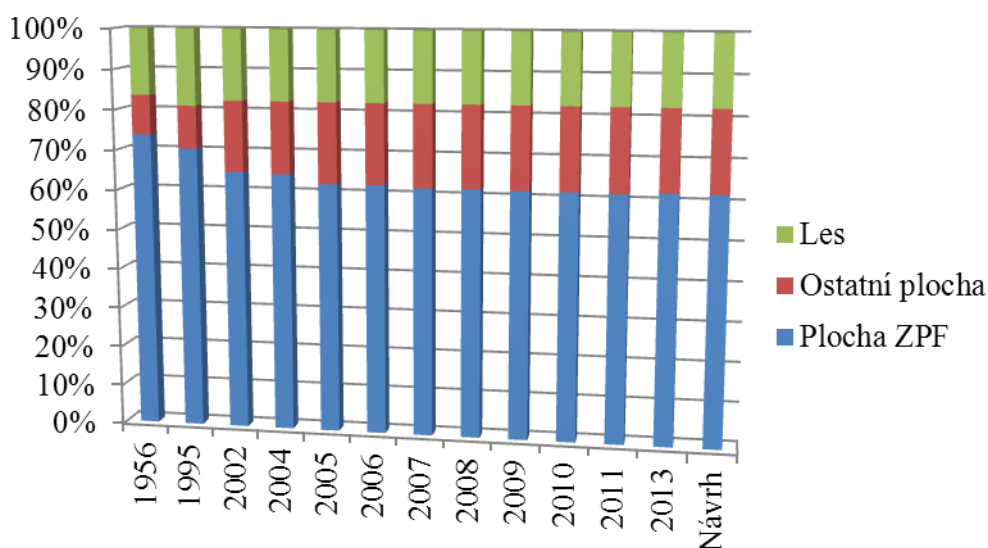
Odhad parametrů WEPP není nijak závislý na vztazích udávaných v USLE. Erozní parametry jsou založeny na rozsáhlých terénních studiích Laflena a kol. (1987) a Simantona a kol. (1987), které byly speciálně navrženy a interpretovány pro erozní model WEPP. Protože erozní postupy v modelu WEPP využívají denní vodní bilanci a infiltrační postupy, které jsou prostorově variabilní, může model počítat erozi pro různá zadání hydrologie na svazích povodí (Foster a kol., 1995).

5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1 Vyhodnocení území povodí Luhy

Pouze ve třech katastrech v povodí Luhy byly dosud ukončeny KPÚ a v rámci společných zařízení KPÚ byla vybudována některá ochranná opatření a doplnění cestní sítě. Jde o katastry Bělotín (60200), Nejdek u Hranic (70267) a Lučice na Moravě (68830). Šest dalších katastrálních území má KPÚ zahájenou (72553 Polom u Hranic, 75796 Střítež nad Ludinou, 65895 Jeseník nad Odrou) nebo stanovený termín zahájení (66034 Jindřichov u Hranic, 75485 Starojická Lhota, 75503 Starý Jičín).

Faktor s významným vlivem na možné dopady povodni z přívalových srážek i regionálních srážek a možný výskyt erozních jevů v povodí je způsob využití krajiny. K jeho určení byly s dostatečnou přesností použity vrstvy stanovené dle postupu uvedeného v kapitole 4.2 a 4.3, ze které se pomocí zonální statistiky určila pro každý stav krajinného pokryvu plocha a procentuální zastoupení jednotlivých druhů využití krajiny.



Obr. 16 Procentuální zastoupení jednotlivých druhů krajinného pokryvu v daných letech v povodí Luhy v letech

Jednotlivé plochy byly zceleny do tří základních skupin, a to plochy zemědělského půdního fondu (ZPF), ostatní plochy a plochy s lesním porostem (obr. 16). V průběhu sledovaných let došlo na povodí Luhy k očekávanému nárůstu ostatních ploch zahrnujících zastavěná území, komunikace, železnice, ale i vodní toky, vodní plochy a některou doprovodnou zeleň podél těchto prvků. Od roku 1956 se rozloha těchto ploch navýšila dvojnásobně.

Zastoupení lesních ploch v povodí se řádově nemění. V nejstarším studovaném období činila lesní plocha 15,7 km² v devadesátých letech narostla o 240 ha a poté došlo k ustálení rozlohy lesního porostu na 16,8 km². Podíl dnešních lesních ploch v povodí Luhy činí

celkem 17,5 % a v katastrálních územích se značně liší a pohybuje se od 3 až do 67 %. Největší procentuální zastoupení mají lesy v k. ú. Hrabětice nad Odrou (66,8 %), kde se nachází Hrabětický les. V dřevinné skladbě celkově převažují jehličnany nad listnatými stromy. Z listnatých druhů se nejvíce vyskytuje buk. Největší zastoupení v oblasti mají smíšené lesy, podél severní rozvodnice se vyskytují hlavně lesy jehličnaté.

Největší podíl ploch na povodí zaujímají pozemky pro práci nejvíce zajímavé, a to pozemky spadající do ZPF. Od padesátých let dvacátého století dochází k neustálému snižování těchto ploch způsobenému zábořem ploch zemědělsky využívaných do kategorie ploch ostatních, převážně k zastavění. Rozloha ploch ZPF na povodí poklesla za období 57 let o 12 %.

Tab. 11 Vyhodnocení krajinného pokryvu v průběhu let v povodí Luhy

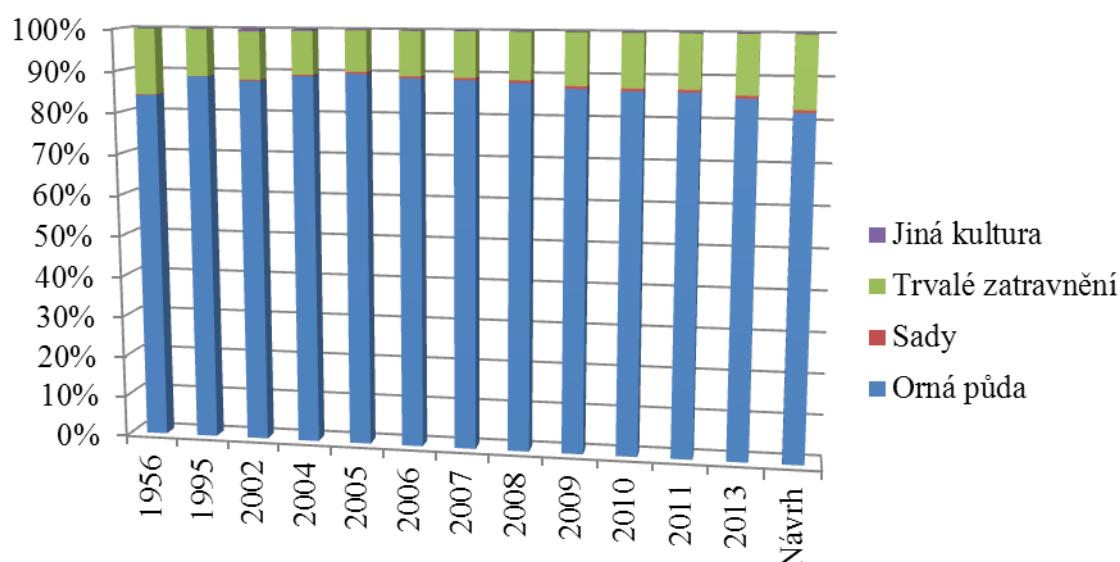
Využití krajiny	Kód využití	Plošná výměra [ha]						
		1956	1995	2002	2004	2005	2006	2007
Nedefinované	0	0,00	0,00	46,37	53,94	0,00	0,00	0,00
Orná půda	2	5931,97	5978,57	5448,46	5505,18	5360,52	5314,58	5253,87
Zahrady	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sady	6	11,91	4,49	18,37	18,37	28,76	28,61	31,55
Trvalé zatravnění	7	1110,19	754,48	705,95	634,44	580,47	633,20	640,02
Jiná kultura	9	0,00	0,00	31,37	17,46	0,00	0,00	0,07
Ostatní plocha	15,30	942,72	1015,38	1637,47	1658,60	1918,26	1906,58	1953,06
Zalesněno	99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,04	9,42
Les	21	1569,22	1813,09	1678,01	1678,01	1678,01	1678,01	1678,01
Plocha ZPF		7054,08	6737,54	6204,16	6175,47	5969,74	5976,38	5925,52

Tab. 12 Vyhodnocení krajinného pokryvu v průběhu let v povodí Luhy

Využití krajiny	Kód využití	Plošná výměra [ha]					
		2008	2009	2010	2011	2013	Návrh
Nedefinované	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Orná půda	2	5232,26	5149,11	5128,86	5107,75	5077,48	4893,30
Zahrady	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,44
Sady	6	38,44	39,12	39,39	39,39	40,42	40,34
Trvalé zatravnění	7	663,18	729,27	751,03	754,67	828,97	1010,94
Jiná kultura	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ostatní plocha	15,30	1944,18	1960,13	1958,34	1975,61	1920,07	1922,35
Zalesněno	99	9,94	10,38	10,38	10,58	20,62	20,62
Les	21	1678,01	1678,01	1678,01	1678,01	1678,01	1678,01
Plocha ZPF		5933,88	5917,49	5919,28	5901,81	5947,31	5945,02

Pro naplnění podstaty práce, vyhodnocení odtokových poměrů, a hlavně určení erozní ohroženosti na plochách ZPF, je zásadní způsob využití těchto ploch (obr. 17). Plochy zabírané sadbovou výsadbou po výrazném poklesu z 11 ha v roce 1956 na 4.5 ha v roce 1995 narůstají až do roku 2013. Do roku 2013 postupně plocha sadů narostla na 40 ha. Rozhodující pro stanovení ztráty půdy je podíl ploch zorněných a trvale zatravněných. Plocha orné půdy v povodí Luhy neklesne pod 80 % ploch ZPF, v letech 1995 až 2008 tvoří dokonce téměř 90 % z ploch ZPF. Plochy trvalých travních porostů po poklesu v devadesátých letech dvacátého století zaznamenávají pozvolný nárůst. Při návrhovém stavu krajinného pokryvu dojde k vyrovnání záboru ploch trvalých travních porostů se zatravněním z padesátých let dvacátého století, tj. 17 % ploch ZPF je trvale zatravněno.

Výsledky podporují tvrzení Lipského (2000), který konstatuje, že změny ve struktuře krajiny byly určeny především častým převodem orné půdy na louky a pastviny vlivem dotační politiky státu.



Obr. 17 Podíly ploch jednotlivých kultur v rámci ZPF v daných letech v povodí Luhy

Krajinný pokryv a navržená opatření v ploše povodí mají poměrně vysokou účinnost v případě eliminace nepříznivých účinků povrchového odtoku a povodňové ohroženosti z přívalových srážek, kdy velmi účinně snižují škody na majetku občanů v zastavěných územích obce, omezují transport splavenin a difúzní znečištění do vodních toků a nádrží (zejména v ochranných pásmech povrchových vodních zdrojů) a jejich efekt je dále velmi významný v zabránění destrukce komplexního systému půdních vlastností. Účinnost uvedených opatření potvrzují výsledky následujících kapitol, ze kterých je zřejmé, že efekt opatření v ploše povodí se příznivě projeví zejména ve snížení úrovně ztráty půdy, snížení hodnot přímého odtoku, ve zvýšení potenciální retence a celkové přirozené retence povodí.

Realizací ochranných opatření v ploše povodí zejména organizačních a agrotechnických dojde k ovlivnění C faktoru a k ovlivnění průměrného čísla CN v povodí. Toto se po návrhu opatření změní v závislosti na plošné výměře navržených opatření a jejich typu.

5.2 Návrh ochranných opatření v povodí Luhy

Velmi pozitivním doprovodným efektem realizace ochranných opatření (navržené liniové biotechnické prvky jsou navrhovány s doprovodným ozeleněním) je zvýšení ekologické stability území. Pro prokázání také protierozní a protipovodňové ochrany v povodí Luhy a jejího vlivu v tomto studovaném povodí byl součástí práce i návrh ochranných opatření v ploše povodí. Tato práce se snaží k návrhu protierozních a protipovodňových opatření k ochraně území přistupovat samostatně a klade si za cíl vytvořit komplexní co nejideálnější návrh bez omezení vznikajících v rámci KPÚ. Podmínkou je využitelnost i udržení případných finančních nákladů u následné realizace na ucházející úrovni. Návrh je zaměřen převážně na organizační a agrotechnická opatření v ploše povodí pouze doplněná technickými a biotechnickými opatřeními v rizikových místech území.

Tab. 13 Plošné výměry navržených opatření

Ochranná opatření	Plocha [ha]
Záchytné průlehy	1,51
Protierozní meze	1,38
Vyloučení erozně nebezpečných plodin	1399,77
Trvalý travní porost	164,39
Stabilizace dráhy soustředěného odtoku	15,04
Travní pás	2,64

5.3 Stanovení míry erozního ohrožení na povodí Luhy

Předmětem řešení bylo vyhodnocení míry erozní ohroženosti pozemků (se specifikací ploch přímo ohrožujících zastavěnou část obcí) s přesností na pozemky.

5.3.1 Ztráta půdy v povodí Luhy stanovená pomocí programu ArcGIS

Míra erozního ohrožení na povodí Luhy stanovená podle výše specifikovaného postupu v kapitole 4.2 byla vypočtena pro krajinné pokryvy ve čtyřech hlavních obdobích, a to pro rok 1956, 1995, dnešní stav a stav návrhový. Dnešní stav byl vyhodnocený podrobně pro roky 2002, 2004 až 2011 a rok 2013. Výpočty byly provedeny průměrně za celé povodí Luhy, k povodí IV. řádu a k ručně stanoveným kritickým povodím z hlediska soustředěného povrchového odtoku. Ztráta půdy v ploše povodí byla tak uchopena v různých měřítkách, aby lépe vyjadřovala vliv skladby krajinného pokryvu a bylo možné zaznamenat vliv i ostatních charakteristik území na míru erozního ohrožení.

Výslednou průměrnou ztrátu půdy na povodí ovlivňuje plošná výměra ZPF v jednotlivých letech a její využití. Mezi výpočty pro varianty 1956 až 2013 je vidět podstatný nárůst ztráty půdy s nejvyššími hodnotami v letech 2004 a 2005 (tab. 14). K překročení přípustné ztráty půdy $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$, jejíž hodnota je dána především z hlediska dlouhodobého zachování funkcí půdy a její úrodnosti dle metodiky Janeček a kol. (2012) došlo k navýšení u průměrných hodnot na celé studované povodí u všech studovaných pokryvů s výjimkou roku 1956 a návrhového stavu o více jak dvojnásobek. Množství průměrné

ztráty půdy z plochy pozemků dosahuje minimálně 51 tisíc trok^{-1} . Z dosažených výsledků je možné konstatovat lokální význam navržených ochranných opatření ke zmírnění erozních rizik a v neposlední řadě je prokazatelný příznivý krajínovorný význam opatření.

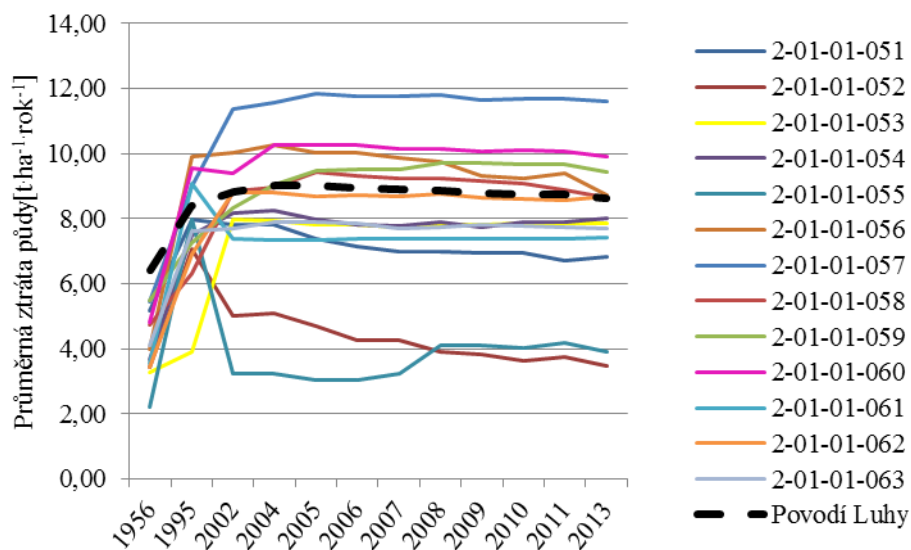
Tab. 14 Průměrná ztráta půdy na celé povodí Luhy

Rok	Plocha povodí [ha]	Plocha ZPF [ha]	Průměrná ztráta půdy [$\text{t ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$]	Průměrná ztráta půdy z plochy povodí [trok^{-1}]
1956	9566,01	7054,08	4,49	31672,81
1995		6737,54	8,37	56413,4
2002		6204,16	8,84	54832,35
2004		6175,47	9,02	55732,96
2005		5969,74	9,02	53876,33
2006		5976,38	8,95	53500,6
2007		5925,52	8,89	52655,91
2008		5933,88	8,88	52666,73
2009		5917,49	8,77	51893,46
2010		5919,28	8,75	51764,12
2011		5901,81	8,73	51515,9
2013		5946,87	8,61	51217,39
Návrh		5944,58	6,23	37040,79

V jednotlivých povodích IV. řádu má vývojová křivka průměrné hodnoty ztráty půdy totožný průběh (obr. 18). Po dvojnásobném až trojnásobném nárůstu ztráty půdy mezi padesátými a devadesátými léty dvacátého století došlo k ustálení hodnot ztráty půdy se zaznamenaným jen velmi pozvolným poklesem v letech následujících. Tento stav je z hlediska ochrany povodí Luhy nevyhovující. Návrhovým stavem došlo k vylepšení, ale nejedná se o potřebný pokles ztráty půdy. Výjimku tvoří povodí 2-01-01-055 a 2-01-01-052 s odlišným průběhem vývoje erozního smyvu, v ostatních sledovaných obdobích došlo u zbývajících povodí IV. řádu ke stabilizování množství odnosu půdy na ucházející průměrné hodnoty i až pod přípustné hodnoty. V povodích 2-01-01-055 a 2-01-01-052 došlo k dvojnásobnému překročení přípustných limitů odnosu pouze v letech devadesátých dvacátého století. Povodí mají odlišný charakter a vývoj množství ztráty půdy v nich je dán odlišnými důvody. Odlišný vývoj erozního smyvu v čase je u povodí 2-01-01-055 možno odůvodnit jeho malou rozlohou $0,18 \text{ km}^2$ s třetinou pokrytou plochami ZPF, zbylá plocha povodí spadá do kategorie ostatní plochy. Zatím co povodí 2-01-01-052 nacházející se v severním cípu povodí Luhy o rozloze $10,58 \text{ km}^2$ má skladbu pokryvu rozdělenou na lesní a zemědělské plochy v rovném poměru s minimem ploch ostatních. U tohoto povodí je projev změny ztráty půdy dán nárůstem zatravněných ploch v rámci jednotlivých pokryvů.

Naopak za nejvíce ztrátou půdy zasažené povodí bylo vyhodnoceno povodí 2-01-01-057 o ploše $22,37 \text{ km}^2$. Důvodem je vysoké procento orných ploch v povodí. Průměrně 15 km^2

z celkové plochy povodí je zemědělsky využíváno a z toho patří 90 % do orných půdy. Obdobný stav ztráty půdy jen s mírným vylepšením průměrně asi o $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ a také vysokého zornění byl zaznamenán i u povodí 2-01-01-056 a 2-01-01-060. V povodí 2-01-01-056 plochy $7,88 \text{ km}^2$ s asi 5 km^2 v ZPF je zorněno asi z 81 % a v povodí 2-01-01-060 o ploše $5,39 \text{ km}^2$ s $3,4 \text{ km}^2$ plochami ZPF je asi 95 % těchto ploch kategorie orná půda.



Obr. 18 Vývoj průměrné hodnoty ztráty půdy v povodích IV. řádu

Mezi výpočty pro krajinné pokryvy z let 1956 až 2013 je vidět podstatné nárůsty ztráty půdy. Při situaci v roce 1956 převažuje na blocích orné půdy z 61 % první kategorie ztráty půdy (od 0 do $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). I přes vysoké procento zornění je tento stav dán způsobem hospodaření a drobnou držbou zemědělsky využívaných ploch. Dle zařazení podle skupiny erozní ohroženosti půd (SEOP) (tab.15) se toto procento orné plochy nachází v první skupině, neohrožené až velmi slabě erodované půdy. Od devadesátých let dvacátého století dochází k ustálení jednotlivých kategorií až do současného stavu krajiny. Došlo ke zhoršení a tedy navýšení ploch orné půdy spadající do více erodovaných kategorií SEOP. Největší podíl ploch navýšilo kategorii středně erodovaných půd z 10 % v roce 1956 na 25 % a více po následující sledovaná období. Návrhový stav krajinného pokryvu zaznamenává pozitivní vývoj ve všech kategoriích SEOP. Došlo k přesunu 160 ha ploch z kategorie silně erozně ohrožených do ostatních kategorií příznivějších z hlediska ztráty půdy, což je způsobeno obzvláště návrhem plošných ochranných opatření proti vodní erozi (vyloučení erozně nebezpečných plodin a trvalé travní porosty) plošně specifikovanými v tab. 13.

Při terénním průzkumu na základě šetření na vybraných plochách kategorií zemědělské půdy byly do kategorie neohrožené až velmi slabě erodované v povodí Luhy řazeny pozemky s travními porosty a víceletými pícešinami, do kategorie slabě erodovaných byly zařazeny plochy oseté obilovinami a řepkou na sklonech do 7 %. Jako středně erodované se projeví plochy obilovin a řepky ve sklonech nad 7 % a jako silně erodované pozemky s osevem širokořádkových kultur. Na těchto plochách dochází také ke vzniku silně erodovaných drah soustředěného odtoku, které dokládá práce Drongové, 2013.

Tab. 15 Míra poškození zemědělských půd ztrátou půdy na povodí Luhy

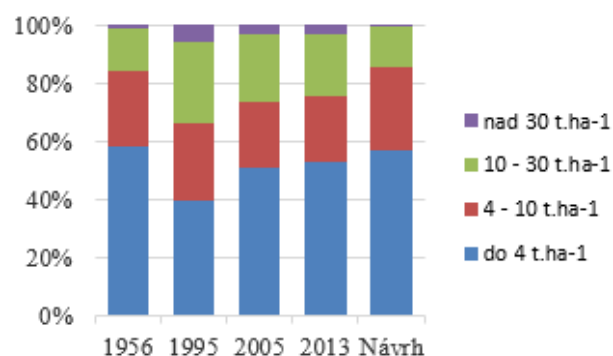
Rok	Neohrožené až velmi slabě erodované		Slabě erodované		Středně erodované		Silně erodované	
	do 4 t.ha ⁻¹		4 t.ha ⁻¹ –10 t.ha ⁻¹		10 t.ha ⁻¹ – 30 t.ha ⁻¹		nad 30 t.ha ⁻¹	
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]
1956	4360,66	61,15	1978,70	27,75	754,40	10,58	37,84	0,53
1995	2698,89	39,60	2134,50	31,32	1758,58	25,80	224,06	3,29
2005	2110,69	35,50	1918,39	32,26	1694,04	28,49	222,77	3,75
2013	2274,62	38,39	1823,41	30,77	1617,61	27,30	209,67	3,54
Návrh	2575,86	43,29	2214,08	37,21	1111,84	18,69	47,99	0,81

Tab. 16 Průměrná ztráta půdy povodí IV. řádu v povodí Luhy

ČHP	Plocha povodí [km ²]	Průměrná ztráta půdy [t·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹]												
		1956	1995	2002	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2013	Návrh
2-01-01-051	10,35	5,19	7,98	7,82	7,83	7,39	7,14	7,00	6,98	6,97	6,96	6,69	6,82	4,78
2-01-01-052	10,58	3,42	7,08	5,01	5,07	4,69	4,26	4,27	3,91	3,83	3,65	3,73	3,47	2,68
2-01-01-053	5,18	3,29	3,90	7,99	7,91	7,83	7,82	7,75	7,81	7,80	7,87	7,87	7,86	6,16
2-01-01-054	6,14	3,68	7,49	8,17	8,23	7,98	7,83	7,79	7,90	7,74	7,91	7,90	8,01	6,47
2-01-01-055	0,18	2,19	7,98	3,22	3,22	3,05	3,05	3,23	4,10	4,10	4,01	4,19	3,89	3,84
2-01-01-056	7,88	3,99	9,90	10,04	10,26	10,04	10,04	9,86	9,74	9,33	9,23	9,40	8,73	5,83
2-01-01-057	22,37	5,44	9,00	11,36	11,59	11,84	11,78	11,76	11,81	11,65	11,69	11,70	11,59	8,11
2-01-01-058	5,63	4,73	6,31	8,83	8,96	9,42	9,32	9,23	9,22	9,16	9,08	8,87	8,64	6,32
2-01-01-059	4,14	5,49	7,25	8,32	9,03	9,48	9,52	9,49	9,71	9,70	9,68	9,67	9,45	6,44
2-01-01-060	5,39	4,82	9,55	9,39	10,26	10,27	10,27	10,16	10,14	10,08	10,11	10,07	9,92	7,10
2-01-01-061	6,36	3,55	9,07	7,37	7,32	7,35	7,38	7,38	7,37	7,39	7,38	7,37	7,40	6,17
2-01-01-062	4,14	3,42	6,91	8,81	8,82	8,69	8,73	8,69	8,75	8,64	8,62	8,55	8,68	6,69
2-01-01-063	7,35	4,09	7,60	7,69	7,89	7,89	7,84	7,70	7,73	7,81	7,76	7,72	7,69	5,43
Povodí Luhy	95,66	4,49	8,37	8,84	9,02	9,02	8,95	8,89	8,88	8,77	8,75	8,73	8,61	6,23

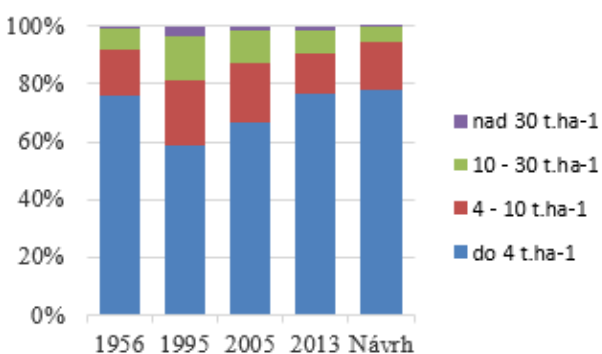
Tab. 17 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-051

Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4-10 t.ha ⁻¹ [ha]	10-30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1956	429,16	193,95	109,32	6,32
1995	282,99	187,86	200,93	40,84
2005	338,68	150,83	151,71	22,86
2013	354,57	152,53	141,95	19,08
Návrh	380,50	192,41	93,04	3,14



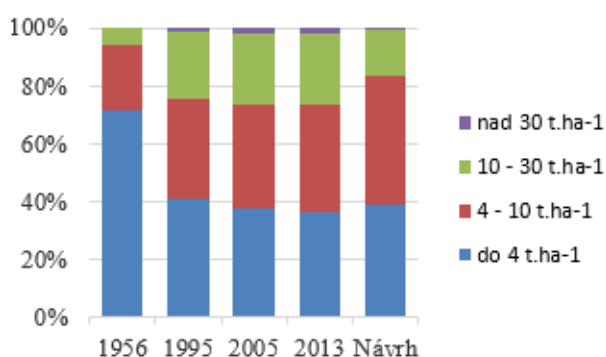
Tab. 18 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-052

Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4-10 t.ha ⁻¹ [ha]	10-30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1956	477,55	101,21	45,51	4,73
1995	345,56	134,24	91,09	18,42
2005	345,60	106,24	56,24	8,49
2013	397,35	74,16	42,69	5,94
Návrh	414,03	85,33	27,97	1,56



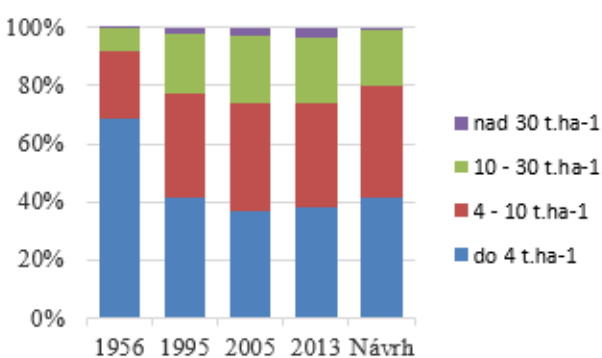
Tab. 19 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-053

Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4-10 t.ha ⁻¹ [ha]	10-30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1956	318,56	101,81	25,85	0,19
1995	177,73	152,20	99,40	6,52
2005	148,42	142,54	96,97	7,65
2013	139,48	143,29	93,14	7,34
Návrh	150,74	170,01	60,73	1,85

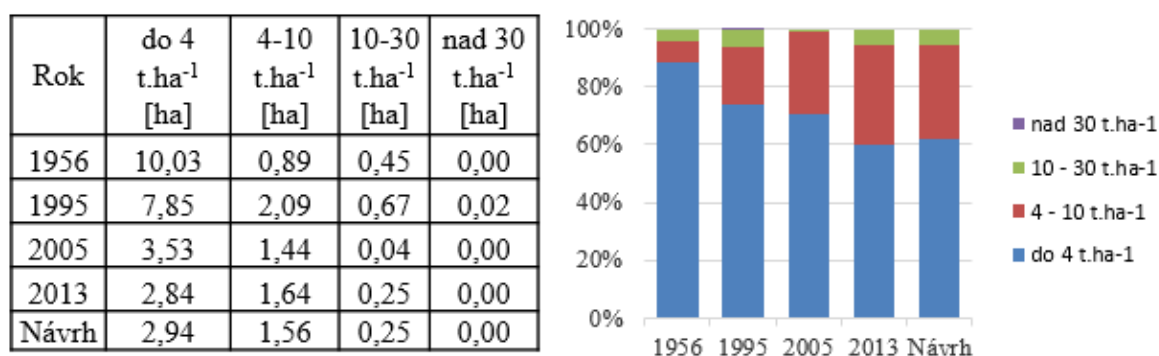


Tab. 20 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-054

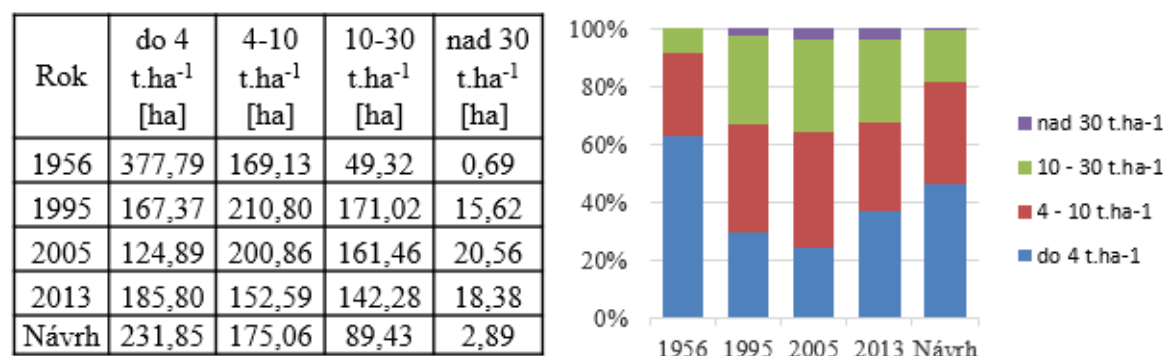
Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4-10 t.ha ⁻¹ [ha]	10-30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1956	249,19	84,92	27,91	0,59
1995	142,96	123,15	70,42	6,59
2005	102,03	104,07	64,55	7,79
2013	102,98	94,51	62,22	8,33
Návrh	111,75	102,98	51,48	2,15



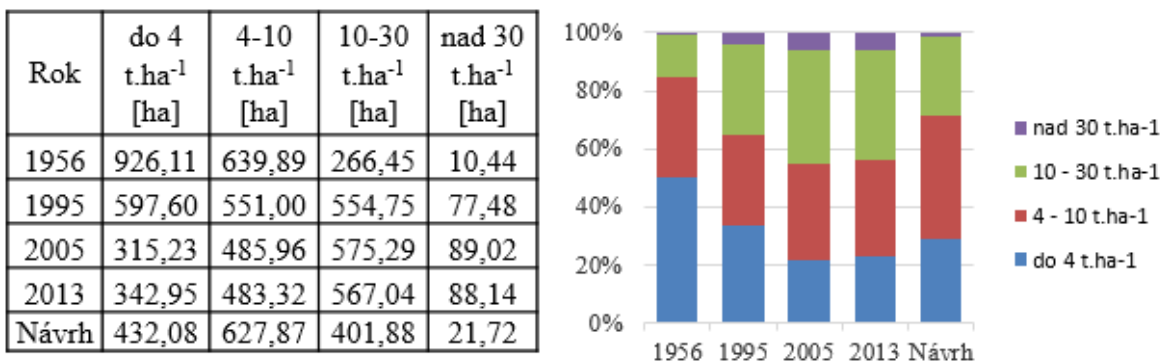
Tab. 21 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-055



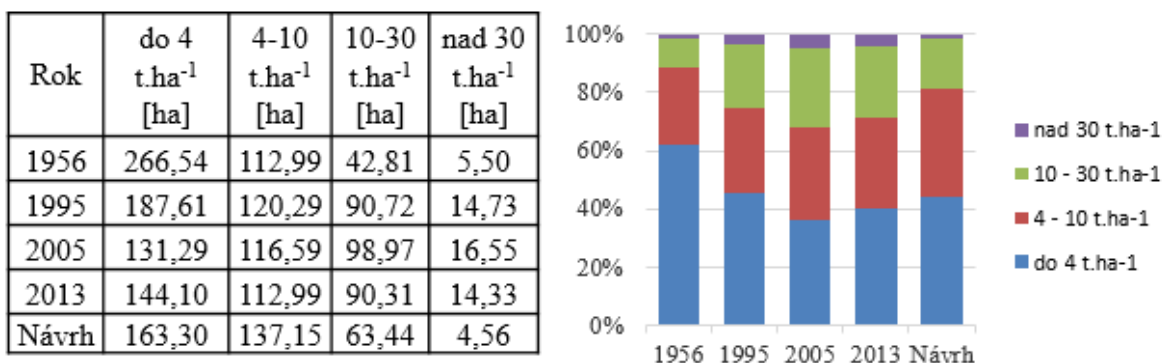
Tab. 22 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-056



Tab. 23 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-057

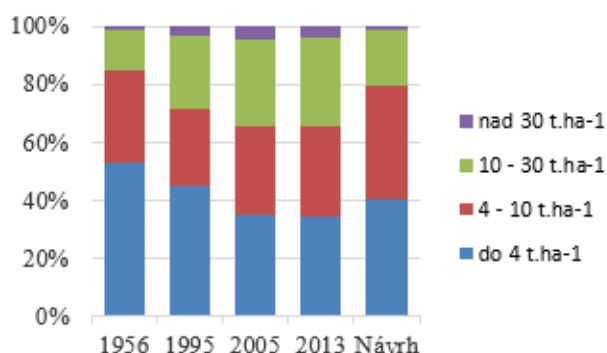


Tab. 24 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-058



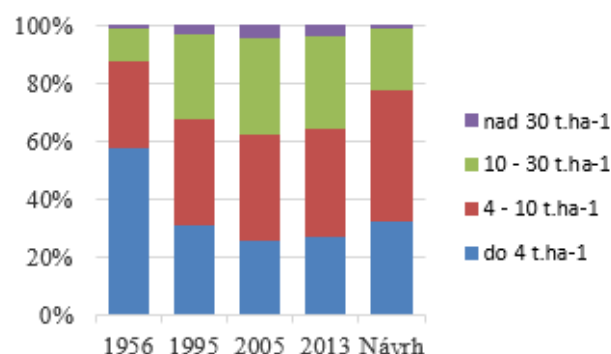
Tab. 25 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-059

Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4-10 t.ha ⁻¹ [ha]	10-30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1956	182,49	110,82	48,55	3,79
1995	144,75	83,49	81,64	10,98
2005	91,42	79,34	79,21	11,23
2013	90,51	82,96	79,53	11,16
Návrh	108,48	104,45	52,68	2,70



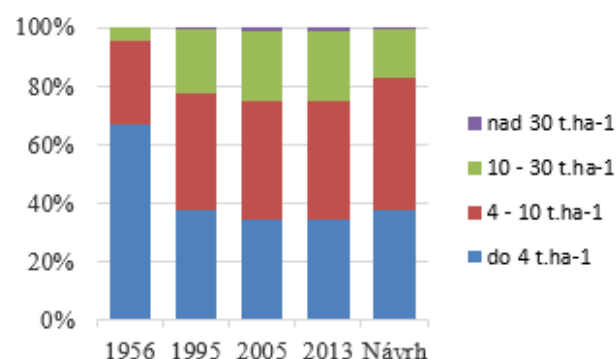
Tab. 26 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-060

Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4-10 t.ha ⁻¹ [ha]	10-30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1956	244,63	129,56	48,05	3,41
1995	121,02	140,11	112,94	11,36
2005	92,24	131,81	120,97	15,15
2013	92,33	127,20	108,92	13,50
Návrh	111,87	153,04	74,78	2,73



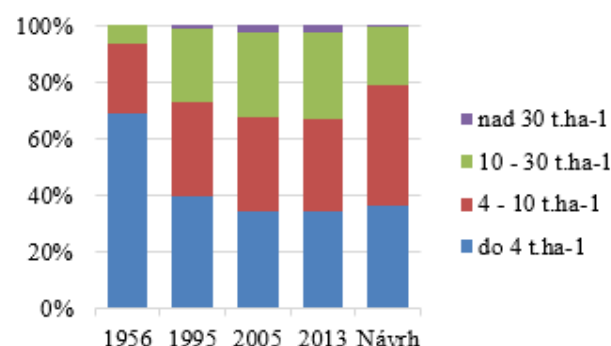
Tab. 27 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-061

Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4-10 t.ha ⁻¹ [ha]	10-30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1956	328,55	137,86	23,37	0,16
1995	181,84	188,49	104,47	3,72
2005	146,56	173,57	103,25	4,00
2013	145,26	173,02	104,17	4,07
Návrh	159,82	194,53	71,37	1,15

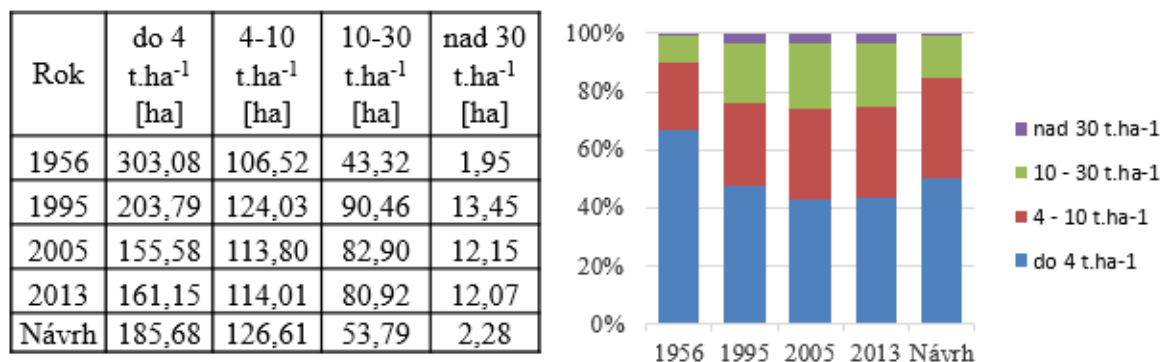


Tab. 28 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-062

Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4-10 t.ha ⁻¹ [ha]	10-30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1956	247,00	89,17	23,49	0,08
1995	137,84	116,76	90,11	4,35
2005	115,23	111,37	102,50	7,31
2013	115,30	111,21	104,19	7,36
Návrh	122,85	143,11	71,00	1,28



Tab. 29 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-063



Míra erozního ohrožení má u většiny povodí IV. řádu podobné rozložení jednotlivých kategorií ohroženosti v letech. Výjimkou jsou povodí 2-01-01-055 a 2-01-01-052, ve kterých erozní ohroženost spadá nejméně z 60 % do kategorie neohrožené až velmi slabě erodované. Vývoj erozní ohroženosti v povodí 2-01-01-052 je dán skladbou pokryvu ZPF. U tohoto povodí je projev změny ztráty půdy dán nárůstem zatravněných ploch v rámci jednotlivých pokryvů. V případě plošně malého povodí (0,18 km²) 2-01-01-055 jde o erozní projev na ploše do 5 ha, v roce 1956 o téměř 11 ha v rovinatém terénu nepřipouštějící vyšší ztrátu půdy.

Míra erozního ohrožení v povodích k závěrovým profilům (tab. 30) je dána řadou faktorů, plochou zornění, sklonem těchto ploch, využitím území atd. Změny krajiny a návrhy protierozních opatření k eliminaci ztráty půdy v povodí Luhy vedou ke snížení hodnoty průměrného ztráty půdy, ale také pozitivně ovlivňují celý komplex charakteristik povodí. Ovlivňují organizaci, využití povodí a tím zásadním způsobem ovlivňují také odtokové poměry v povodí, což je ve shodě s pracemi Dostála a kol. (1997), Kulhavého a Kováře (2000). Tito autoři ve své práci uvádějí, že změny organizace půdního fondu a využívání krajiny ovlivňují hydrologické a vodohospodářské poměry v rámci dílčích povodí. Hydrologické analýzy prováděné uvedenými autory v řadě analyzovaných povodí potvrdily, že změny krajiny a návrhy PEO mají významný vliv na srážko-odtokový proces, přičemž zřetelný projev lze sledovat v relativně krátkém časovém měřítku tak, jak jsou různé zásahy v povodí realizovány. Tyto jejich závěry jsou ve shodě se závěry analýz erozních a odtokových poměrů v modelových povodích.

Tab. 30 Průměrná ztráta půdy v povodích závěrových profilů v povodí Luhy

Číslo povodí	Plocha povodí [km ²]	Průměrná ztráta půdy [t·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹]												
		1956	1995	2002	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2013	Návrh
1	1,59	4,30	6,50	2,94	2,66	2,78	2,87	2,87	2,87	2,87	2,85	2,85	2,85	2,38
2	0,50	5,35	10,41	7,09	4,76	4,80	4,43	4,40	4,40	4,22	4,22	4,14	4,18	3,77
3	0,92	6,02	13,68	13,58	12,59	10,77	10,53	10,11	10,11	10,11	10,11	9,49	9,60	5,83
4	1,12	4,86	10,10	12,42	11,79	11,63	10,63	10,30	10,30	10,24	10,27	9,78	9,77	6,56
5	0,34	2,79	6,37	3,37	4,47	4,14	4,14	4,16	4,16	4,16	4,46	4,40	4,40	3,53
6	10,06	5,14	9,85	7,77	7,78	7,33	7,08	6,95	6,94	6,92	6,92	6,62	6,76	4,75
7	10,47	3,43	6,32	5,02	5,09	4,71	4,27	4,28	3,91	3,82	3,64	3,72	3,46	2,68
8	0,27	3,72	7,05	6,40	6,40	6,39	6,43	6,44	6,44	6,44	6,44	6,37	6,36	6,35
9	2,17	3,18	7,82	7,41	7,80	7,40	7,24	7,09	7,16	5,65	5,29	5,68	3,21	2,24
10	0,71	3,30	6,33	6,39	6,39	5,97	5,91	5,41	5,24	5,85	5,85	5,85	5,94	5,37
11	4,58	3,90	9,28	9,86	10,27	10,01	10,03	9,69	9,48	8,77	8,61	8,82	7,68	5,32
12	0,30	3,39	5,91	4,25	4,27	4,33	4,26	3,84	3,77	3,84	3,83	3,83	3,88	3,88
13	0,48	3,31	7,20	8,23	8,24	8,10	8,10	8,18	8,20	8,20	8,20	8,18	8,14	6,63
14	6,41	4,04	9,21	10,14	10,41	10,15	10,16	9,93	9,80	9,31	9,17	9,39	8,58	5,73
15	4,95	3,53	6,44	7,30	7,37	7,30	7,08	7,03	7,18	6,97	6,98	6,97	7,13	6,08
16	0,27	4,84	8,96	9,79	9,79	9,54	9,94	9,92	9,92	9,92	9,92	9,91	9,52	8,23
17	0,41	5,44	11,73	12,78	13,03	13,97	13,91	13,72	13,37	13,37	13,36	13,37	13,26	8,98
18	1,63	4,99	7,82	10,31	11,03	11,91	11,89	12,08	12,23	12,23	12,39	12,37	12,43	9,72
19	0,39	6,01	10,12	12,76	12,76	12,43	12,43	12,58	12,58	12,58	12,59	12,61	12,63	9,25
20	0,40	4,81	9,51	9,16	9,16	9,76	9,76	9,62	9,62	9,62	9,62	9,64	9,61	7,31
21	0,40	5,77	8,97	10,97	10,97	10,97	10,97	10,98	10,99	10,99	10,99	10,99	10,98	8,93
22	0,89	6,88	7,61	9,03	9,03	11,15	11,35	11,02	11,22	11,22	9,93	10,23	9,86	6,68
23	2,33	3,18	5,70	6,52	6,42	6,45	6,47	6,49	6,49	6,53	6,55	6,55	6,53	4,91
24	0,32	4,79	8,54	8,72	8,29	8,22	8,22	8,63	8,63	8,63	8,63	8,64	8,65	7,77
25	0,54	3,64	6,50	7,79	7,79	7,79	7,79	7,79	7,79	7,79	7,79	7,82	7,80	4,94

5.3.2 Průměrná ztráta půdy v povodí Luhy stanovená modelem WEPP

Na všech devíti výpočtových liniích podrobených modelováním v povodí Luhy i u všech výpočtových období sice došlo k překročení přípustné hodnoty ztráty půdy ($4 \text{ t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$), ale z celkového pozitivně se vyvíjejícího stavu v roce 2013 je patrný v této oblasti vliv snížení produkce širokořádkových plodin na sklonitých svazích. Nárůst hodnot ztráty půdy a ploch se ztrátou půdy nad $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ je na základě výpočtů pro roky 1956 až 2013 uveden v tabulce (tab. 31) a grafech (obr. 19 až 27).

Ve vybraných 9 profilech v rámci sestavy grafických zobrazení je zobrazena prostorová lokalizace jednotlivých hodnot ztráty půdy v rámci profilu svahu od horní části svahu až po oblast akumulace. Uvedená zobrazení jakož i tab. 31 ukazují, že při erozních procesech dochází k začátku erozních odnosů jak v závislosti na úrovni erozně příčinné srážky tak také v závislosti na tvaru svahu a hydropedologických podmínkách. Počátek odnosu erodované půdy model stanovil u všech typů svahů ve vzdálenosti od 15 do 50 metrů od rozvodnice. Tato vzdálenost je stabilní u všech stavů posuzovaných krajinných pokryvů při uvážení vývoje ostatních ovlivňujících faktorů, hydropedologických změn. Pouze u svahů konkávního tvaru s pozvolným sklonem od rozvodnice (L6, L8, L9), vlastně pozvolnějším sklonem celého svahu, dochází k začátku odnosu až ve větší vzdálenosti. Například jev patrný obzvláště v roce 1956, kdy odnos začíná až na 120 metru svahu. Tato vzdálenost je dána nejen vlivem tvaru svahu, ale i hydropedologickými podmínkami. Z těchto faktorů se následně odvíjí míra erozního ohrožení znázorněná modelem v podobě průměrné hodnoty ztráty půdy na odtokové linii. U výše zmíněných linií dochází v roce 1956 k nejnižším hodnotám průměrné ztráty půdy z linie, ten se pohybuje mírně nad 20 t ha^{-1} . Tato průměrná ztráta půdy v roce 1956 je stejně jako u ostatních modelem vyhodnocených výpočtových linií skoro čtyřnásobně nižší než hodnoty vycházející v následujících posuzovaných obdobích.

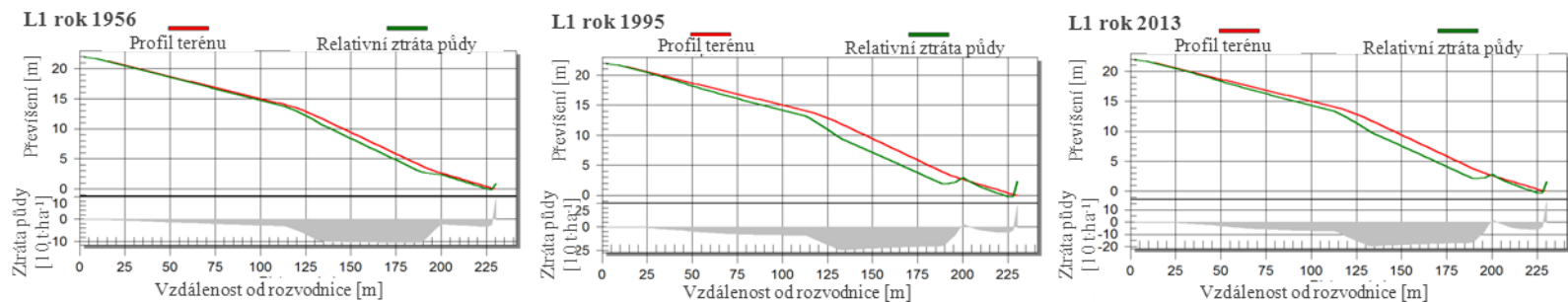
Za nejvíce ztrátou půdy ohroženou část svahu je tak stanovena spodní třetina svahu. Výjimku tvoří svahy, na kterých byly umístěny linie L5, L7 a L8, zde není jednoznačně daný vrchol maximálního odnosu ztráty půdy na svahu. Dochází ke stejné výši odnosu po dvou třetinách délky svahu (obr. 23, 25, 26). Rozdílné místo odnosu ve střední části linie L3 (obr. 21) je dáno konkávním tvarem svahu, na kterém byla linie stanovena.

Průběhy odnosu relativní ztráty půdy, modelové ztráty půdy i tvaru terénu jednotlivých výpočtových linií v letech jsou patrné v následujících obrázcích (obr. 19 až 27).

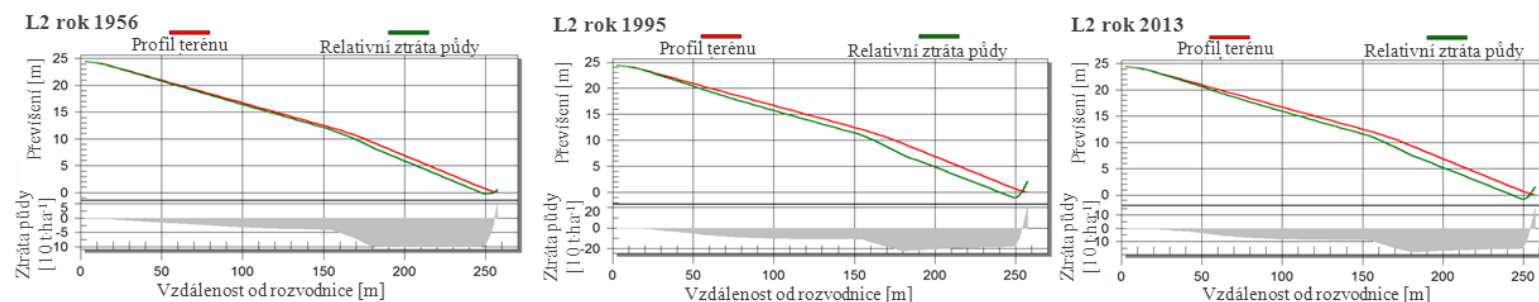
Tab. 31 Modelové ztráty půdy u výpočtových linií na povodí Luhy stanovené modelem WEPP

Číslo linie	Délka [m]	Sklon [%]	Tvar svahu *	1956			1995			2013		
				Prům. ztráta [t·ha ⁻¹]	Začátek odnosu [m]	Místo max. odnosu [m]	Prům. ztráta [t·ha ⁻¹]	Začátek odnosu [m]	Místo max. odnosu [m]	Prům. ztráta [t·ha ⁻¹]	Začátek odnosu [m]	Místo max. odnosu [m]
1	230,23	9,71	KV	44,32	30	135	105,38	25	130	85,76	25	135
2	257,25	9,82	KV	48,99	25	180	115,38	20	180	93,82	20	180
3	221,81	10,88	KK	34,63	15	118	91,78	15	80	75,44	16	80
4	273,12	7,26	KV	43,43	50	230	114,90	48	195	91,01	53	195
5	311,90	11,44	LI	50,49	20	300	114,97	20	150	95,96	20	170
6	406,94	7,41	KV	37,61	120	320	108,83	60	320	88,13	70	320
7	275,76	11,76	LI	59,68	20	170	132,59	20	170	109,21	20	170
8	411,52	6,59	KV	21,80	120	180	68,23	52	180	56,90	60	180
9	302,59	4,86	KV	21,57	120	280	68,86	90	280	54,03	100	278

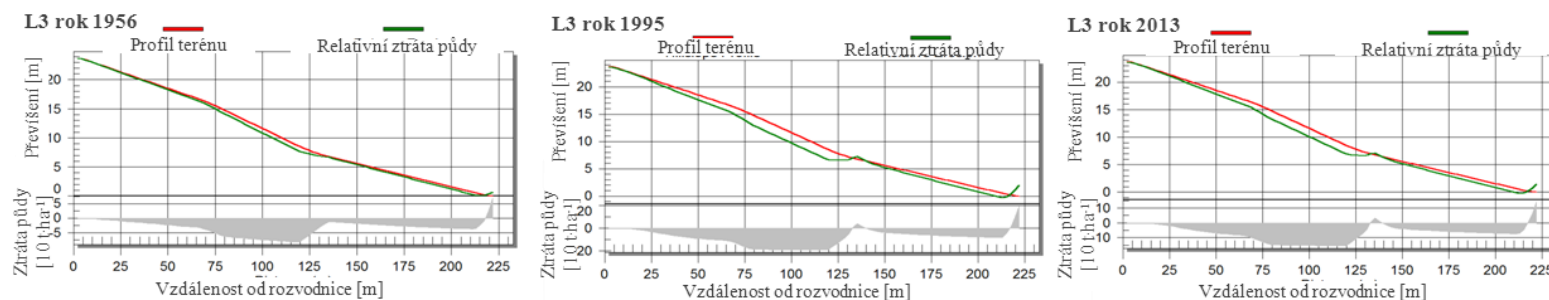
* KK = konkávní, KV = konvexní, LI = lineární



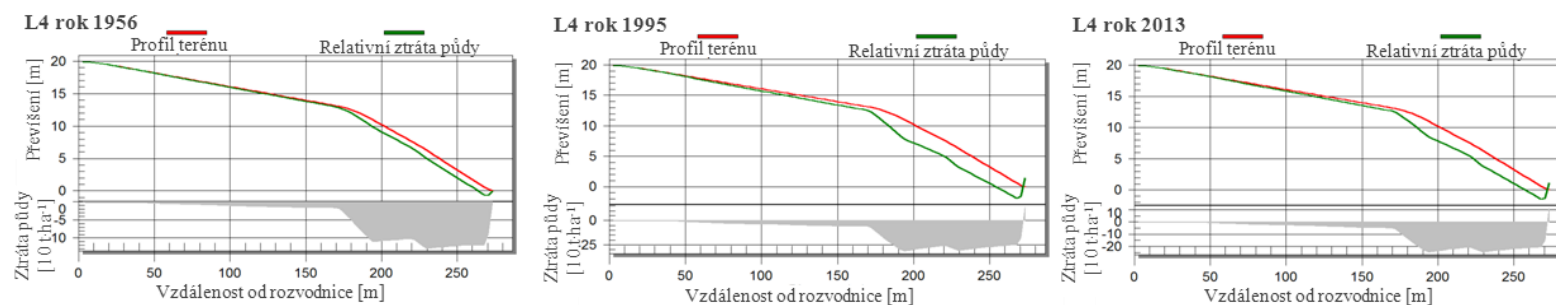
Obr. 19 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L1 na povodí Luhy



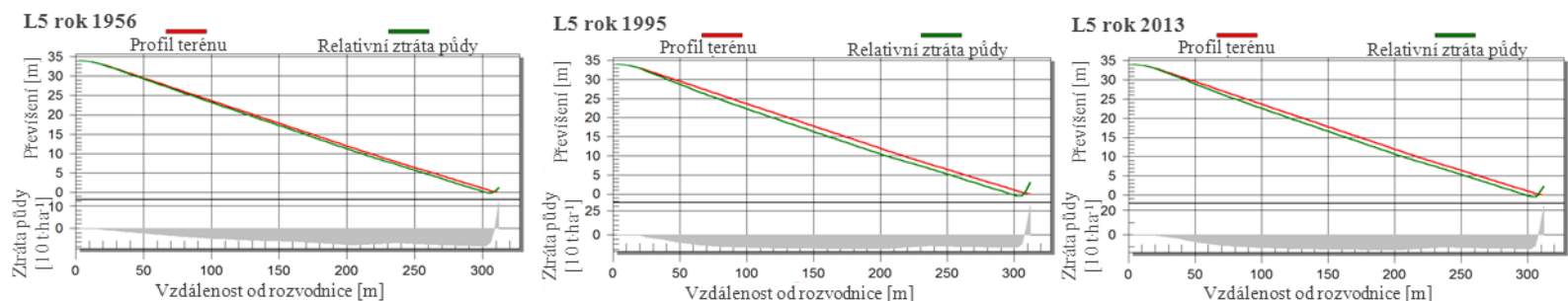
Obr. 20 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L2 na povodí Luhy



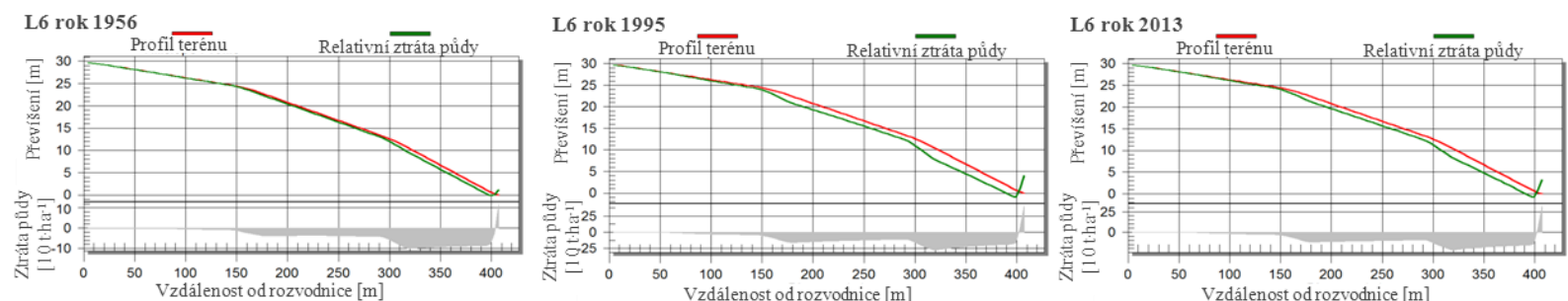
Obr. 21 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L3 na povodí Luhy



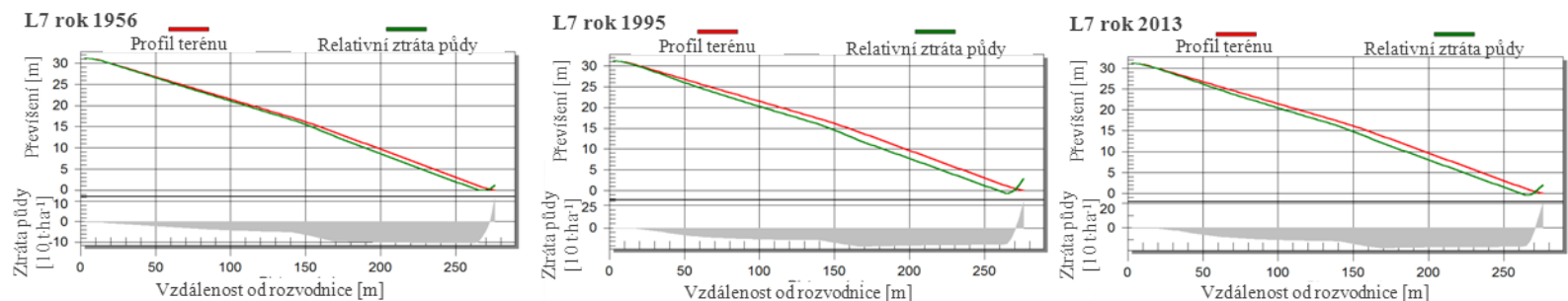
Obr. 22 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L4 na povodí Luhy



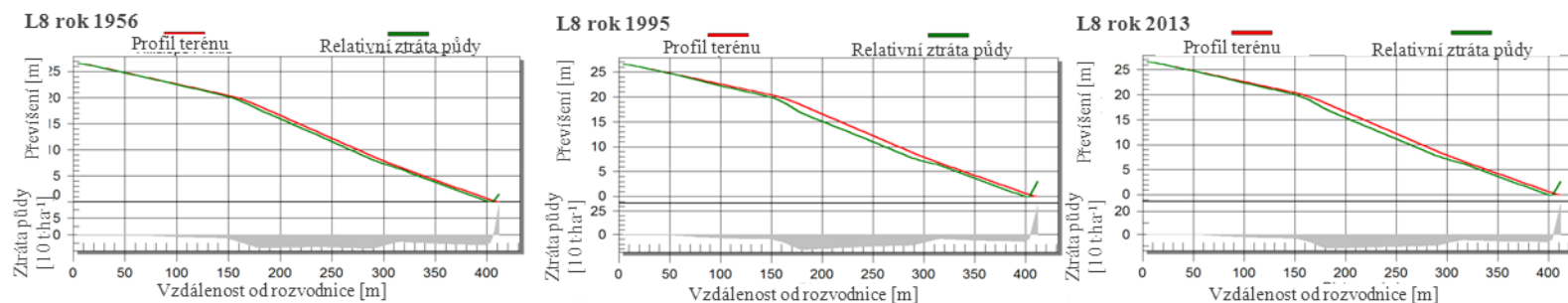
Obr. 23 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L5 na povodí Luhy



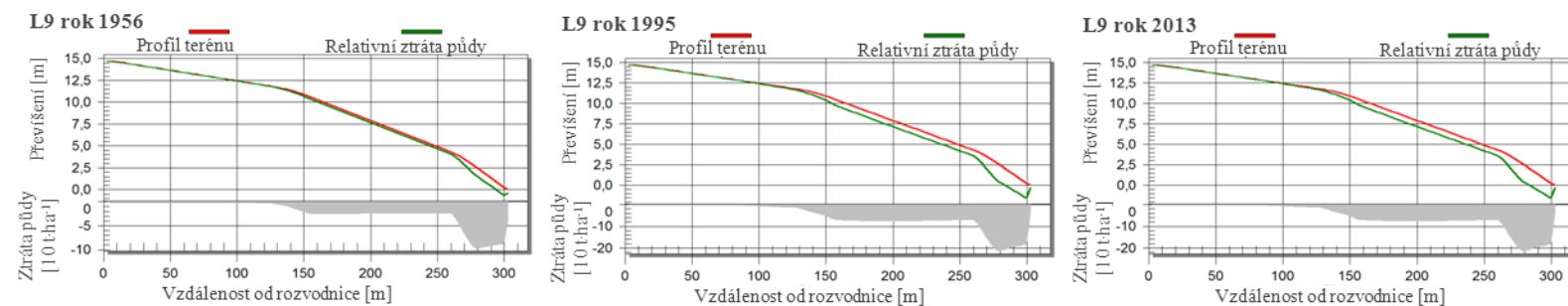
Obr. 24 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L6 na povodí Luhy



Obr. 25 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L7 na povodí Luhy



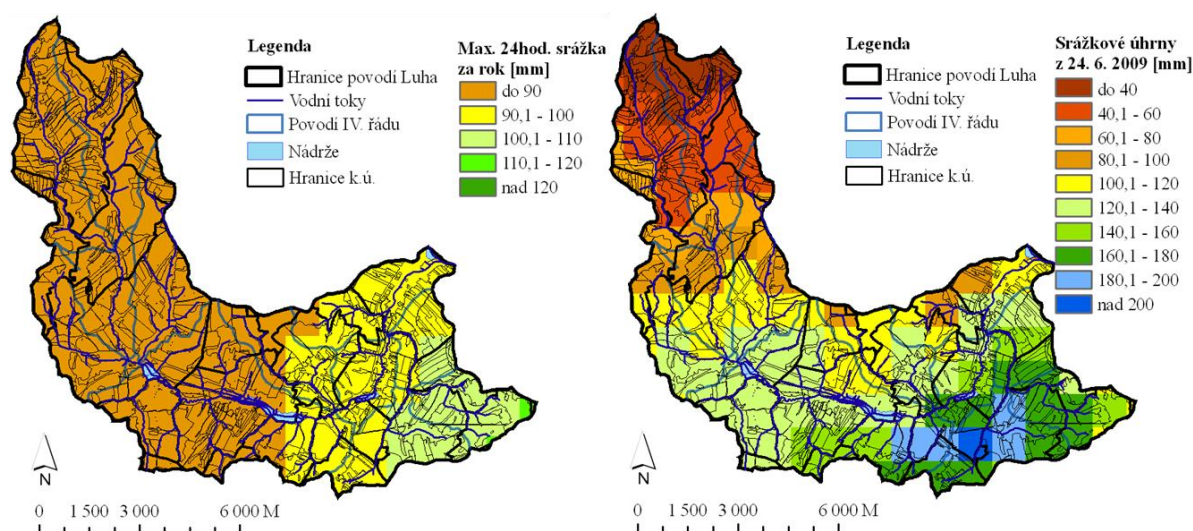
Obr. 26 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L8 na povodí Luhy



Obr. 27 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L9 na povodí Luhy

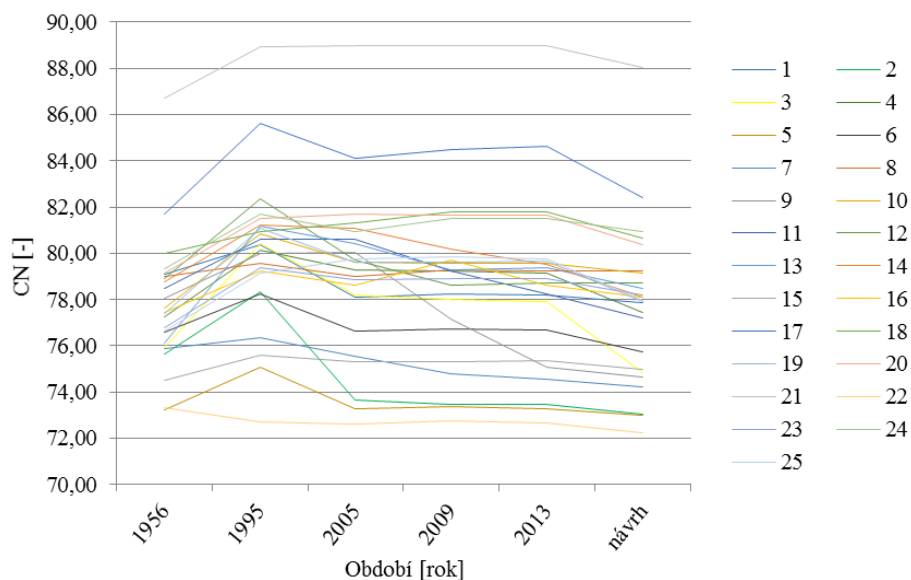
5.4 Vyhodnocení odtokových poměrů na území povodí Luhy

Vyhodnocení vlivu změn krajiny na odtokové poměry metodou čísel odtokových křivek v modifikaci DesQ-MAXQ bylo provedeno na 25 sběrných povodích k vybraným závěrovým profilům rozhodujících z hlediska tvorby soustředěného povrchového odtoku v povodí Luhy ke dvěma srážkovým stavům. Nejprve byl výpočet vybraných krajinných pokryvů z let 1956, 1995, 2005, 2009, 2013 a návrhový stav vystaven srážce zaznamenané při skutečné povodňové situaci v červnu 2009. Následně byl za dodržení stejných vstupních podmínek do výpočtu pokryv otestován ještě maximálními hodnotami 24hodinových srážek za rok, která byla zaměřena ČHMÚ. Rozložení denních úhrnů srážek 24. června 2009 i 24hodinových srážkových úhrnů je znázorněno na mapce na obr. 28. Úhrny srážek nad 100 mm zasáhly území povodí Luhy na více než 60 % plochy povodí.



Obr. 28 Jednodenní stoleté srážkové úhrny dle ČHMÚ pro povodí Luhy a rozložení příčinných srážek z 24. 6. 2009.

Způsob využití území, spíše celkový stav krajinného pokryvu jako faktor zkoumaného vlivu na možné výskyty povodní z přívalových srážek je základní proměnnou vstupující do modelu. Průběhy změny vývoje pokryvné vrstvy krajiny vyjádřený pomocí čísel CN byly vyhodnoceny ve všech stanovených povodích v šesti variantách. Z rastrových vrstev CN pro jednotlivé roky vytvořené podle postupu v kapitole 4.5 byla pomocí zonální statistiky v GIS stanovena průměrná hodnota čísla CN pro každou z 25 sběrných povodí.



Obr. 29 Grafické zobrazení změny CN v průběhu let

U změn hodnot čísla CN (obr. 29) ve sběrných povodích k závěrovým profilům na povodí Luhy dochází k pozvolnému pozitivnímu vývoji od roku 2005. Patrný je postupný návrat ke stavu krajinného pokryvu z let padesátých, pro který byla charakteristická velká pestrost krajiny, množství bariér a také nižší produkce širokořádkových plodin na velkých plochách, především kukuřice. U všech vývojových křivek je patrné zlomové snížení čísla CN pro návrhový stav krajinného pokryvu provedeného v rámci práce. U všech povodí došlo v devadesátých letech k nárůstu čísla CN průměrně asi o 10 % způsobeného právě porušením pestrosti krajiny. Průměrné hodnoty CN v jednotlivých povodích se pohybují od 72 do 82, výjimku tvoří povodí 21 (hodnota CN v letech průměrně 88) a povodí 17 (s průměrnou hodnotou CN 84). Jedná se o menší povodí s plochou 0,4 km² nacházejících se převážně jen na orné půdě doplněné cestní sítí.

Podrobně se otázkou opatření zvyšující zadržení vody v území včetně jejich doprovodných kladných a záporných účinků zabýval Marhoun (1997). Zdůrazňuje, že problematika zadržování vody v krajině může mít i charakter „ekologizace“, tedy preventivního opatření a nikoliv jen opatření revitalizačního, tj. opravného (dodatečného) antropogenního zásahu.

Po doplnění geomorfologických charakteristik jednotlivých povodí do modelu, určení průměrných srážkových úhrnů na povodí pro obě testované srážkové situace, hodnoty získané opět zonální statistikou na studovaná povodí v ArcGIS, a po doplnění hodnot zbylých vstupních veličin blíže popsanych v kapitole 4.4 byl proveden výpočet maximálního průtoku závěrovým profilem povodí a také bylo provedeno vygenerování časových řad hydrogramů průtoků jednotlivými závěrovými profily. Výsledky byly graficky i tabelárně zpracovány a následně vstoupily do výpočtů ke stanovení jednotkového specifického odtoku q (m³·s⁻¹·km⁻²) z povodí. Pro možnost podrobnějšího vyhodnocení odtokových poměrů byly v profilech stanoveny jak základní charakteristiky

přímého povrchového odtoku z dané plochy sběrného povodí, tak také tyto charakteristiky vztažené k plošné výměře 1 km² (používané pro stanovení specifického odtoku).

Tab. 32 Průměrná hodnota čísla CN na povodí k závěrovým profilům

Číslo povodí	Plocha povodí [km ²]	Průměrné číslo CN [-]					
		1956	1995	2005	2009	2013	Návrhový stav
1	1,59	79,11	80,37	78,12	78,24	78,18	77,87
2	0,50	75,65	78,34	73,64	73,46	73,45	73,06
3	0,92	75,92	80,40	78,17	77,99	77,91	74,84
4	1,12	77,24	80,13	79,31	79,24	79,12	77,42
5	0,34	73,25	75,06	73,28	73,37	73,29	72,98
6	10,06	76,59	78,22	76,62	76,75	76,70	75,72
7	10,47	75,89	76,36	75,53	74,77	74,53	74,24
8	0,27	79,00	79,57	78,99	79,29	79,26	79,25
9	2,17	78,07	80,00	80,03	77,15	75,10	74,67
10	0,71	77,63	80,83	79,62	79,55	79,57	79,14
11	4,58	78,48	80,61	80,59	79,25	78,27	77,22
12	0,30	78,91	82,36	79,70	78,64	78,69	78,69
13	0,48	76,13	81,15	80,41	79,30	79,36	78,47
14	6,41	78,74	81,21	81,09	80,17	79,51	78,09
15	4,95	74,53	75,58	75,30	75,31	75,38	74,99
16	0,27	77,43	79,24	78,61	79,70	78,62	78,09
17	0,41	81,69	85,63	84,11	84,48	84,65	82,39
18	1,63	80,00	80,94	81,34	81,77	81,79	80,67
19	0,39	77,41	81,08	79,63	79,63	79,67	77,90
20	0,40	79,14	81,50	81,68	81,67	81,67	80,37
21	0,40	86,73	88,92	88,97	88,99	88,98	88,03
22	0,89	73,31	72,72	72,61	72,75	72,67	72,22
23	233	76,79	79,40	78,86	78,92	78,90	78,20
24	0,32	79,34	81,71	80,92	81,49	81,51	80,93
25	0,54	76,62	79,15	79,77	79,84	79,76	77,95

5.4.1 Odtokové poměry v povodí při zaznamenané srážkové epizodě v červnu 2009

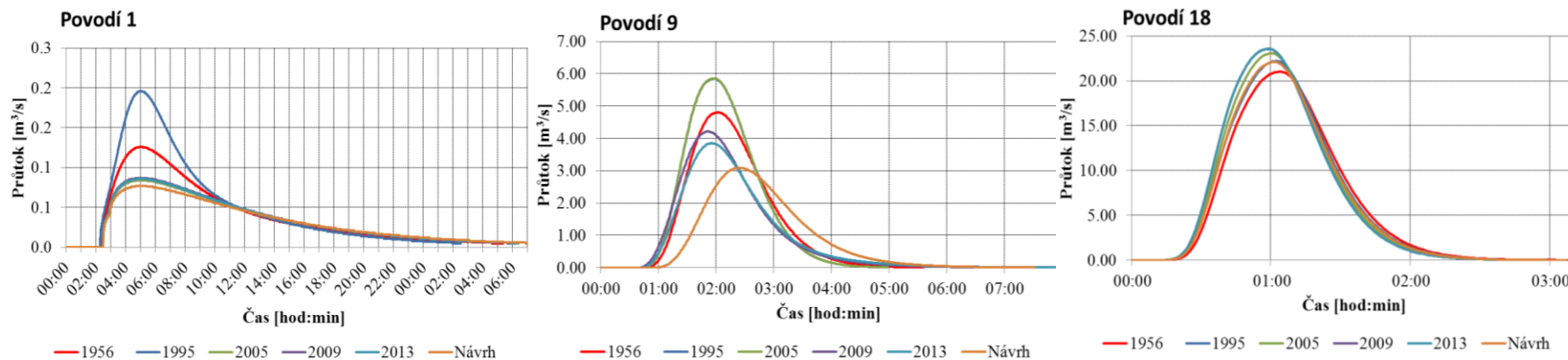
Cílem posouzení je podrobit jednotlivé vývojové krajinné stavy skutečné srážce, která v roce 2009 způsobila v povodí povodňovou situaci. Před výskytem povodně z hlediska indexu předchozích srážek byla poměrně velká nasycenost území, na Novojičínsku byl stav normál nasycenosti dne 24. 6. překročen zhruba dvojnásobně (Šercl a kol., 2009).

Tab. 33 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro skutečnou srážku ze dne 24.6.2009 v letech 1956, 1995 a 2005

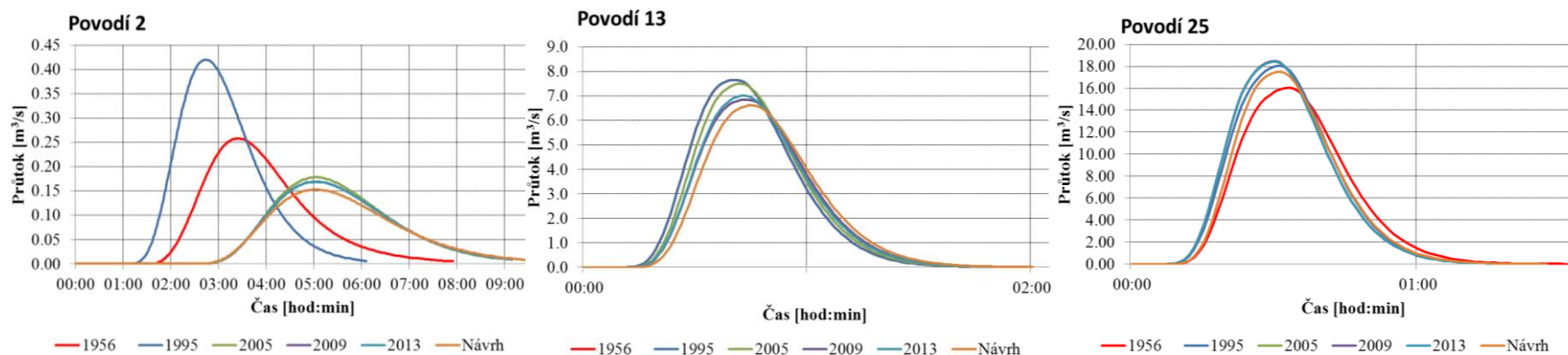
Číslo pov.	Plocha povodí [km ²]	Sklon povodí [%]	Hs srážka 2009 [mm]	1956				1995				2005			
				CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ s ⁻¹]	Tc [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ s ⁻¹]	Tc [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ s ⁻¹]	Tc [hod]
1	1,59	7,79	30,62	79,11	67,07	0,13	1,38	80,37	62,05	0,20	1,33	78,12	71,14	0,08	1,43
2	0,50	10,73	42,27	75,65	81,74	0,26	0,87	78,34	70,22	0,42	0,80	73,64	90,94	0,18	0,92
3	0,92	9,18	47,48	75,92	80,58	0,60	1,02	80,40	61,91	1,18	0,89	78,17	70,91	0,83	0,95
4	1,12	8,77	59,33	77,24	74,85	2,07	1,33	80,13	63,00	3,00	1,22	79,31	66,28	2,72	1,25
5	0,34	8,72	62,63	73,25	92,75	0,76	1,04	75,06	84,40	0,89	0,99	73,28	92,61	0,73	1,04
6	10,06	12,60	51,91	76,59	77,62	7,32	3,11	78,22	70,72	9,28	2,96	76,62	77,48	7,37	3,11
7	10,47	14,64	46,25	75,89	80,69	3,40	2,66	76,36	78,64	3,69	2,63	75,53	82,29	3,19	2,69
8	0,27	15,86	75,15	79,00	67,50	2,03	0,59	79,57	65,21	2,14	0,58	78,99	67,55	2,01	0,59
9	2,17	9,23	58,89	78,07	71,36	4,80	1,92	80,00	63,49	5,84	1,81	80,03	63,38	5,85	1,81
10	0,71	4,11	96,25	77,63	73,18	5,37	1,60	80,83	60,22	6,74	1,45	79,62	65,02	6,15	1,51
11	4,58	8,77	74,02	78,48	69,65	14,60	2,29	80,61	61,11	17,70	2,15	80,59	61,18	17,90	2,15
12	0,30	3,83	115,20	78,91	67,87	5,09	1,26	82,36	54,39	6,15	1,13	79,70	64,71	5,25	1,23
13	0,48	4,61	107,30	76,13	79,64	5,95	1,34	81,15	58,99	7,81	1,15	80,41	61,86	7,60	1,18
14	6,41	8,24	83,,75	78,74	68,58	31,40	2,79	81,21	58,77	37,50	2,59	81,09	59,24	37,30	2,60
15	4,95	7,73	108,00	74,53	86,80	35,30	2,72	75,58	82,07	37,20	2,63	75,30	83,32	36,30	2,66
16	0,27	6,73	142,01	77,43	74,05	7,36	0,92	79,24	66,55	7,97	0,88	78,61	69,11	7,95	0,89
17	0,41	8,81	128,55	81,69	56,93	11,60	0,79	85,63	42,63	14,00	0,69	84,11	47,99	13,00	0,73
18	1,63	9,15	116,82	80,00	63,51	21,30	1,02	80,94	59,80	22,10	0,99	81,34	58,28	23,10	0,98
19	0,39	7,57	133,47	77,41	74,11	8,84	0,90	81,08	59,29	10,60	0,80	79,63	64,99	9,77	0,84
20	0,40	6,23	116,20	79,14	66,94	6,71	0,77	81,50	57,66	7,65	0,71	81,68	56,97	7,72	0,71
21	0,40	9,67	128,04	86,73	38,86	13,80	0,49	88,92	31,66	15,60	0,45	88,97	31,50	15,30	0,45
22	0,89	11,48	179,17	73,31	92,48	26,50	0,97	72,72	95,28	25,90	0,99	72,61	31,50	25,60	0,99
23	2,33	5,01	173,52	76,79	76,76	58,70	1,96	79,40	65,92	66,70	1,82	78,86	95,81	65,30	1,85
24	0,32	6,34	166,21	79,34	66,13	11,80	0,70	81,71	56,86	13,10	0,65	80,92	68,08	12,30	0,67
25	0,54	5,24	166,51	76,62	77,50	16,30	1,19	79,15	66,89	18,10	1,10	79,77	59,89	18,80	1,08

Tab. 34 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro skutečnou srážku ze dne 24.6.09 v letech 2009, 2013 a návrhovém stavu

Číslo pov.	Plocha povodí [km ²]	Sklon povodí [%]	Hs srážka 2009 [mm]	2009				2013				Návrhový stav			
				CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ .s ⁻¹]	Tc [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ .s ⁻¹]	Tc [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ .s ⁻¹]	Tc [hod]
1	1,59	7,79	30,62	78,24	70,65	0,09	1,42	78,18	70,89	0,09	1,42	77,87	72,18	0,08	1,44
2	0,50	10,73	42,27	73,46	91,77	0,17	0,93	73,45	91,82	0,17	0,93	73,06	93,66	0,15	0,94
3	0,92	9,18	47,48	77,99	71,67	0,81	0,96	77,91	72,03	0,80	0,96	74,84	85,40	0,50	1,05
4	1,12	8,77	59,33	79,24	66,53	2,70	1,25	79,12	67,03	2,68	1,26	77,42	74,07	2,18	1,32
5	0,34	8,72	62,63	73,37	92,18	0,73	1,03	73,29	92,54	0,73	1,04	72,98	94,04	0,71	1,04
6	10,06	12,60	51,91	76,75	76,95	7,50	3,10	76,70	77,17	7,45	3,10	75,72	81,43	6,45	3,19
7	10,47	14,64	46,25	74,77	85,69	2,87	2,75	74,53	86,80	2,80	2,77	74,24	88,13	2,54	2,79
8	0,27	15,86	75,15	79,29	66,35	2,07	0,59	79,26	66,47	2,06	0,59	79,25	66,50	2,06	0,59
9	2,17	9,23	58,89	77,15	75,23	4,21	1,98	75,10	84,23	3,34	2,10	74,67	86,17	3,11	2,12
10	0,71	4,11	96,25	79,55	65,28	6,12	1,51	79,57	65,21	6,13	1,51	79,14	66,96	5,93	1,53
11	4,58	8,77	74,02	79,25	66,50	16,50	2,24	78,27	70,54	15,10	2,31	77,22	74,93	13,40	2,38
12	0,30	3,83	115,20	78,64	68,98	5,03	1,28	78,69	68,77	5,01	1,27	78,69	68,77	5,01	1,27
13	0,48	4,61	107,30	79,30	66,31	7,02	1,22	79,36	66,07	7,08	1,22	78,47	69,70	6,71	1,25
14	6,41	8,24	83,75	80,17	62,84	35,30	2,67	79,51	65,47	33,60	2,73	78,09	71,28	30,40	2,85
15	4,95	7,73	108,00	75,31	83,28	36,60	2,66	75,38	82,97	36,80	2,65	74,99	84,70	35,80	2,68
16	0,27	6,73	142,01	79,70	64,70	8,20	0,86	78,62	69,08	8,07	0,89	78,09	71,26	7,86	0,91
17	0,41	8,81	128,55	84,48	46,66	13,60	0,72	84,65	46,05	13,80	0,71	82,39	54,30	12,00	0,77
18	1,63	9,15	116,82	81,77	56,62	24,00	0,96	81,79	56,55	24,00	0,96	80,67	60,85	22,20	1,00
19	0,39	7,57	133,47	79,63	64,99	9,77	0,84	79,67	64,82	9,80	0,84	77,90	72,07	9,13	0,89
20	0,40	6,23	116,20	81,67	57,03	7,70	0,71	81,67	57,02	7,70	0,71	80,37	62,04	7,17	0,74
21	0,40	9,67	128,04	88,99	31,43	15,30	0,45	88,98	31,46	15,30	0,45	88,03	34,54	14,50	0,46
22	0,89	11,48	179,17	72,75	95,15	25,80	0,99	72,67	95,54	25,70	0,99	72,22	97,69	25,20	1,00
23	2,33	5,01	173,52	78,92	67,85	65,10	1,84	78,90	67,92	65,20	1,84	78,20	70,82	63,30	1,88
24	0,32	6,34	166,21	81,49	57,71	12,90	0,65	81,51	57,62	12,90	0,65	80,93	59,87	12,30	0,67
25	0,54	5,24	166,51	79,84	64,14	18,80	1,08	79,76	64,46	18,80	1,08	77,95	71,86	17,60	1,14



Obr. 30 Hydrogramy povodí 1, 9 a 18 v letech při zaznamenané srážce z 24. 6. 2009

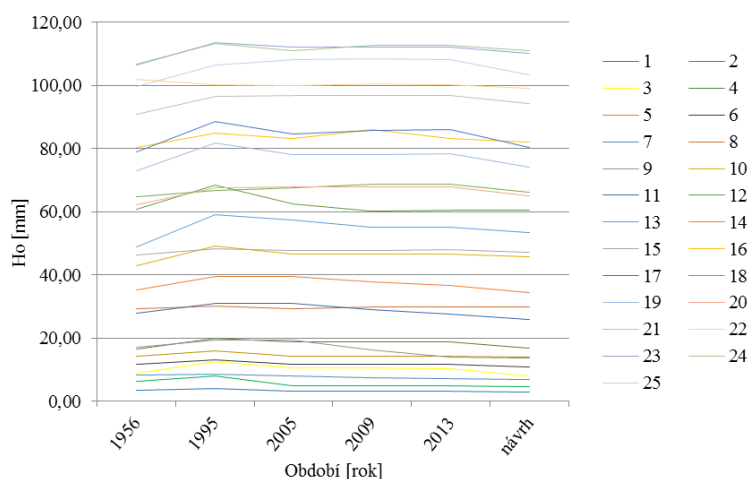


Obr. 31 Hydrogramy povodí 2, 13 a 25 v letech při zaznamenané srážce z 24. 6. 2009

Pro vynesení hydrogramů z časových řad bylo vybráno šest povodí závěrových profilů v povodí Luhy. Tři povodí vždy s totožnou plochou sběrného povodí a hodnotou čísla CN ve stejných řádech pro možné porovnání (obr. 30 a obr. 31). Tvar hydrogramu odpovídá srážkovým hodnotám spadlých právě nad územím povodí. Z jednotlivých hydrogramů v rozdílných letech pro povodí vyplývá zhodnocení, které nestanovuje stav krajinného pokryvu v povodí za zásadní faktor ovlivňující průběh výsledné povodňové situace na celém povodí Luhy. Dochází pouze k mírným upravám času a výšky kulminace průtoku v závěrovém profilu. Pro ochranu před povrchovým odtokem vyvolaným přívalovými srážkami je základem realizace technických ochranných opatření.

Výsledek je v souladu se závěry Daňhelka (2007), který dle stavu krajinného pokryvu určuje míru intercepce daného území a jeho infiltrační vlastnosti. Těmi je výrazně ovlivněna intenzita rychlé složky odtoku (přímý odtok). Pro vznik rychlého odtoku jsou nepříznivé zemědělské plochy bez dostatečného zapojení pěstovaných plodin chránících půdní povrch na počátku vegetační sezóny, jako jsou chmelnice, vinice, porosty kukuřice apod.

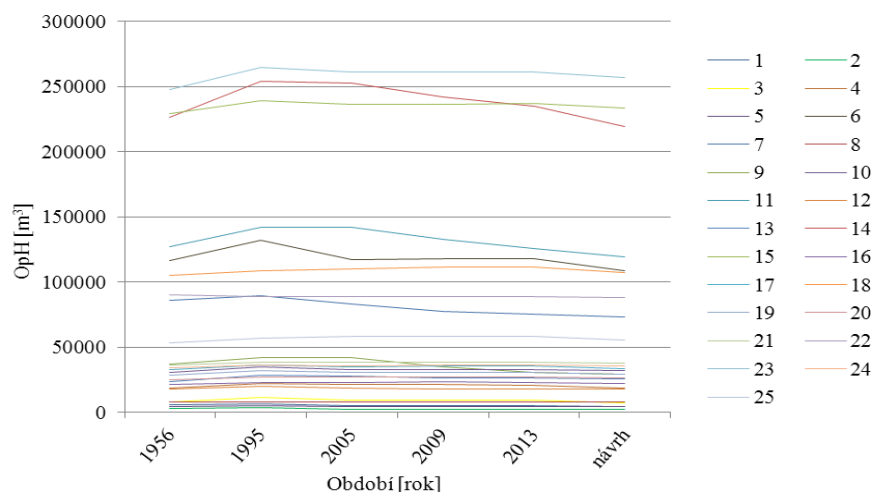
Při hodnocení skutečné proběhlé srážky ze dne 24. 6. 2009 nabývá hodnota výšky spadlé srážky H_s velké rozpětí průměrných hodnot na povodí, od 30 mm až 179 mm (tab. 33 a 34). Při srážkových úhrnech kolem $H_s = 100$ mm a uvažovaném předchozím nasycení povodí, které odpovídá naměřeným hodnotám srážkových úhrnů předchozích dní, dochází i k vysoké výšce přímého odtoku H_o . Ta u srážkou nejvíce zasažených povodí dosahuje hodnot kolem 100 mm, nejvyšší přímý odtok H_o byl stanoven v povodích 23 a 24, a to až 113 mm (obr. 32).



Obr. 32 Průběh změny výšky přímého odtoku H_o při různém krajinném pokryvu

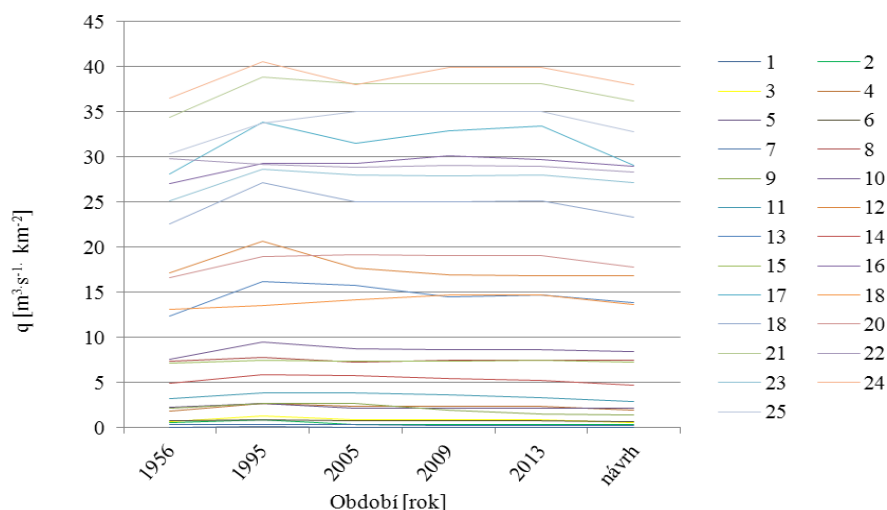
Získané maximální průtoky následně vstoupily dále do výpočtů podle postupů uvedených v kapitole 4.6 potenciální retence A (mm), doby koncentrace povodí T_c (hod), skutečné výšky povrchového odtoku H_o (mm) a objemu přímého odtoku OpH (m^3) a ke stanovení jednotkového specifického odtoku q ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$) z povodí.

Množství přímého odtoku O_{pH} při posuzované srážce je u více jak poloviny studovaných povodí do 50 tisíc m^3 (obr. 33). Extrémních hodnot okolo 250 tisíc m^3 dosahuje přímý odtok z povodí 14, 15 a 23, ve kterém se odráží kombinace výšky spadlé srážky a stavu využití krajiny.



Obr. 33 Zobrazení objemu přímého odtoku O_{pH} při různém krajinném pokryvu

U 50 % povodí nedojde k jednotkovému specifickému odtoku q vyššímu než $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (obr. 34). U povodí 17, 21, 24 a 25 dosahuje jednotkový specifický odtok nejvyšších hodnot a to v rozmezí mezi 30 a $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Vývoj jednotkového specifického odtoku q je lineární, vývoj změny krajinného pokryvu, který na území nastal, má pouze minimální vliv na hodnotu tohoto parametru odtoku při takovéto srážkové epizodě. Tvzení podporují i obdobné lineární průběhy přímého odtoku a výšky přímého odtoku v jednotlivých krajinných stavech v průběhu zkoumaných let.



Obr. 34 Průběh vývoje jednotkového specifického odtoku q při různém krajinném pokryvu

Švihla (1997) uvádí, že výsledkem dobře provedených úprav zvyšujících retenci vody v povodí je především zvýšení vyrovnanosti M-denních vod v závěrovém profilu povodí, které se projeví snížením jejich maxima a zvýšením jejich minima. Dalším projevem těchto úprav je snížení kulminace velkých vod z krátkodobých přívalových srážek velké intenzity a krátké doby trvání, což je samozřejmě závislé na plošném rozsahu provedených úprav v povodí.

5.4.2 Odtokové poměry v povodí při max. hodnotách 24hodinových srážek za rok v letech

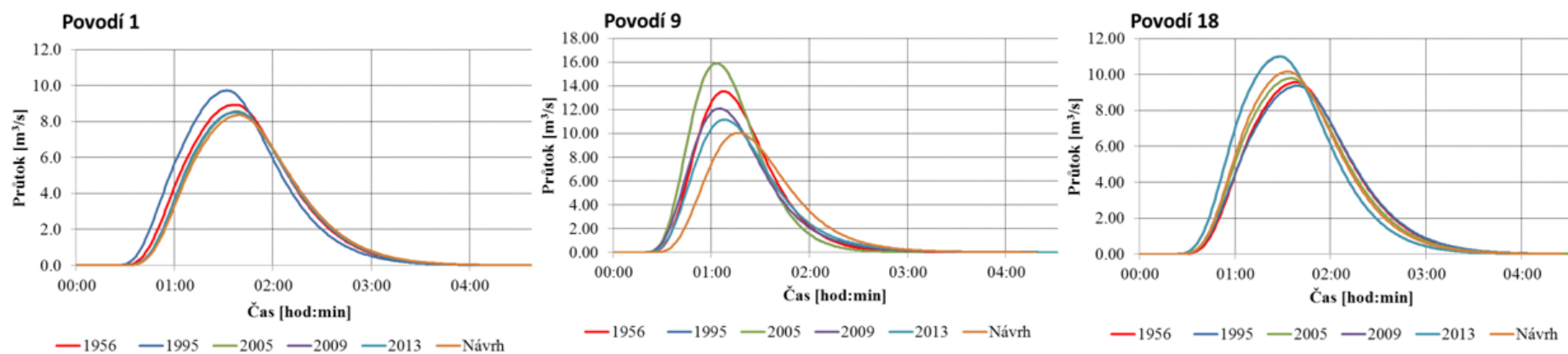
Druhým posuzovaným stavem modelem DesQ-MAXQ je zatížení všech povodí maximální hodnotou 24hodinových srážek. Rozdíly srážkových úhrnů na jednotlivá povodí jsou v těsnějším intervalu, od 83 do 106 mm, než tomu bylo u srážky skutečně naměřené v čase a místě. Jedná se o modelové vyhodnocení krajinného pokryvu vhodnější k posouzení jednotlivých povodí mezi sebou.

Tab. 35 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro max. hodnoty 24hodinových srážek za rok v letech 1956, 1995 a 2005

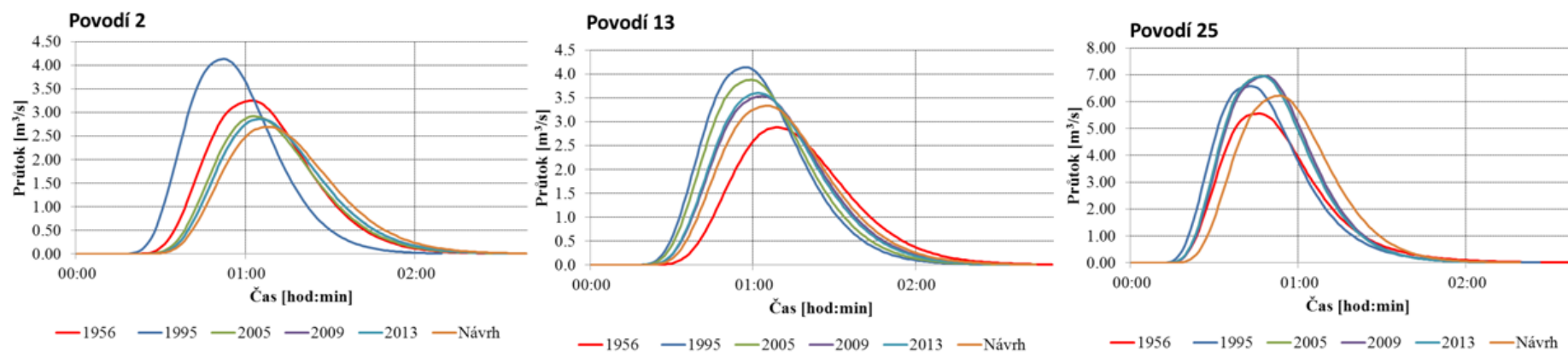
Číslo pov.	Plocha povodí [km ²]	Sklon povodí [%]	Hs max [mm]	1956				1995				2005			
				CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ s ⁻¹]	Tc [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ s ⁻¹]	Tc [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ s ⁻¹]	Tc [hod]
1	1,59	7,79	30,62	79,11	67,07	8,98	1,38	80,37	62,05	9,78	1,33	78,12	71,14	8,57	1,43
2	0,50	10,73	42,27	75,65	81,74	3,27	0,87	78,34	70,22	4,14	0,80	73,64	90,94	2,91	0,92
3	0,92	9,18	47,48	75,92	80,58	4,98	1,02	80,40	61,91	6,94	0,89	78,17	70,91	5,70	0,95
4	1,12	8,77	59,33	77,24	74,85	6,18	1,33	80,13	63,00	7,97	1,22	79,31	66,28	7,47	1,25
5	0,34	8,72	62,63	73,25	92,75	1,92	1,04	75,06	84,40	2,17	0,99	73,28	92,61	1,84	1,04
6	10,06	12,60	51,91	76,59	77,62	44,40	3,11	78,22	70,72	50,80	2,96	76,62	77,48	44,80	3,11
7	10,47	14,64	46,25	75,89	80,69	34,50	2,66	76,36	78,64	35,90	2,63	75,53	82,29	33,40	2,69
8	0,27	15,86	75,15	79,00	67,50	2,71	0,59	79,57	65,21	2,78	0,58	78,99	67,55	2,66	0,59
9	2,17	9,23	58,89	78,07	71,36	13,50	1,92	80,00	63,49	15,90	1,81	80,03	63,38	15,90	1,81
10	0,71	4,11	96,25	77,63	73,18	4,88	1,60	80,83	60,22	6,16	1,45	79,62	65,02	5,60	1,51
11	4,58	8,77	74,02	78,48	69,65	21,30	2,29	80,61	61,11	24,90	2,15	80,59	61,18	25,00	2,15
12	0,30	3,83	115,20	78,91	67,87	2,97	1,26	82,36	54,39	3,87	1,13	79,70	64,71	3,12	1,23
13	0,48	4,61	107,30	76,13	79,64	2,93	1,34	81,15	58,99	4,13	1,15	80,41	61,86	3,92	1,18
14	6,41	8,24	83,75	78,74	68,58	31,30	2,79	81,21	58,77	37,40	2,59	81,09	59,24	37,10	2,60
15	4,95	7,73	108,00	74,53	86,80	16,30	2,72	75,58	82,07	17,80	2,63	75,30	83,32	17,30	2,66
16	0,27	6,73	142,01	77,43	74,05	3,15	0,92	79,24	66,55	3,51	0,88	78,61	69,11	3,39	0,89
17	0,41	8,81	128,55	81,69	56,93	4,65	0,79	85,63	42,63	5,87	0,69	84,11	47,99	5,30	0,73
18	1,63	9,15	116,82	80,00	63,51	9,62	1,02	80,94	59,80	10,20	0,99	81,34	58,28	10,60	0,98
19	0,39	7,57	133,47	77,41	74,11	3,07	0,90	81,08	59,29	4,20	0,80	79,63	64,99	3,74	0,84
20	0,40	6,23	116,20	79,14	66,94	3,13	0,77	81,50	57,66	3,76	0,71	81,68	56,97	3,80	0,71
21	0,40	9,67	128,04	86,73	38,86	5,94	0,49	88,92	31,66	6,90	0,45	88,97	31,50	6,85	0,45
22	0,89	11,48	179,17	73,31	92,48	5,01	0,97	72,72	95,28	4,64	0,99	72,61	95,81	4,59	0,99
23	2,33	5,01	173,52	76,79	76,76	16,20	1,96	79,40	65,92	19,30	1,82	78,86	68,08	18,60	1,85
24	0,32	6,34	166,21	79,34	66,13	4,63	0,70	81,71	56,86	5,30	0,65	80,92	59,89	5,10	0,67
25	0,54	5,24	166,51	76,62	77,50	5,56	1,19	79,15	66,89	6,58	1,10	79,77	64,40	6,96	1,08

Tab. 36 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro max. hodnoty 24hodinových srážek za rok v letech 2009, 2013 a návrhový stav

Číslo pov.	Plocha povodí [km ²]	Sklon povodí [%]	Hs max [mm]	2009				2013				Návrhový stav			
				CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ s ⁻¹]	Tc [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ s ⁻¹]	Tc [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ s ⁻¹]	Tc [hod]
1	1,59	7,79	30,62	78,24	70,65	8,61	1,42	78,18	70,89	8,62	1,42	77,87	72,18	8,42	1,44
2	0,50	10,73	42,27	73,46	91,77	2,87	0,93	73,45	91,82	2,86	0,93	73,06	93,66	2,72	0,94
3	0,92	9,18	47,48	77,99	71,67	5,58	0,96	77,91	72,03	5,54	0,96	74,84	85,40	4,55	1,05
4	1,12	8,77	59,33	79,24	66,53	7,44	1,25	79,12	67,03	7,37	1,26	77,42	74,07	6,42	1,32
5	0,34	8,72	62,63	73,37	92,18	1,85	1,03	73,29	92,54	1,84	1,04	72,98	94,04	1,79	1,04
6	10,06	12,60	51,91	76,75	76,95	44,90	3,10	76,70	77,17	44,80	3,10	75,72	81,43	41,60	3,19
7	10,47	14,64	46,25	74,77	85,69	31,00	2,75	74,53	86,80	30,20	2,77	74,24	88,13	29,60	2,79
8	0,27	15,86	75,15	79,29	66,35	2,75	0,59	79,26	66,47	2,74	0,59	79,25	66,50	2,73	0,59
9	2,17	9,23	58,89	77,15	75,23	12,10	1,98	75,10	84,23	10,30	2,10	74,67	86,17	10,00	2,12
10	0,71	4,11	96,25	79,55	65,28	5,60	1,51	79,57	65,21	5,60	1,51	79,14	66,96	5,39	1,53
11	4,58	8,77	74,02	79,25	66,50	23,40	2,24	78,27	70,54	21,80	2,31	77,22	74,93	19,90	2,38
12	0,30	3,83	115,20	78,64	68,98	2,87	1,28	78,69	68,77	2,88	1,27	78,69	68,77	2,88	1,27
13	0,48	4,61	107,30	79,30	66,31	3,56	1,22	79,36	66,07	3,60	1,22	78,47	69,70	3,36	1,25
14	6,41	8,24	83,75	80,17	62,84	35,20	2,67	79,51	65,47	33,50	2,73	78,09	71,28	30,30	2,85
15	4,95	7,73	108,00	75,31	83,28	17,50	2,66	75,38	82,97	17,60	2,65	74,99	84,70	17,00	2,68
16	0,27	6,73	142,01	79,70	64,70	3,62	0,86	78,62	69,08	3,46	0,89	78,09	71,26	3,32	0,91
17	0,41	8,81	128,55	84,48	46,66	5,49	0,72	84,65	46,05	5,47	0,71	82,39	54,30	4,77	0,77
18	1,63	9,15	116,82	81,77	56,62	11,00	0,96	81,79	56,55	11,00	0,96	80,67	60,85	10,20	1,00
19	0,39	7,57	133,47	79,63	64,99	3,74	0,84	79,67	64,82	3,75	0,84	77,90	72,07	3,20	0,89
20	0,40	6,23	116,20	81,67	57,03	3,79	0,71	81,67	57,02	3,79	0,71	80,37	62,04	3,49	0,74
21	0,40	9,67	128,04	88,99	31,43	6,87	0,45	88,98	31,46	6,87	0,45	88,03	34,54	6,29	0,46
22	0,89	11,48	179,17	72,75	95,15	4,64	0,99	72,67	95,54	4,60	0,99	72,22	97,69	4,52	1,00
23	2,33	5,01	173,52	78,92	67,85	18,70	1,84	78,90	67,92	18,70	1,84	78,20	70,82	17,90	1,88
24	0,32	6,34	166,21	81,49	57,71	5,31	0,65	81,51	57,62	5,32	0,65	80,93	59,87	5,11	0,67
25	0,54	5,24	166,51	79,84	64,14	6,96	1,08	79,76	64,46	6,96	1,08	77,95	71,86	6,23	1,14



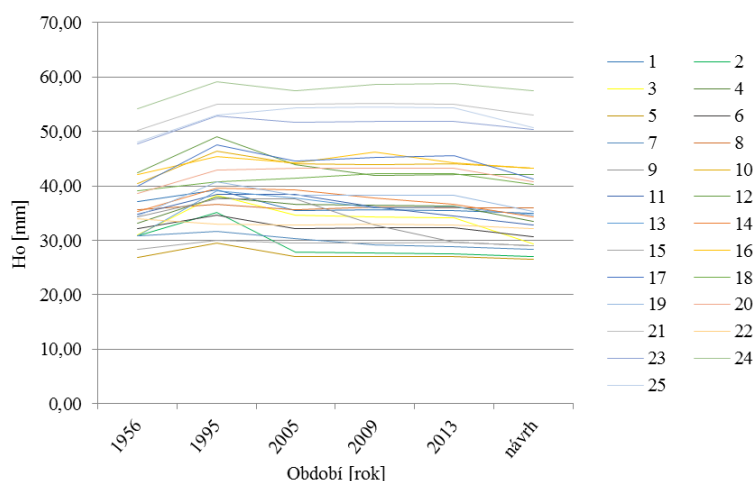
Obr. 35 Hydrogramy povodí 1, 9 a 18 v letech při max. hodnotách 24hodinových srážek za rok



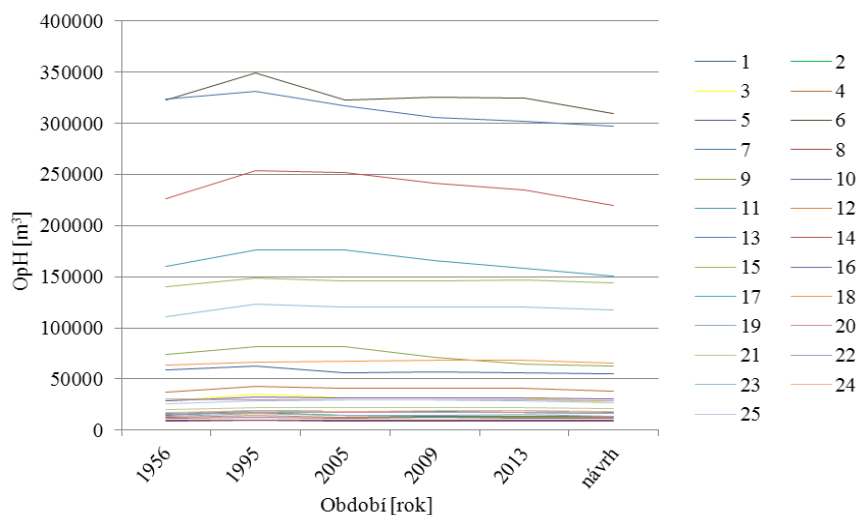
Obr. 36 Hydrogramy povodí 2, 13 a 25 v letech při max. hodnotách 24hodinových srážek za rok

Maximální průtoky závěrovými profily stanovené modelem DesQ-MAXQ pro zadané parametry povodí a srážkové epizody dosahují nejvyšších hodnot při krajinném pokryvu v letech devadesátých (tab. 35 a 36 a obr. 35 a 36). Pozitivní stav krajiny na odtokové poměry z let padesátých se pozvolným vývojem pokryvu po zlomovém zhoršení v devadesátých letech od roku 2005 vrací zpět.

Při vyrovnaných srážkových hodnotách dochází během let i u výšky přímého odtoku H_o (obr. 37) ke stabilnímu vývoji. V celém povodí Luhy je rozdíl výšek přímého odtoku posuzovaných povodí v intervalu o šířce 30 mm. Přitom u každého povodí je rozdíl výšek přímého odtoku v letech průměrně asi 4 mm.

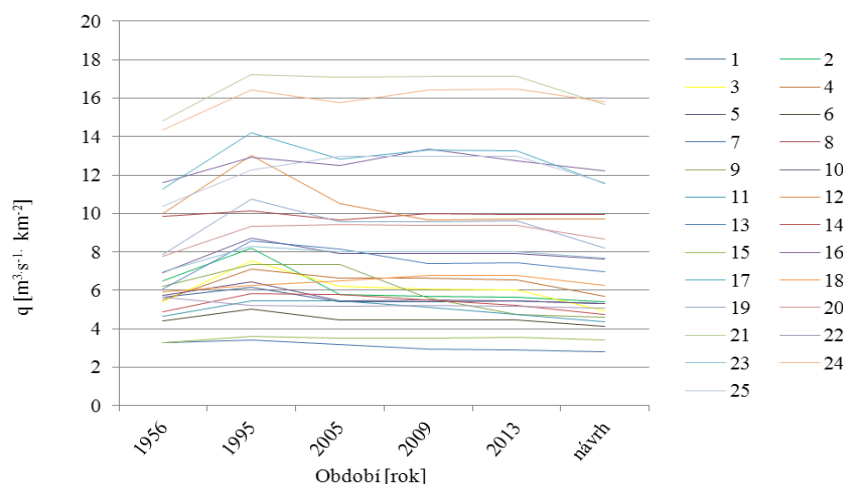


Obr. 37 Zobrazení výšky přímého odtoku H_o při různém krajinném pokryvu



Obr. 38 Zobrazení objemu přímého odtoku O_{pH} při různém krajinném pokryvu

Objem přímého odtoku O_{pH} u povodí 6 a 7 pohybující se nad 300 tisíce m^3 je nejvíce odlišný od hodnot objemu přímého odtoku zbylých tří čtvrtin studovaných povodí. U těchto povodí dosahuje objem přímého odtoku do 100 tisíc m^3 (obr. 38).



Obr. 39 Zobrazení jednotkového specifického odtok q při různém krajinném pokryvu

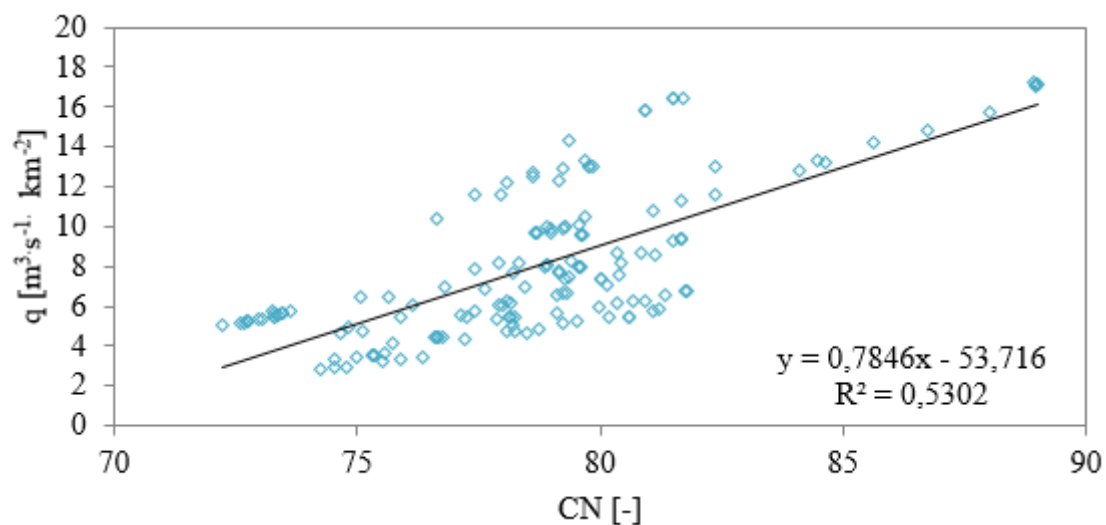
Zvýšením plošného rozsahu ochranných opatření v ploše povodí dojde prostřednictvím snížení hodnoty čísla CN ke zvýšení celkové přirozené retence povodí a jejích dvou hlavních složek - retence krátkodobé a dlouhodobé, čímž se zlepší schopnost krajiny zadržet srážky.

V důsledku zvýšení plošného rozsahu a intenzity protierozních opatření u varianty roku 2013 jsou dosaženy vyšší hodnoty snížení kulminačních průtoků a objemů odtoků ve srovnání s variantou z let devadesátých dvacátého století (Q_{ph} cca o 23 %, O_{ph} cca o 14 %).

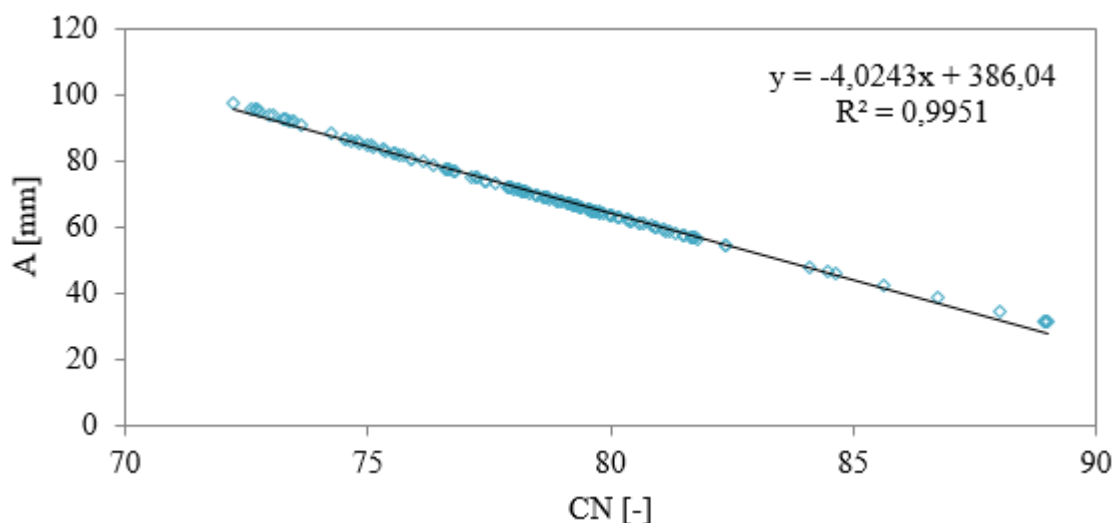
V práci dosažené výsledky jsou v souladu s prací (Podhrázká, 2001), kde autorka zmiňuje, že retenci povodí lze ovlivňovat především v závislosti na intenzitě a způsobech působení na svrchní vrstvy půdy tzn. intenzitě a způsobech agrotechnického zpracování. Dále dodává, že vlastnosti půdního prostředí jsou ovlivňovány i typem pěstovaných plodin. Toto tvrzení je zásadnější v případech regionálních srážek, nikoliv srážek přívalových.

Získaná data byla podrobena regresní analýze za účelem stanovení významnosti nezávisle proměnné v podobě čísla CN na tvorbě povrchového odtoku. Bylo zjištěno, že 53 % variability čísla CN ovlivňuje jednotkový specifický odtok q (obr. 40).

99,5 % závislost čísla CN na potenciační retenci v povodích je stanovena z výsledných hodnot. Z výsledku vyplývá, že velikost hodnoty potenciační retence se zvyšuje s poměrným plošným zastoupením trvalých travních porostů a lesů a naopak se snižuje s poměrným plošným zastoupením intravilánu.



Obr. 40 Závislost jednotkového specifického odtoku q na čísle CN



Obr. 41 Závislost potenciální retence A na čísle CN

5.5 Srážko-odtokové modelování – HEC-HMS

Konkrétní změny krajiny v povodí Luhy byly simulací v modelu podrobeny skutečné přívalové srážce, která v červnu 2009 způsobila povodňovou situaci na povodí. Srážková data pocházela ze dvou srážkoměrných stanic, stanice Běloutín ležící přímo v povodí, a stanice Hodslavice nacházející se východně od hranice povodí.

Z pohledu 3hodinových a 6hodinových úhrnů postihla nejextrémnější srážka stanicí Běloutín dne 24. 6. 2009 mezi 18:00 a 22:00 (114,5 mm za 3 h, 122,5 mm za 6 h a 123,5 mm za 24 h). Uvedený úhrn výrazně překročil hodnotu odhadu stoleté srážky, který činí 61 mm za 6 h. Téměř veškerý srážkový úhrn zde tedy vypadl během 3 hodin. Nejvyšší hodinový úhrn na této stanici ale činil „pouze“ 46,0 mm, tj. na úrovni 50tileté srážky, nejvyšší patnáctiminutový úhrn na této stanici nedosáhl ani doby opakování 10 let (Sandev a kol., 2009).

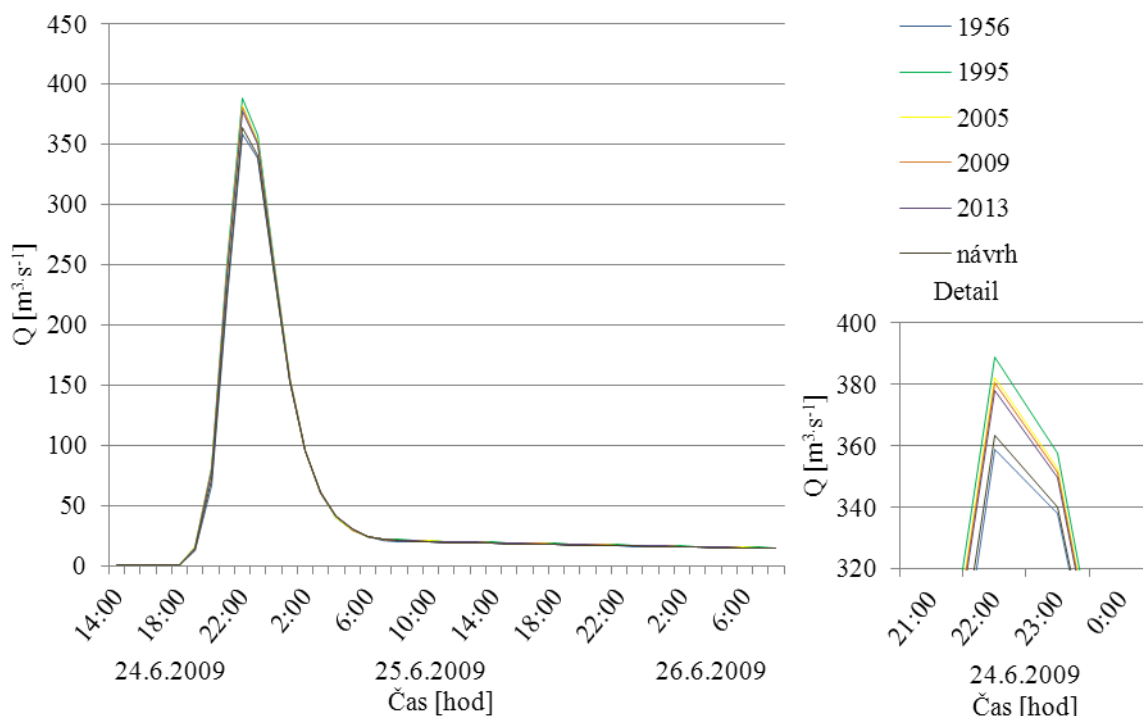
Za řešené období 24. 6. 2009 až 26. 6. 2009 byl na stanici Bělotín automatickým srážkoměrem naměřen celkový úhrn 123,5 mm v hodinových krocích, zatím co na stanici Hodslavice činil úhrn za stejné období 84,1 mm.

Byl zjištěn vliv vývoje skutečného krajinného pokryvu při skutečné události na odtokové poměry a retenci povodí. Po sestavení a vložení všech potřebných metod a parametrů do modelu HEC-HMS dle kapitoly 4. 5. byly z modelu získány výsledné časové řady pro jednotlivá časová období, ze kterých byly v tabulkovém procesoru vyneseny výsledné hydrogramy ve formátu umožňujícím porovnání jednotlivých odtokových epizod (obr. 42 a obr. 43).

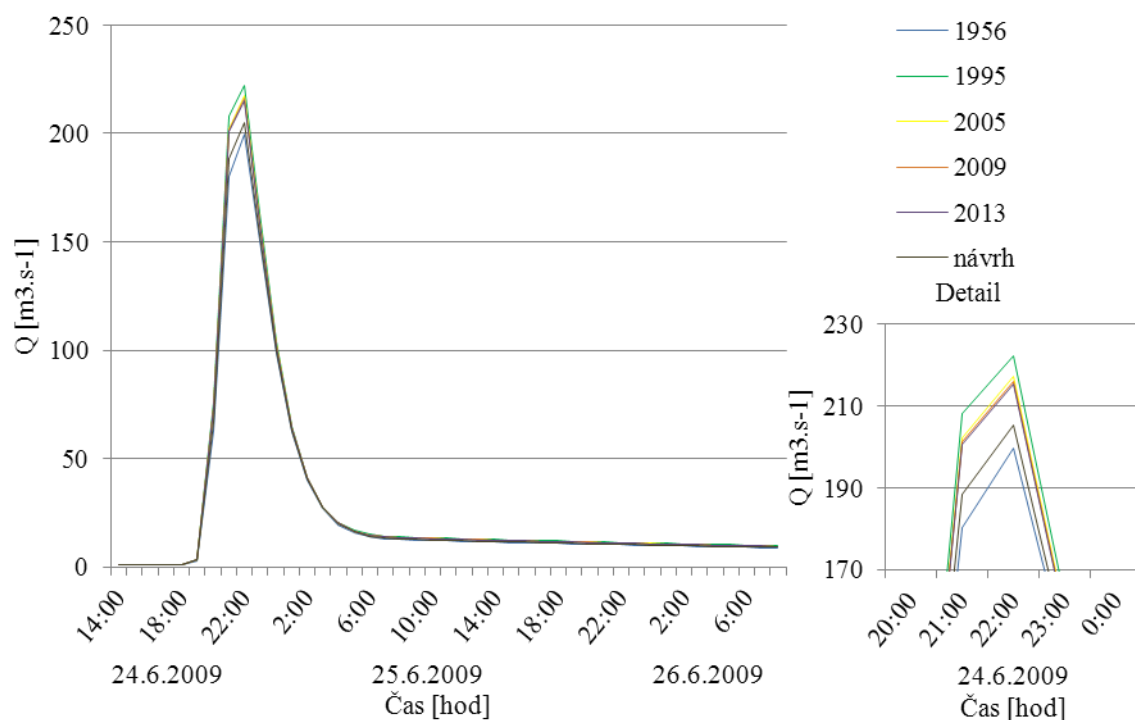
Vrchol kulminace povodně ze srážek naměřených na rozdílných stanicích proběhl dle simulace ve stejném časovém kroku s rozdílnou hodnotou průtoku vyplývající z hodnot naměřených srážek, což svědčí o stejném průběhu povodňové vlny z naměřených srážek. Zásadním se stává výše srážek a následného odtoku z povodí.

Rok 2009, rok skutečné povodňové epizody, byl podle vyhodnocení modelu rokem s třetí nejvyšší kulminací. Podle vygenerovaných časových řad byly z porovnávaných stavů krajiny více nepříznivé pouze roky 1991 a 2005. Tento trend působí pro vývoj krajiny příznivě a přináší pozitivní informaci i v povodích, na kterých nebyla doposud ani realizována ve větší míře KPÚ.

Při práci navrženém stavu ochrany krajinného pokryvu došlo ke snížení vrcholu kulminace povodně jen minimálně převyšujícího kulminaci krajinného pokryvu z roku 1954. Stav krajiny, který je stavem nejprůzračnějším z daných krajinných pokryvů.



Obr. 42 Výsledné hydrogramy pro srážku ze stanice Bělotín



Obr. 43 Výsledné hydrogramy pro srážku ze stanice Hodslavice

5.6 Vyhodnocení území povodí VN Hubenov

V povodí byly v letech 1997-2003 vypracovány projekty KPÚ pro jednotlivá k. ú. a byly vypracovány realizační projekty prvků plánů společných zařízení KPÚ (tab. 37). V některých katastrech v povodí nádrže byly realizovány KPÚ a v rámci společných zařízení KPÚ byla vybudována řada protierozních mezí, rybníků, byl zvýšen rozsah zatravnění. Jde o katastry Hubenov, Dušejov, Ježená, Zbilidy, Mirošov, Hojkov, Milíčov, Boršov, Rantířov, Dvorce u Jihlavy, Cejle a Dudín.

Pro stanovení skladby krajinných pokryvů v letech 1954 až 2013 v povodí VN Hubenov bylo s dostatečnou přesností použity vrstvy stanovené dle postupu uvedeného v kapitole 4.1, ze kterých se pomocí zonální statistiky určila pro každý stav krajinného pokryvu plocha a procentuální zastoupení jednotlivých druhů využití krajiny. K určení došlo i pro navržený stav krajinného pokryvu, který byl tvořen s ohledem na ochranu krajiny a zároveň i na skutečnou realizaci navržených opatření s ohledem na jejich nákladnost.

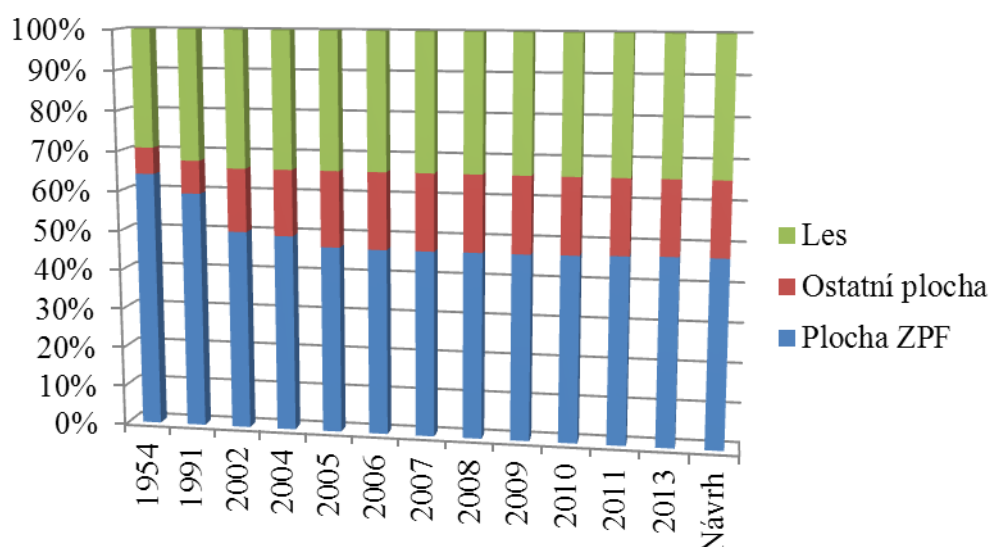
Tab. 37 Stav KPÚ v povodí VN Hubenov

Název katastrálního území	Stav KPÚ	Datum ukončení (vydání druhého rozhodnutí)	Datum zapsání do KN
Hubenov	ukončené	3.12.2001	19.12.2001
Boršov	ukončené	15.8.2003	22.8.2003
Rantířov	ukončené	26.6.2006	4.8.2006
Dvorce u Jihlavy	ukončené	3.6.2003	17.7.2003
Mirošov u Jihlavy	ukončené	21.6.2001	12.9.2001
Ježená	ukončené	27.6.2003	3.7.2003
Dušejov	ukončené	17.9.2001	6.11.2001
Cejle	ukončené	29.10.2001	15.11.2001
Hojkov	ukončené	12.4.2006	17.5.2006
Milíčov u Jihlavy	ukončené	24.6.2002	15.7.2002
Dudín	ukončené	5.1.2011	20.1.2011
Kostelec u Jihlavy	zahájené	11.11.2011	15.11.2011
Zbilidy	ukončené	10.11.2003	26.11.2003

Okolí VN Hubenov je kulturní krajina silně antropicky ovlivněná. Jde o esteticky poměrně vyváženou krajinu, ekologicky však nestabilní. Značná devastace proběhla při scelování pozemků do větších honů. Došlo k velkému rozorávání mezí, scelování pozemků, rušení rozptýlené zeleně. Nejvýraznějším zásahem do krajiny (jejích retenčních schopností i estetického vzhledu) byly provedené odvodňovací akce, při kterých byly odvodněny značné plochy luk a mokřadů. Nepříznivý vliv v území má i nekosení stávajících vlhkých nebo mokrých luk. Tyto plochy vyžadují extenzivní způsob obhospodařování, které přináší pouze nízkou rentabilitu zemědělské výroby.

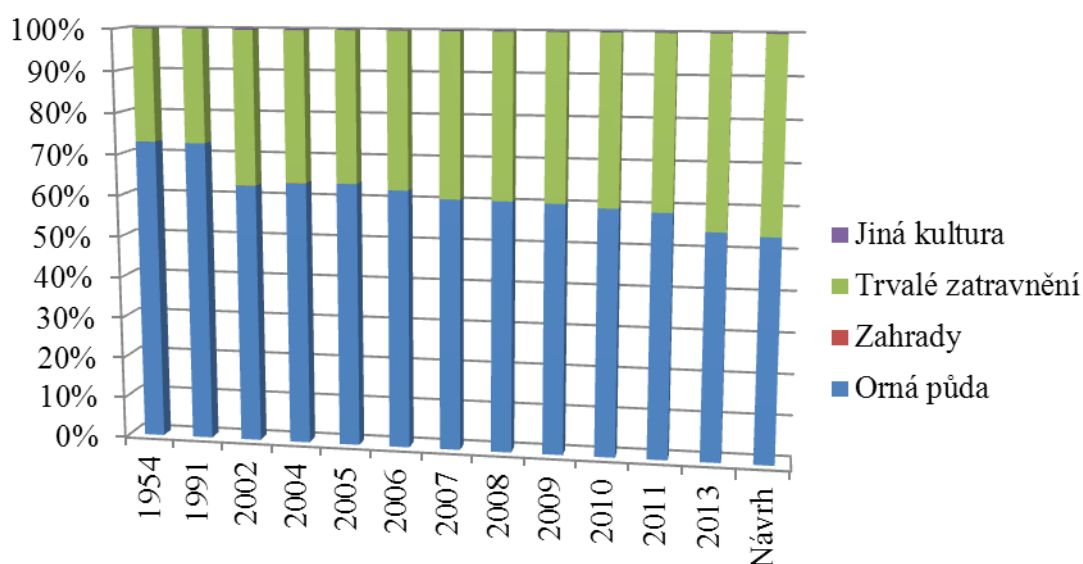
Z hlediska krajinářského je území VN Hubenov územím kulturní zemědělsko-lesní krajiny. V povodí převažuje zemědělská půda.

Pozemky součástí ZPF zaujímají od roku 2006 stabilní plochu 22,95 km². Ve srovnání s rokem 1954 jde o 5 % snížení těchto ploch v povodí. V plošné výměře lesních ploch nedochází k velkým změnám. V nejstarším studovaném období činila lesní plocha 14,0 km² po roce 1991 došlo k ustálení rozlohy lesního porostu na 15,3 km². Podíl lesních ploch v povodí ve všech letech tak činí 30,0–32,0 %. V průběhu sledovaných let od roku 1954 po rok 2013 došlo na povodí k očekávanému nárůstu ostatních ploch zahrnujících zastavěná území, komunikace, železnice, ale i vodní toky, vodní plochy a některou doprovodnou zeleň podél těchto prvků na trojnásobek.



Obr. 44 Procentuální zastoupení jednotlivých druhů krajinného pokryvu v daných letech v povodí VN Hubenov v letech

Zásadním pro hodnocení v rámci práce je podíl jednotlivých ploch v rámci ZPF (obr. 45). Plochy kategorie zahrada a jiná kultura jsou v rámci procentuálního zastoupení ploch v povodí zanedbatelné, zaujímají plochu 5,8 ha a to jen v letech 2002 a 2004. Rozhodující ztrátu půdy je podíl ploch zorněných a trvale zatravněných. Plocha orné půdy v povodí neustále ustupuje plochám zatravněným, a to z původního poměru ploch 7:3 na poměr prakticky 1:1. Plošně činí rozdíl výměry orné půdy 960 ha.



Obr. 45 Podíly ploch jednotlivých kultur v rámci ZPF v daných letech v povodí VN Hubenov

Tab. 38 Skladba krajinného pokryvu v letech na povodí VN Hubenov

Využití krajiny	Kód využití	Plošná výměra [ha]						
		1954	1991	2002	2004	2005	2006	2007
Nedefinované	0	0,00	0,00	47,94	10,25	0,00	0,00	0,00
Orná půda	2	2228,49	2061,11	1548,25	1546,68	1473,46	1436,14	1394,37
Zahrady	5	1,22	0,00	2,33	2,24	0,00	0,00	0,00
Trvalé zatravnění	7	827,35	772,34	912,49	878,83	834,57	858,73	899,52
Jiná kultura	9	0,00	0,00	3,59	3,59	0,00	0,00	1,21
Ostatní plocha	15,30	314,47	393,04	728,13	801,15	934,01	947,17	945,41
Zalesněno	99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,69	2,22
Les	21	1397,98	1543,02	1526,78	1526,78	1526,78	1526,78	1526,78
Plocha ZPF		3057,06	2833,45	2466,66	2431,34	2308,03	2294,87	2295,11

Tab. 39 Skladba krajinného pokryvu v letech na povodí VN Hubenov

Využití krajiny	Kód využití	Plošná výměra [ha]					
		2008	2009	2010	2011	2013	Návrh
Nedefinované	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Orná půda	2	1392,04	1384,03	1369,31	1360,70	1269,05	1250,52
Zahrady	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Trvalé zatravnění	7	904,34	909,30	929,35	949,07	1050,63	1068,85
Jiná kultura	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20
Ostatní plocha	15,30	942,92	943,35	937,46	926,35	916,24	916,54
Zalesněno	99	3,43	6,06	6,62	6,62	6,62	6,62
Les	21	1526,78	1526,78	1526,78	1526,78	1526,78	1526,78
Plocha ZPF		2296,38	2293,32	2298,66	2309,77	2319,87	2319,57

5.7 Návrh ochranných opatření v povodí VN Hubenov

Velmi pozitivním doprovodným efektem realizace ochranných opatření (navržené liniové biotechnické prvky jsou navrhovány s doprovodným ozeleněním) je zvýšení ekologické stability území.

Lokalita VN Hubenov je z důvodu jejího využití jako zdroje pitné vody součástí různých šetření již od poloviny 90. let devatenáctého století. Studii Návrh a ověření opatření pro komplexní ochranu vodních zdrojů na modelovém povodí nádrže navrhuující ochranu území pomocí návrhu protierozních a protipovodňových opatření a zajištění vstupních podkladů pro možnost rychlého a zároveň kvalitního návrhu KPÚ ve všech povodích ovlivňujících kvalitu vody v nádrži. Tuto studii prováděl v letech 1995 a 1996 VÚMOP Praha, pobočka Brno (dnes VÚMOP, v.v.i.). V době studie byla zahájena KPÚ na k. ú. Ježená, Boršov, Dušejov a Hubenov (Dumbrovský a kol., 1996).

VÚMOP Praha (dnes VÚMOP, v.v.i.) i dále pokračoval na řešení KPÚ a návrhu ochranných pásem nádrže ve výzkumném záměru VMZE0002704901 - Zmírnění nepříznivých přírodních a antropogenních vlivů na půdu a vodu probíhajícího v letech 2004-2008 na MZE. Výsledkem věcné etapy 06 s názvem záměru „Hodnocení účinnosti ochrany povodí před škodlivými účinky povrchového odtoku opatřeními pozemkových úprav.“ Byl monitoring účinnosti KPÚ v oblastech s vodohospodářskými zájmy.

Řešení lokality bylo zahrnuto i do výzkumného záměru MZE 0002704902 Integrované systémy ochrany a využití půdy, vody a krajiny v zemědělství a rozvoji venkova probíhajícího v letech 2009–2013 taktéž na VÚMOP, v.v.i. a tamtéž řešeného projektu QI92A012 Hodnocení realizací protierozních a vodohospodářských zařízení v KPÚ z pohledu ochrany a tvorby zemědělské krajiny řešeného v letech 2009–2013.

Tato práce se snaží k návrhu protierozních a protipovodňových opatření k ochraně území přistupovat samostatně a klade si za cíl vytvořit komplexní co nejideálnější návrh bez omezení vznikajících v rámci KPÚ. Avšak za podmínek využitelnosti a udržení případných finančních nákladů u následné realizace na ucházející úrovni. Návrh je zaměřen převážně na organizační a agrotechnická opatření v ploše povodí pouze doplněná technickými a biotechnickými opatřeními v rizikových místech území.

Tab. 40 Plošné výměry navržených opatření

Ochranné opatření	Plocha [ha]
Protierozní meze	0,58
Vyloučení erozně nebezpečných plodin	94,16
Trvalý travní porost	12,96
Stabilizace dráhy soustředěného odtoku	3,09
Travní pás	2,21

Přestože nelze jednoznačně určit míru vlivu ochranných opatření na kvalitu vody ve vodárenské nádrži Hubenov, je možné konstatovat lokální význam těchto opatření ke

zmírnění erozních rizik a v neposlední řadě i význam krajínovotvorný, sloužící k obnově ekologické stability.

5.8 Stanovení erozního ohrožení na povodí VN Hubenov

K určení erozní ohroženosti na povodí byly využity dva způsoby vyhodnocení, výpočet pomocí programu ArcGIS a vyhodnocení modelem WEPP. Stejně jako u povodí Luhy bylo vyhodnocení míry erozní ohroženosti pozemků (se specifikací ploch přímo ohrožujících zastavěnou část obcí) řešeno s přesností na pozemky.

5.8.1 Ztráta půdy v povodí VN Hubenov stanovená pomocí programu ArcGIS

Míra erozního ohrožení na povodí VN Hubenov stanovená podle výše specifikovaného postupu (kapitola 4.4) byla vypočtena pro krajinné pokryvy ve čtyřech hlavních obdobích, rok 1954, 1991, dnešní stav a stav návrhový. Dnešní stav byl vyhodnocený podrobně pro roky 2002, 2004 až 2011 a rok 2013.

Výslednou průměrnou ztrátu půdy na povodí (tab. 41) ovlivňuje plošná výměra ZPF v jednotlivých letech a její využití. Přípustná ztráta půdy $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$, jejíž hodnota je dána především z hlediska dlouhodobého zachování funkcí půdy a její úrodnosti dle metodiky Janeček a kol. (2012), byla u průměrných hodnot ztráty půdy na celé studované povodí překročena v letech 2002 až 2006. Přitom docházelo k odnosu z plochy povodí přesahujícímu $9,4 \text{ tisíc t rok}^{-1}$.

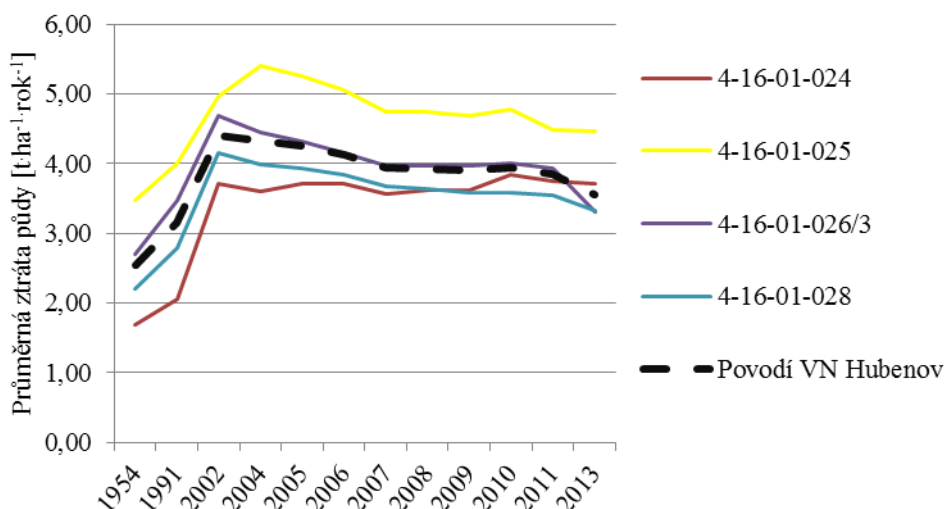
Tab. 41 Průměrná ztráta půdy na celé povodí VN Hubenov

Rok	Plocha povodí [ha]	Plocha ZPF [ha]	Průměrná ztráta půdy [$\text{t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$]	Průměrná ztráta půdy z plochy povodí [t rok^{-1}]
1954	4769,51	3057,06	2,54	7758,82
1991		2833,45	3,14	8905,53
2002		2466,66	4,41	10870,58
2004		2431,34	4,33	10534,98
2005		2308,03	4,26	9822,99
2006		2294,87	4,13	9482,42
2007		2295,11	3,94	9035,84
2008		2296,38	3,93	9024,78
2009		2293,32	3,90	8943,97
2010		2298,66	3,95	9072,81
2011		2309,77	3,85	8890,30
2013		2319,87	3,55	8242,51
Návrh		2319,57	3,01	6981,91

Průměrná ztráta půdy v jednotlivých povodích IV. řádu koresponduje s průměrnými hodnotami za celé povodí VN Hubenov. Po stanovení průměrné ztráty půdy pro plochy povodí IV. řádu lze za problematické označit povodí 4-16-01-025, které největší měrou způsobuje nevyhovující hodnoty ztráty půdy (tab. 43). Na ploše $7,47 \text{ km}^2$ klesne průměrná ztráta půdy pod přípustnou hodnotu $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ pouze při krajinném pokryvu z let

padesátých dvacátého století a při navržených ochranných opatřeních. Vyšší průměrné hodnoty ztráty půdy v povodí 4-16-01-025 jsou způsobeny vyšším zastoupením ploch orné půdy zaujímající asi 30 % plochy povodí a nacházejí se zároveň na sklonitých svazích (dvě třetiny ploch mají sklon svahu 7 % a více). Mezi léty 2002 až 2006 dochází k nárůstu odnosu nad povolený limit i u povodí 4-16-01-026/3.

Vývojový trend hodnot ztráty půdy v jednotlivých povodích a následně i v celém povodí je po prudkém, průměrně dvojnásobném, nárůstu do roku 2002 pozitivní. Klesající hodnoty nejsou zaznamenány pouze u povodí 4-16-01-024 s 50 % podílem lesních ploch a jen nepatrně se měnící rozlohou ploch ZPF.



Obr. 46 Vývoj průměrné hodnoty ztráty půdy v povodích IV. řádu VN Hubenov

V rámci jednotlivých krajinných pokryvu v povodí VN Hubenov byl v průběhu let pomocí KPÚ navrhován a následně i realizován celý systém organizačních a agrotechnických opatření, jehož pozitivní výsledky projevující se snížením ztráty půdy a také snížením kulminačního průtoku a objemu přímého odtoku jsou v souladu s pracemi (Soukup, Hrádek, 1999), kteří uvádějí souvislosti mezi pěstovanými plodinami a retenční schopností povodí i způsobem agrotechnického obdělávání půdy. Jak tito autoři dále uvádějí, všemi těmito prostředky lze zlepšovat retenci vody a ovlivňovat tak transformaci povodňové vlny, i když mají každý jinou účinnost i ekonomickou náročnost.

Dalším krokem byla kvantifikace ztráty půdy podle SEOP (tab. 42). Od roku 1954 s postupujícím časem přibývá půd slabě a středně ohrožených. V povodích spádové oblasti VN Hubenov je pozitivní bilance u půd silně erodovaných vyskytujících se na orné půdě v minimálním poměru. Nejvíce, a to 10,6 ha, je v této kategorii okolo roku 2005, následuje pozvolné snížení v roce 2013 na 8,6 ha. Návrhový stav přináší vylepšení u nejvíce erozně ohrožených půd, tedy půd středně a silně erodovaných.

Tab. 42 Míra poškození zemědělských půd ztrátou půdy na povodí VN Hubenov

Rok	Neohrožené až velmi slabě erodované		Slabě erodované		Středně erodované		Silně erodované	
	do 4 t.ha ⁻¹		4 t.ha ⁻¹ – 10 t.ha ⁻¹		10 t.ha ⁻¹ – 30 t.ha ⁻¹		nad 30 t.ha ⁻¹	
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]
1954	2208,52	79,64	472,77	17,05	89,38	3,22	2,38	0,09
1991	1952,24	72,25	597,70	22,12	147,33	5,45	4,84	0,18
2005	1406,33	61,87	590,92	26,00	265,24	11,67	10,63	0,47
2013	1575,96	68,38	502,50	21,80	217,58	9,44	8,64	0,37
Návrh	1615,73	70,11	537,07	23,31	150,47	6,53	1,18	0,05

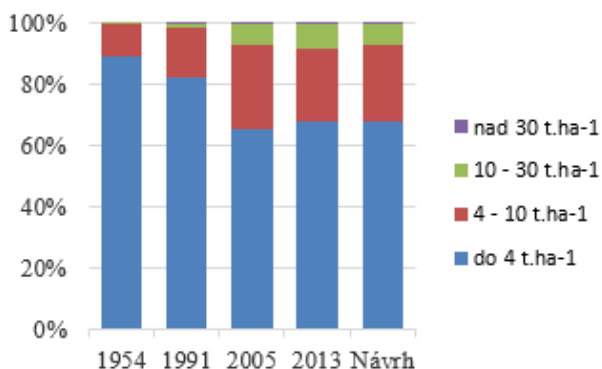
Tab. 43 Průměrná ztráta půdy z povodí IV. řádu v povodí VN Hubenov

ČHP	Plocha povodí [km ²]	Průměrná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]												
		1954	1991	2002	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2013	Návrh
4-16-01-024	6,47	1,68	2,05	3,70	3,59	3,71	3,70	3,57	3,62	3,62	3,84	3,74	3,71	3,45
4-16-01-025	7,47	3,48	4,00	4,97	5,40	5,25	5,05	4,74	4,74	4,68	4,77	4,49	4,46	3,45
4-16-01-026/3	13,71	2,70	3,48	4,68	4,46	4,32	4,16	3,97	3,96	3,98	4,00	3,93	3,30	2,73
4-16-01-028	20,04	2,20	2,79	4,15	3,99	3,93	3,84	3,67	3,64	3,58	3,57	3,54	3,33	2,93
Povodí VN Hubenov	47,70	2,54	3,14	4,41	4,33	4,26	4,13	3,94	3,93	3,90	3,95	3,85	3,55	3,01

V rámci jednotlivých povodí IV. řádu jsou kategorie SEOP rozděleny podobnými poměry, jako u výsledků pro celé povodí VN Hubenov. Bilance jednotlivých kategorií v povodích vyšla v jednotlivých letech vyrovnaná. Z grafického zobrazení podílů jednotlivých kategorií ohroženosti je patrné navýšení erozně ohroženějších oblastí pro rok 2005. Zajímavý je vývoj středně a silně erozně ohrožených kategorií u povodí 4-16-01-024, kde došlo k neustálému nárůstu erodovaných ploch i pro rok 2013.

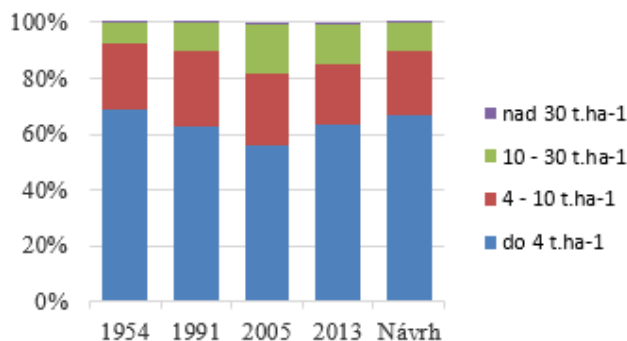
Tab. 44 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 4-16-01-024

Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4-10 t.ha ⁻¹ [ha]	10-30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1954	269,00	31,32	1,65	0,00
1991	251,11	48,25	4,83	0,09
2005	165,63	70,08	18,16	0,28
2013	179,63	63,50	21,32	1,08
Návrh	181,03	65,60	18,56	0,40



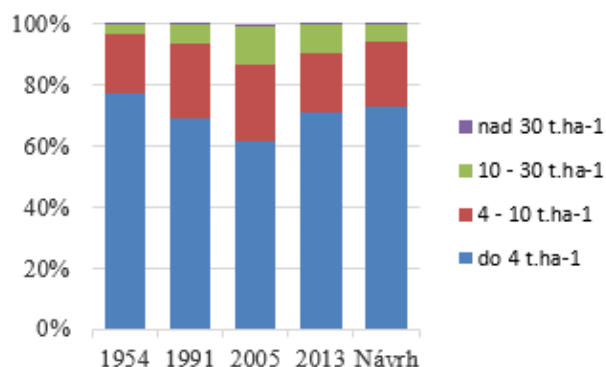
Tab. 45 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 4-16-01-025

Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4 - 10 t.ha ⁻¹ [ha]	10 - 30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1954	345,73	119,26	35,93	0,58
1991	303,69	128,96	48,90	1,08
2005	216,66	99,38	66,08	3,79
2013	246,17	82,22	55,59	3,46
Návrh	258,93	89,52	38,95	0,13

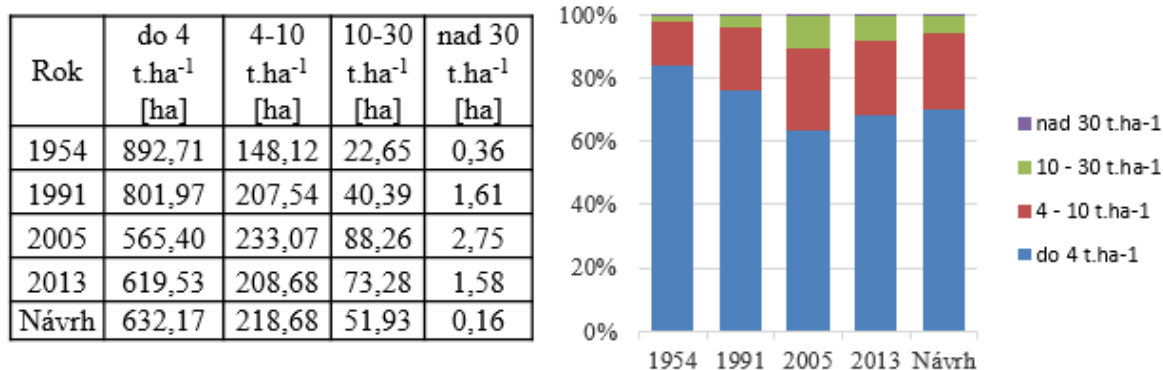


Tab. 46 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 4-16-01-026/3

Rok	do 4 t.ha ⁻¹ [ha]	4-10 t.ha ⁻¹ [ha]	10-30 t.ha ⁻¹ [ha]	nad 30 t.ha ⁻¹ [ha]
1954	701,09	174,08	29,15	1,44
1991	595,47	212,97	53,21	2,07
2005	458,64	188,39	92,75	3,81
2013	530,64	148,10	67,39	2,52
Návrh	543,61	163,28	41,03	0,50



Tab. 47 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 4-16-01-028



Ze stanovených průměrných hodnot ztráty půdy na povodí závěrových profilů rozhodujících z hlediska tvorby povrchového odtoku dochází k více jak šesti tunovým odnosům z hektaru za rok z povodí 6, jedná se o erozně nejohroženější povodí o ploše 0,78 km² s vysokým podílem zemědělsky využívaných ploch. K překročení přípustných ztrát půdy v průběhu let nedocházelo v povodích č. 2, 5, 8, 9 a 15. Nejnižší ztráta půdy průměrně 1,16 t.ha⁻¹.rok⁻¹ je hodnota stanovená u povodí 2.

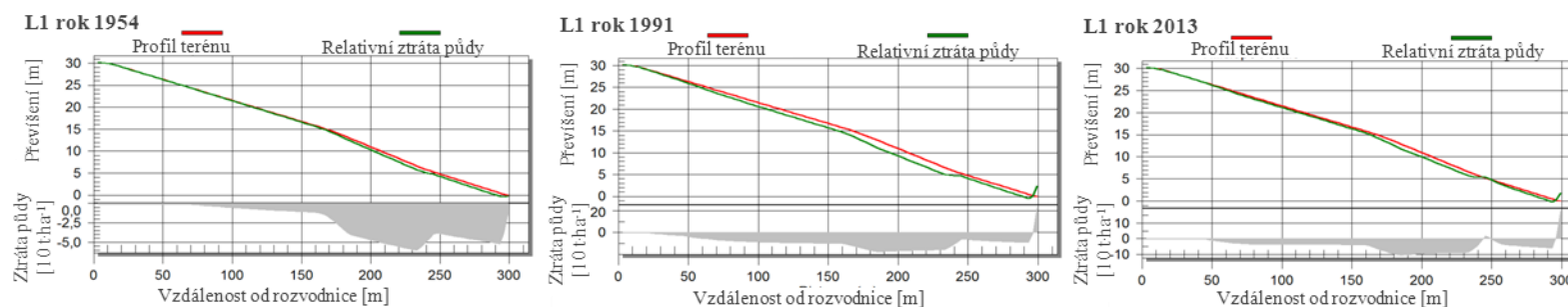
5.8.2 Ztráta půdy v povodí VN Hubenov stanovená modelem WEPP

Modelem WEPP bylo na studovaném území VN Hubenov vyhodnoceno 7 odtokových linií. V rámci profilů linií a jejich definovaných morfologických parametrů a po zadání sledu agrooperací byla zjištěna úroveň modelové ztráty půdy pro tři stavy odpovídající letům 1954, 1991 a 2013 (tab. 48). Z grafického zobrazení hodnot (obr. 47 až 53) vypočítané modelové ztráty půdy je vidět pokles, případně nárůst ztráty půdy. Při krajinném pokryvu nejstaršího posuzovaného stavu z roku 1954 je patrný maximální odnos ve výši od 30 do 50 t.ha⁻¹ až na linii L4, kde model stanovil nevyšší ztrátu na konci linie ve výši až 100 t.ha⁻¹. Odnos v roce 1954 začíná na svahu od rozvodnice pozvolněji než v letech následujících, což má za následek celkově nejprůzračnější hodnoty modelové ztráty půdy ze zkoumaných let. U linie L7 se strmějším počátečním svahem k odnosu dochází již na 43 metru od rozvodnice. Z grafů jednoznačně čitelná místa maximálních odnosů na linii model stanovil v roce 1954 ve spodní třetině všech posuzovaných svahů a u vyšších ztrát půd v ostatních posuzovaných letech se maximální místa odnosu přesouvají výše po svahu, blíže k rozvodnici. Nejprůzračnější model vyhodnotil krajinný pokryv z roku 1991. Výše modelové ztráty půdy je na stejných svazích dvojnásobná ve srovnání s rokem 2013, v porovnání s rokem 1954 jde dokonce až o čtyřnásobné nárůsty vyvolané zhoršením hydropedologických podmínek a nepříznivého způsobu obhospodařování bez agrotechnologií. Odnosy se tedy pohybují roce 1991 v rozmezí od 66 do 106 t.ha⁻¹ celé odtokové linie. Pro rok 1954 je interval od 19 do 30 t.ha⁻¹. I ve výsledcích stanovených modelem WEPP je patrný pozitivní vývoj krajiny s ohledem na erozní ochranu modelem vyhodnocenou za jednotlivých stavů krajinného pokryvu způsobenou pozitivním přístupem k realizaci KPÚ v povodí VN Hubenov.

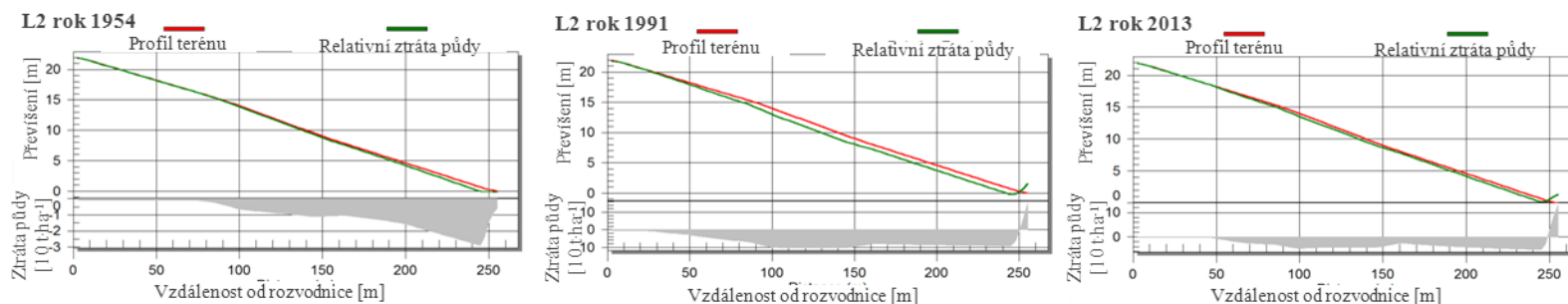
Tab. 48 Modelové ztráty půdy v letech u odtokových linií na povodí VN Hubenov stanovené modelem WEPP

Číslo linie	Délka [m]	Sklon [%]	Tvar svahu *	1954			1991			2013		
				Prům. ztráta [t·ha ⁻¹]	Začátek odnosu [m]	Místo max. odnosu [m]	Prům. ztráta [t·ha ⁻¹]	Začátek odnosu [m]	Místo max. odnosu [m]	Prům. ztráta [t·ha ⁻¹]	Začátek odnosu [m]	Místo max. odnosu [m]
1	299,18	10,38	KV	22,55	65	230	90,69	30	170	45,27	48	185
2	255,05	8,79	LI	19,54	74	245	68,92	30	110	30,67	48	240
3	409,23	7,56	LI	13,36	190	390	66,40	45	220	28,80	130	230
4	437,69	9,18	KV	30,81	120	420	102,07	70	375	52,81	110	375
5	198,71	10,71	KV	20,35	75	185	101,53	25	130	55,76	30	128
6	252,15	11,19	KV	25,45	82	235	106,50	25	110	56,58	50	105
7	279,03	12,55	KK	22,68	43	260	98,62	18	90	49,62	25	260

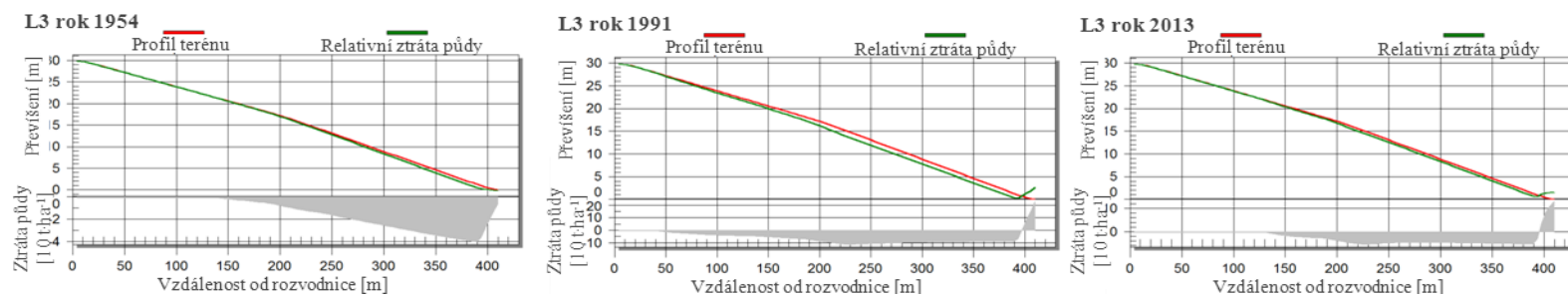
* KK = konkávní, KV = konvexní, LI = lineární



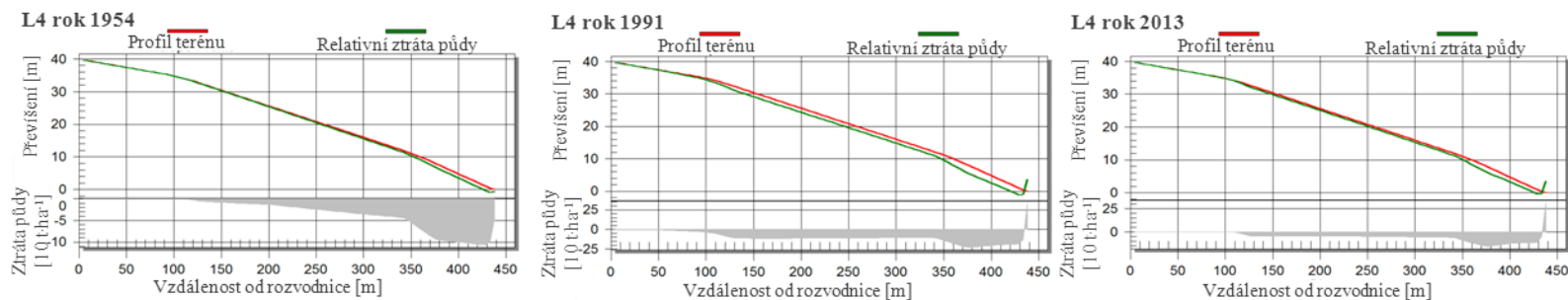
Obr. 47 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy v letech u linie L1 na povodí VN Hubenov



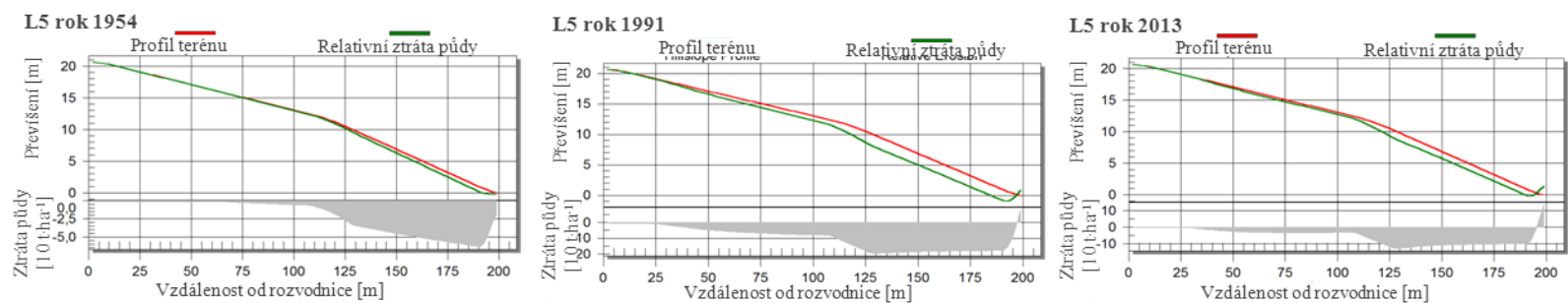
Obr. 48 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty v letech půdy u linie L2 na povodí VN Hubenov



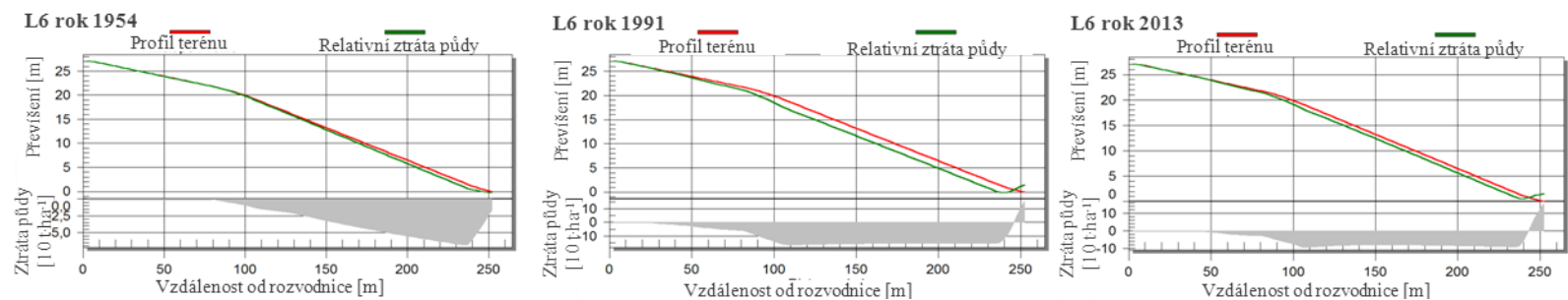
Obr. 49 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy v letech u linie L3 na povodí VN Hubenov



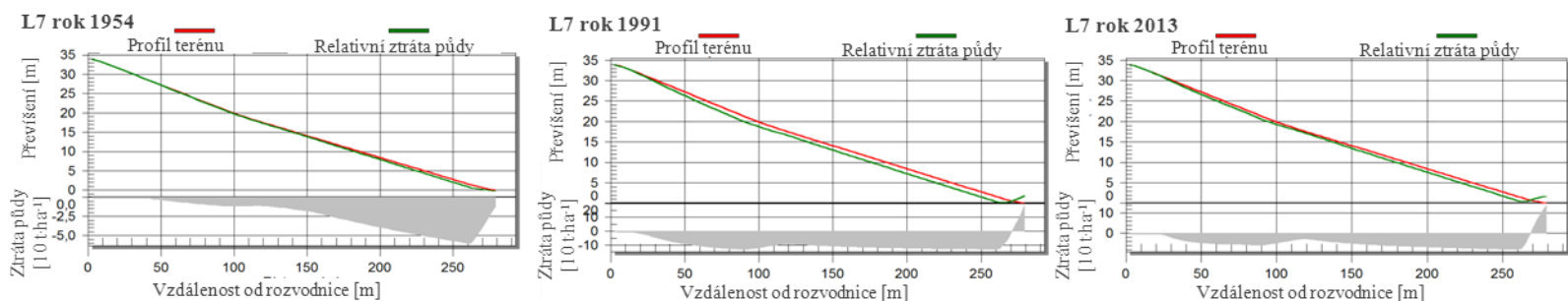
Obr. 50 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty v letech půdy u linie L4 na povodí VN Hubenov



Obr. 51 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty v letech půdy u linie L5 na povodí VN Hubenov



Obr. 52 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty v letech půdy u linie L6 na povodí VN Hubenov



Obr. 53 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty v letech půdy u linie L7 na povodí VN Hubenov

5.9 Vyhodnocení odtokových poměrů na území povodí VN Hubenov

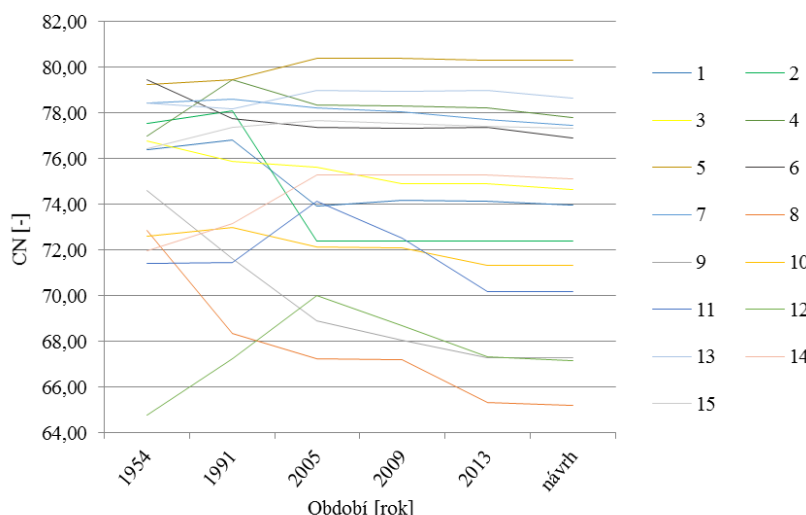
V povodí VN Hubenov bylo z ploch rozhodujících z hlediska tvorby povrchového odtoku prověřených na celém povodí dle parametrů blíže popsanych v kapitole 4.5 vyneseno 15 závěrových profilů a k nim stanovený sběrná povodí.

Z rastrových vrstev CN vycházejících ze střední hodnoty předchozího nasycení povodí pro jednotlivé roky bylo pomocí zonální statistiky v GIS stanovena průměrná hodnota čísla CN pro každé z 15 povodí.

Tab. 49 Číselné vyjádření vývoje čísla CN v letech

Číslo povodí	Plocha povodí [km ²]	CN 1954 [-]	CN 1991 [-]	CN 2005 [-]	CN 2009 [-]	CN 2013 [-]	Návrh CN [-]
1	1,33	76,39	76,82	73,95	74,17	74,16	73,96
2	0,36	77,54	78,11	72,41	72,41	72,40	72,40
3	2,75	76,80	75,88	75,63	74,92	74,92	74,66
4	1,86	76,99	79,48	78,34	78,32	78,23	77,82
5	1,06	79,27	79,47	80,41	80,42	80,31	80,31
6	0,78	79,48	77,78	77,37	77,34	77,38	76,91
7	2,70	78,45	78,60	78,23	78,06	77,74	77,48
8	0,52	72,88	68,35	67,27	67,20	65,31	65,21
9	0,48	74,60	71,62	68,92	68,07	67,28	67,28
10	0,93	72,62	72,97	72,15	72,09	71,32	71,32
11	1,60	71,43	71,47	74,14	72,51	70,20	70,20
12	2,06	64,80	67,24	70,02	68,70	67,32	67,18
13	1,80	78,45	78,20	79,00	78,97	79,01	78,65
14	2,04	71,98	73,15	75,31	75,30	75,31	75,12
15	3,02	76,45	77,40	77,66	77,55	77,42	77,33

Ve všech posuzovaných povodích byl zjištěn celkový pozitivní stav krajinného pokryvu vyjádřeného číslem CN nepřesahující hodnotu 80 v žádném z posuzovaných let. Vývojový trend čísla CN je v povodí VN Hubenov odlišný od povodí Luhy. Nedošlo zde k tak znatelnému zhoršení podmínek v devadesátých letech devatenáctého století. Lze konstatovat neustálý pozitivní vliv vývoje krajinného pokryvu způsobeného snahou o ochranu zdroje pitné vody, VN Hubenov, za pomoci nástroje se zásadním vlivem na krajinný pokryv, KPÚ.



Obr. 54 Grafické znázornění vývoje průměrného čísla CN na povodí závěrových profilů

K vyhodnocení odtokových poměrů krajinného pokryvu na území povodí VN Hubenov v jednotlivých studovaných obdobích bylo využito modelu DesQ-MAXQ. Po doplnění geomorfologických charakteristik jednotlivých povodí blíže specifikovaných v kapitole 4.6 do modelu, určení průměrných srážkových úhrnů na povodí zonální statistikou z rastrové vrstvy maximálních 24hodinových srážek za rok zaznamenaných ČHMU na studovaná povodí v ArcGIS a doplnění hodnot zbylých vstupních veličin byl proveden výpočet maximálního průtoku závěrovým profilem povodí a vygenerování časových řad hydrogramů průtoků jednotlivými profiley.

Získané maximální průtoky následně vstoupily do výpočtů ke stanovení jednotkového specifického odtoku q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) z povodí. Pro podrobnější vyhodnocení odtokových poměrů byly stanoveny i potenciální retence A (mm), doby koncentrace povodí T_c (hod), skutečné výšky povrchového odtoku Ho (mm) a objemu přímého odtoku OpH (m^3).

Maximální průtoky závěrovými profiley povodí vygenerované modelem DesQ-MAXQ (tab. 49 a 50) odráží vliv skladby krajinného pokryvu v jeho vývojových obdobích. V povodích je na postupném snižování maximálních průtoků u většiny povodí patrný pozitivní přístup k vývoji krajinného pokryvu způsobený snahou ochránit zdroj pitné vody v podobě VN Hubenov.

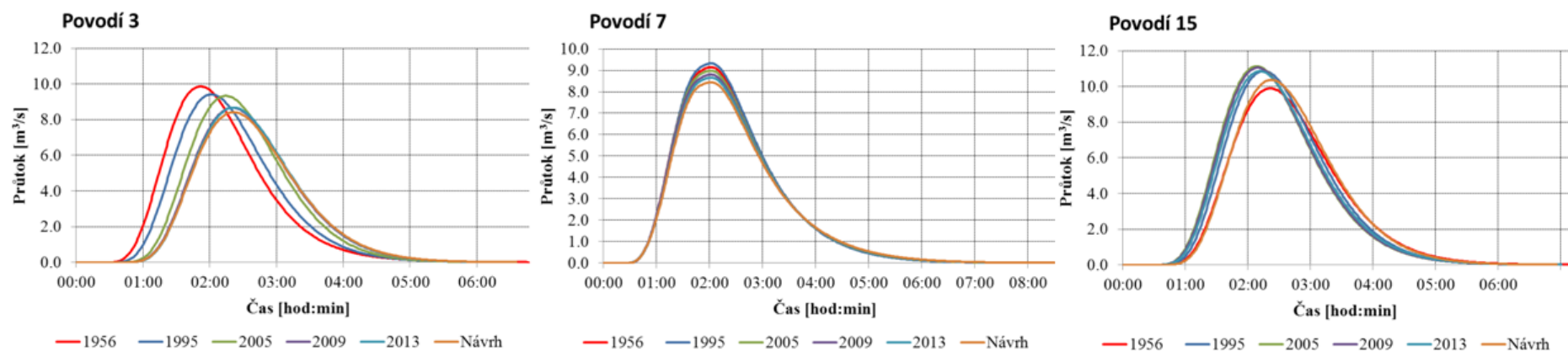
Z modelu DesQ-MAXQ získané časové řady průběhu povodňové vlny byly zpracovány v programu pro tabelární zpracování. Následně vzniklé hydrogramy pro jednotlivá povodí ve studovaných obdobích jsou porovnány na obr. 55 a 56. Na každém obrázku byly porovnány vždy tři povodí závěrových profilů rozhodujících pro vznik soustředěného odtoku s totožnou plochou sběrného povodí a hodnotou čísla CN ve stejných řádech.

Tab. 50 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro max. hodnoty 24hodinových srážek za rok v letech 1954, 1991 a 2005

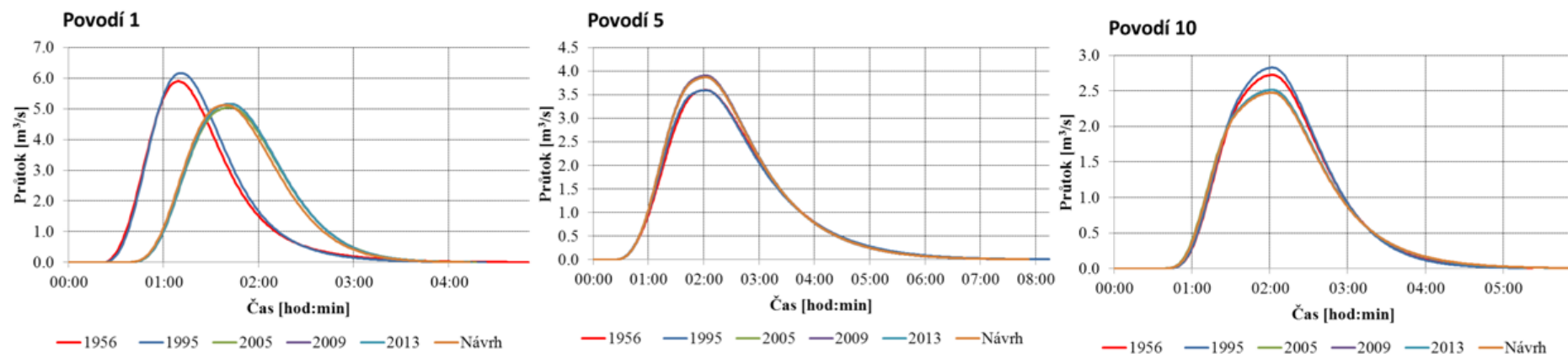
Číslo pov.	Plocha povodí [km ²]	Sklon povodí [%]	Hs max [mm]	1954				1991				2005			
				CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ ·s ⁻¹]	T _c [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ ·s ⁻¹]	T _c [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ ·s ⁻¹]	T _c [hod]
1	1,33	9,06	79,30	76,39	78,52	5,90	1,38	76,82	76,65	6,16	1,37	73,95	89,49	5,04	1,48
2	0,36	9,60	79,23	77,54	73,58	2,19	0,61	78,11	71,20	2,26	0,60	72,41	96,79	1,39	0,71
3	2,75	9,88	80,32	76,80	76,72	9,84	1,29	75,88	80,75	9,40	1,33	75,63	81,85	9,33	1,34
4	1,86	5,92	80,02	76,99	75,92	7,81	1,91	79,48	65,59	9,53	1,77	78,34	70,24	8,90	1,83
5	1,06	3,34	82,31	79,27	66,42	3,59	1,23	79,47	65,62	3,58	1,22	80,41	61,90	3,89	1,19
6	0,78	7,55	81,95	79,48	65,58	4,91	0,97	77,78	72,57	4,47	1,03	77,37	74,31	4,44	1,04
7	2,70	7,57	81,65	78,45	69,78	9,14	1,31	78,60	69,17	9,33	1,30	78,23	70,70	8,98	1,32
8	0,52	8,40	78,14	72,88	94,54	1,70	0,81	68,35	117,63	1,05	0,92	67,27	123,60	0,89	0,95
9	0,48	7,83	78,48	74,60	86,47	1,87	0,86	71,62	100,65	1,58	0,94	68,92	114,52	1,22	1,01
10	0,93	8,04	78,85	72,62	95,79	2,73	1,27	72,97	94,07	2,83	1,26	72,15	98,07	2,51	1,29
11	1,60	9,21	78,69	71,43	101,60	4,80	1,85	71,47	101,39	4,53	1,84	74,14	88,59	5,73	1,71
12	2,06	12,58	78,12	64,80	138,00	2,68	1,87	67,24	123,78	3,72	1,75	70,02	108,78	5,15	1,62
13	1,80	6,17	81,98	78,45	69,77	7,76	1,25	78,20	70,83	7,90	1,26	79,00	67,52	8,34	1,23
14	2,04	7,11	81,79	71,98	98,86	3,90	1,40	73,15	93,21	4,22	1,35	75,31	83,27	5,17	1,27
15	3,02	5,28	81,81	76,45	78,24	9,89	2,12	77,40	74,17	10,90	2,06	77,66	73,06	11,10	2,05

Tab. 51 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro max. hodnoty 24hodinových srážek za rok v letech 2009, 2013 a návrhový stav

Číslo pov.	Plocha povodí [km ²]	Sklon povodí [%]	Hs max [mm]	2009				2013				Návrhový stav			
				CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ ·s ⁻¹]	T _c [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ ·s ⁻¹]	T _c [hod]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m ³ ·s ⁻¹]	T _c [hod]
1	1,33	9,06	79,30	74,17	88,44	5,19	1,48	74,16	88,49	5,19	1,48	73,96	89,45	5,12	1,48
2	0,36	9,60	79,23	72,41	96,80	1,39	0,71	72,40	96,84	1,39	0,71	72,40	96,84	1,39	0,71
3	2,75	9,88	80,32	74,92	85,03	8,66	1,37	74,92	85,05	8,67	1,37	74,66	86,23	8,41	1,38
4	1,86	5,92	80,02	78,32	70,32	8,88	1,83	78,23	70,68	8,80	1,84	77,82	72,40	8,50	1,86
5	1,06	3,34	82,31	80,42	61,84	3,89	1,19	80,31	62,28	3,85	1,19	80,31	62,28	3,85	1,19
6	0,78	7,55	81,95	77,34	74,42	4,43	1,04	77,38	74,25	4,44	1,04	76,91	76,25	4,22	1,05
7	2,70	7,57	81,65	78,06	71,39	8,80	1,32	77,74	72,73	8,66	1,33	77,48	73,81	8,44	1,34
8	0,52	8,40	78,14	67,20	123,98	0,88	0,95	65,31	134,89	0,70	1,00	65,21	135,51	0,69	1,00
9	0,48	7,83	78,48	68,07	119,15	1,10	1,03	67,28	123,54	0,99	1,05	67,28	123,52	0,99	1,05
10	0,93	8,04	78,85	72,09	98,34	2,51	1,29	71,32	102,13	2,36	1,32	71,32	102,12	2,36	1,32
11	1,60	9,21	78,69	72,51	96,30	5,13	1,79	70,20	107,82	4,28	1,91	70,20	107,83	4,28	1,91
12	2,06	12,58	78,12	68,70	115,71	4,41	1,68	67,32	123,30	3,71	1,75	67,18	124,09	3,66	1,75
13	1,80	6,17	81,98	78,97	67,66	8,30	1,23	79,01	67,47	8,33	1,23	78,65	68,94	5,49	1,24
14	2,04	7,11	81,79	75,30	83,32	5,17	1,27	75,31	83,29	5,17	1,27	75,12	84,12	6,17	1,28
15	3,02	5,28	81,81	77,55	73,55	11,00	2,05	77,42	74,09	10,90	2,06	77,33	74,46	10,40	2,07



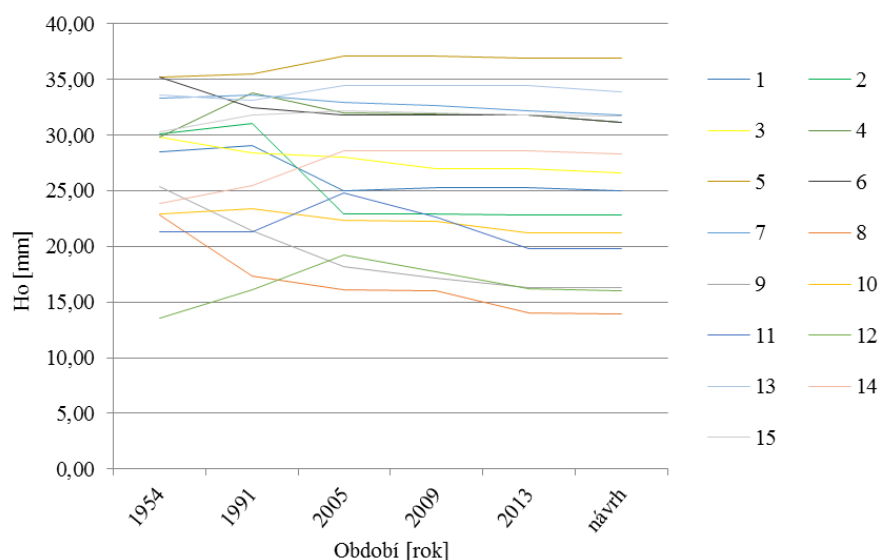
Obr. 55 Hydrogramy povodí 3, 7 a 15 v letech při max. hodnotách 24hodinových srážek za rok



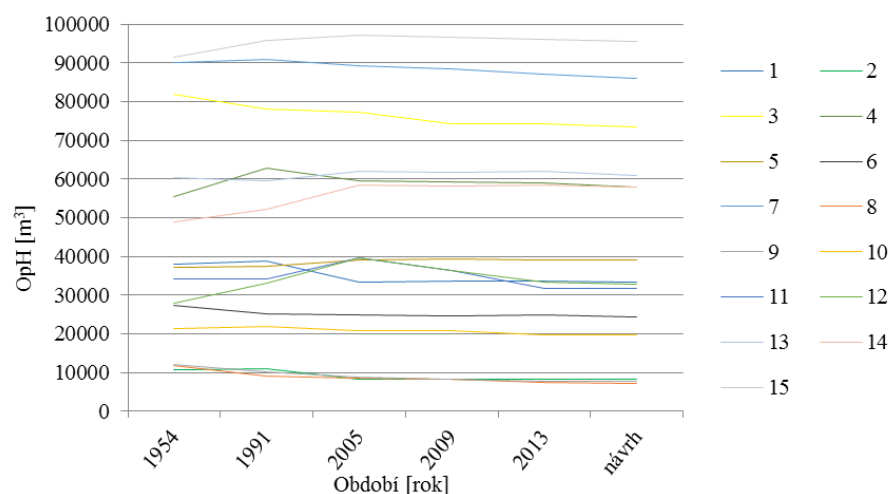
Obr. 56 Hydrogramy povodí 1, 5 a 10 v letech při max. hodnotách 24hodinových srážek za rok

Změny tvaru hydrogramu pro krajinné pokryvy jednotlivých let zaznamenaly pouze nepatrné rozdíly v hodnotě kulminačního průtoku. Tento projev je nejvíce patrný u povodí 3, ve kterém v průběhu let docházelo k soustavnému zlepšování stavu krajinného pokryvu ve smyslu zadržení a zpomalení odtoku. Radikální změna průběhu celého hydrogramu na povodí 1 po devadesátých letech devatenáctého století byly způsobena proběhlou KPÚ v roce 2003 na území obce Boršov, na kterém je povodí situováno. Došlo k rozčlenění pozemků, byly vytvořeny bariéry.

Vliv krajinného pokryvu na povodí VN Hubenov má velký vliv na změny výšky přímého odtoku ani objemu přímého odtoku (obr. 57). Obě charakteristiky odtokových poměrů z plochy povodí drží stabilní vývojovou křivku s drobnými výkyvy u jednotlivých povodí. Díky parametrům stanoveným při určování závěrových profilů a jejich ploch došlo k úzkému rozpětí výšek přímého odtoku pro modelem aplikovanou srážku od 15 do 34 mm.

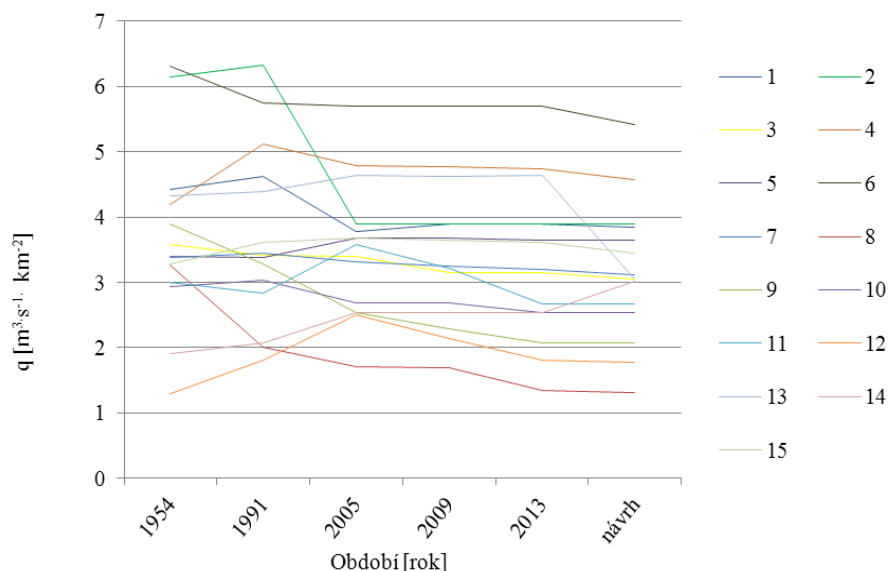


Obr. 57 Zobrazení výšky přímého odtoku H_o při různém krajinném pokryvu



Obr. 58 Vývoj objemu přímého odtoku OpH při různém krajinném pokryvu

U většiny povodí dochází ke zhoršení parametrů odtoku v devadesátých letech devatenáctého století a poté následuje více či méně pozvolné vylepšování odtokových parametrů. K největšímu poklesu výšky přímého odtoku (o 8 mm) došlo po roce 1991 v povodí 2, stejný zlom je na povodí poté zaznamenám i u jednotkového specifického odtoku (obr. 59). Za zmínku stojí i vývoj výšky přímého odtoku a zároveň i snížení stanoveného objemu přímého odtoku v povodích 1, 3, 6, 8, 9, ten má již od padesátých let devatenáctého století neustále klesající tendenci. Jednotkový specifický odtok má v průběhu let totožné křivky vývoje pro povodí jako výška přímého odtoku v povodích.



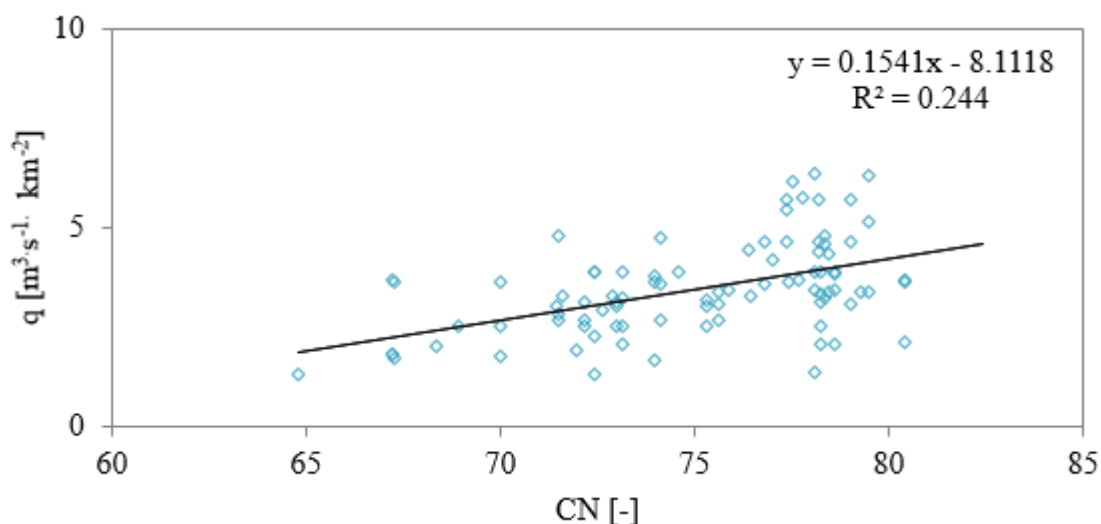
Obr. 59 Zobrazení jednot. specifického odtok q při různém krajinném pokryvu

Uvedené výsledky korespondují s výsledky autorů (Kvítek a kol., 1997), kteří určili jako nejdůležitější faktory ovlivňující množství odtékající vody z povodí:

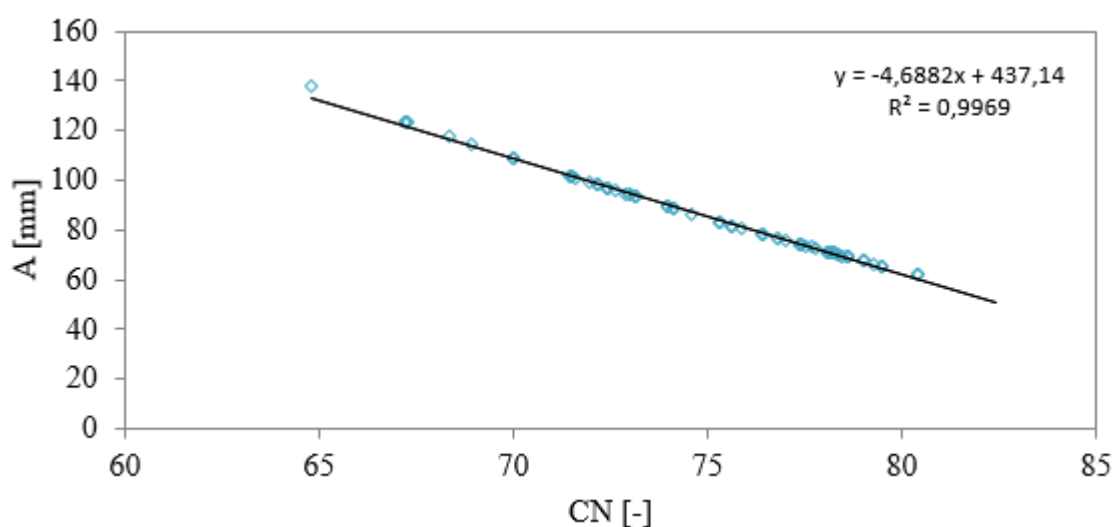
- Procento zornění zemědělského půdního fondu v povodí,
- velikost bloků orné půdy a jejich umístění v terénu,
- rozmístění, velikost a diverzita trvalých kultur (louka, les) v krajině,
- hloubka půdního profilu a jeho zrnitostní složení.

Jak bylo výše uvedeno, prostřednictvím ochranných opatření v ploše povodí lze zvýšit celkovou přirozenou retenci povodí a její dvě hlavní složky - retenci krátkodobou R_{kt} a dlouhodobou R_{dt} a zlepšit tak schopnost krajiny pozdržet extrémní srážky (podrobně viz Dumbrovský a kol. 2002).

Získaná data byla podrobena regresní analýze. Vliv čísla CN na jednotkový specifický odtok se zdá z výsledků zásadnější v ploše povodí s vyšším procentem zorněných ploch jako v povodí Luhy (obr. 40) než u povodí se zorněním 45 % plochy jako je tomu u povodí spadajících k VN Hubenov (obr. 60).



Obr. 60 Závislost jednotkového specifického odtoku na čísle CN



Obr. 61 Závislost potenciální retence na čísle CN

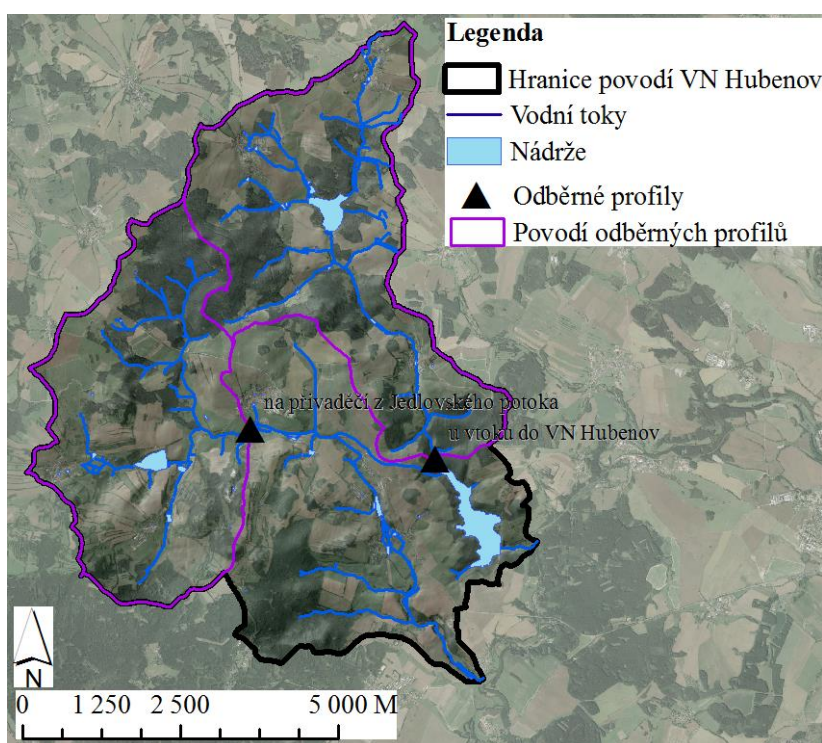
99,7 % spolehlivost je stanovena u hodnoty čísla CN pro potencionální retenci v povodích (obr. 61). Z výsledku vyplývá, že velikost hodnoty potencionální retence se zvyšuje s poměrným plošným zastoupením trvalých travních porostů a lesů a naopak se snižuje s poměrným plošným zastoupení intravilánu.

5.10 Vyhodnocení látkových odnosů na toku nad VN Hubenov

Již od roku 1986, kdy došlo k vyhlášení revize PHO, probíhá v měsíčních intervalech kontinuální měření a sledování jakosti vody v odběrných profilech Povodí Moravy, s.p., umístěných po povodí spádové oblasti VN Hubenov (tab. 5). Některá data byla součástí, v práci již výše zmíněných výzkumných záměrů.

Pro komplexnost práce byl vývoj změn využití krajiny v ploše posuzován i s ohledem na zaznamenaná měření koncentrací vybraných obecných, fyzikálních a chemických ukazatelů ve dvou vybraných profilech s těmito údaji. Jedná se o profil na Maršovském potoce před jeho vtokem do VN Hubenov v Ježeně a o profil na přivaděči z Jedlovského potoka (obr. 62). Cílem je prokázat vliv změn využití krajiny i na výši odplavovaných látek a koncentrace látek ovlivňujících kvalitu vody. Jak je uvedeno v tab. 36 v oblasti došlo ve sledovaných letech k návrhu KPÚ a díky tlaku podniku Povodí Moravy, s.p. na ochranu vod v povodí VN Hubenov i k jejich realizaci prokázané mimo jiné také ve výstupu výzkumného záměru MZE0002704901 vedeného VUMOP, v.v.i., „Integrované řešení KPÚ a ochranných pásem v povodí vodárenské nádrže Hubenov“ (Podhrázská a kol., 2008).

Naměřené výsledky poskytnuté ÚVHK podnikem Povodí Moravy, s.p. byly zpracovány graficky i tabelárně a zaříděny dle limitních tříd jednotlivých látek dle ČSN 75 7221 „Klasifikace jakosti povrchových vod“ novelizované v říjnu 1998 (tab. 52). Ze sledovaných látek jde o obsah nerozpuštěných látek (NL), biochemickou spotřebu kyslíku pětidenní (BSK5), chemickou spotřebu kyslíku dichromanem (CHSK-Cr), zatížení toků dusíkem v ukazatelích dusičnanového dusíku (N-NO_3) a amoniakálního dusíku (N-NH_4) a množství celkového fosforu.



Obr. 62 Přehledná mapa odběrných profilů s vyznačením povodí

Tab. 52 Limitní hodnoty sledovaných látek pro zařazení dle ČSN 75 7221

Ukazatel	Jednotka	I. třída	II. třída	III. třída	IV. třída	V. třída
Rozp. Kyslík	mg.l ⁻¹	>7,5	>6,5	>5	>3	<=3
BSK ₅	mg.l ⁻¹	<2	<4	<8	<15	>=15
CHSK-Cr	mg.l ⁻¹	<15	<25	<45	<60	>=60
N-NH ₄	mg.l ⁻¹	<0,3	<0,7	<2	<4	>=4
N-NO ₃	mg.l ⁻¹	<3	<6	<10	<13	>=13
Pcelk	mg.l ⁻¹	<0,05	<0,15	<0,4	<1	>=1
NL sušené	mg.l ⁻¹	<20	<40	<60	<100	>=100

Naměřená množství sledovaných látek doplněná křivkou trendu jsou uvedena na obrázcích 64 až 75, ze kterých je patrná četnost hodnot v jednotlivých třídách klasifikace vod. Při zařazení toku je rozhodující u jednotlivých ukazatelů 90 % pravděpodobnost nepřekročení limitních hodnot třídy (u rozpuštěného kyslíku překročení) (ČSN 75 7221). U obou toků se v průběhu sledovaných let ustalují v I. maximálně II. třídě dle kvality jakosti vody v těchto tocích.

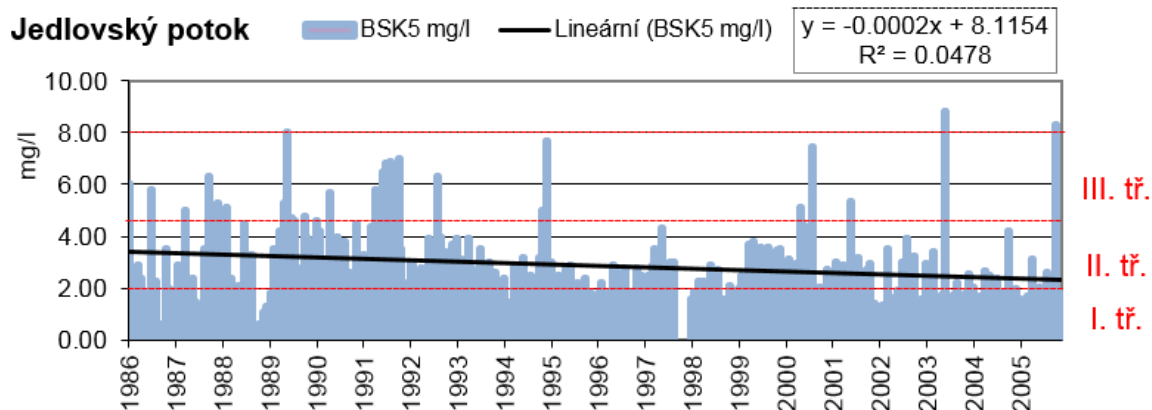
Při porovnávání výsledků za jednotlivé roky vyhází u obou odběrných míst nejhorší hodnoty v letech 1990 – 1995 (tab. 53 a 54). Horší výsledky vykazuje uměle vybudovaný přítok Maršovského potoka, tedy povodí Jedlovského potoka. Především v obsahu dusičnanů, dusitanů a celkového fosforu spadají naměřené hodnoty i do III. a IV. třídy jakosti vody.

Tab. 53 Hodnocení látek v profilu Maršovského potoka v Ježeně

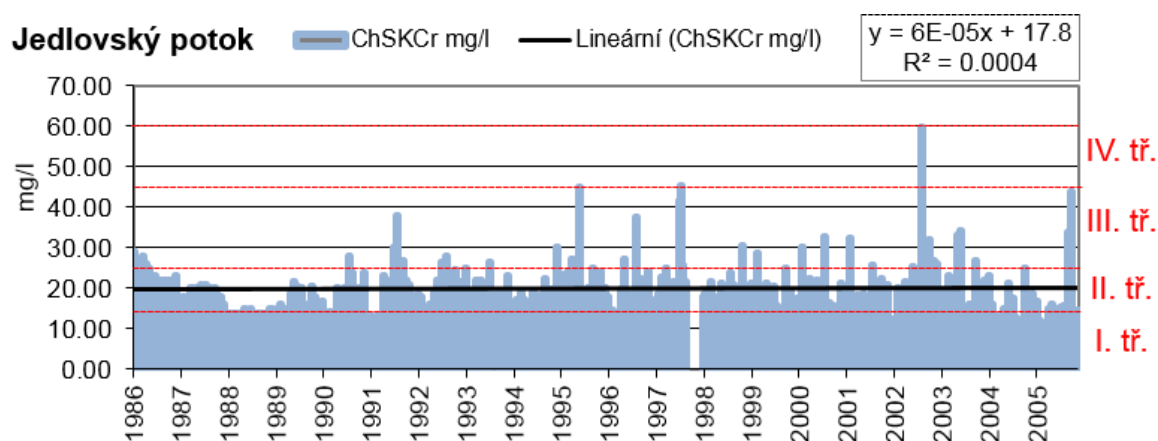
ukazatel	rozměr	86-87	88-89	90-91	92-93	94-95	96-97	98-99	00-01	00-01	02-03	04-05	06-07
Rozp. kyslík	mg.l ⁻¹	10,30	10,2	10,6	5,28	8,56	8,96	8,96	8,89	9,40	9,49	12,57	12,67
Třída		I.	I.	I.	III.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.
BSK-5	mg.l ⁻¹	5,62	4,70	4,41	4,00	4,50	4,12	4,74	4,54	3,34	4,56	3,52	3,90
Třída		III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	II.	III.	II.	II.
ChSK-Cr	mg.l ⁻¹	20,70	17,40	24,10	22,00	31,32	23,96	30,94	35,45	30,72	31,33	28,61	30,10
Třída		II.	II.	II.	II.	III.	II.	III.	III.	III.	III.	III.	III.
NL	mg.l ⁻¹	16,00	18,00	21,00	23,80	16,80	13,30	22,50	37,90	21,65	20,97	17,40	21,00
Třída		I.	I.	II.	II.	I.	I.	II.	II.	II.	II.	I.	II.
N-NH ₄	mg.l ⁻¹	0,156	0,343	0,598	0,588	0,311	0,149	0,095	0,126	0,149	0,106	0,208	0,098
Třída		I.	II.	II.	II.	II.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.
N-NO ₃	mg.l ⁻¹	6,19	6,29	8,13	8,50	7,41	6,62	5,91	5,81	5,93	5,44	5,606	5,614
Třída		III.	III.	III.	III.	III.	III.	II.	II.	II.	II.	II.	II.
P celk.	mg.l ⁻¹				0,220	0,137	0,100	0,137	0,201	0,122	0,069	0,058	0,142
Třída					III.	II.	II.	II.	III.	II.	II.	II.	II.

Tab. 54 Hodnocení látek v profilu Jedlovský potok - Hubenov nad přivaděčem

ukazatel	rozměr	86-87	88-89	90-91	92-93	94-95	96-97	98-99	00-01	02-03	04-05	06-07	08-09
Rozp. kyslík Třída	mg.l ⁻¹	9,90	8,51	7,51	8,86	8,73	8,52	8,13	8,19	9,13	8,95	12,08	12,00
		I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.
BSK-5 Třída	mg.l ⁻¹	5,70	5,10	6,71	3,90	3,20	3,00	3,60	4,91	3,50	3,00	3,53	2,85
		III.	III.	III.	II.	II.	II.	II.	III.	II.	II.	II.	II.
ChSK-Cr Třída	mg.l ⁻¹	26,00	20,34	27,70	25,98	26,54	31,42	24,57	28,71	32,87	24,50	44,75	27,34
		III.	II.	III.	III.	III.	III.	II.	III.	III.	II.	III.	III.
NL Třída	mg.l ⁻¹	17,40	20,70	20,70	29,00	14,70	12,40	9,70	10,50	10,70	11,00	21,60	12,40
		I.	II.	II.	II.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	II.	I.
N-NH ₄ Třída	mg.l ⁻¹	0,342	0,457	0,927	0,647	0,402	0,372	0,078	0,132	0,153	0,117	0,182	0,100
		II.	II.	III.	II.	II.	II.	I.	I.	I.	I.	I.	I.
N-NO ₃ Třída	mg.l ⁻¹	6,19	6,57	8,82	11,43	10,58	8,58	7,12	5,19	6,28	6,36	5,445	5,685
		III.	III.	III.	IV. třída	IV. třída	III.	III.	II.	III.	III.	II.	II.
P celk. Třída	mg.l ⁻¹				0,365	0,286	0,170	0,076	0,083	0,132	0,059	0,073	0,090
					III.	III.	III.	II.	II.	II.	II.	II.	II.

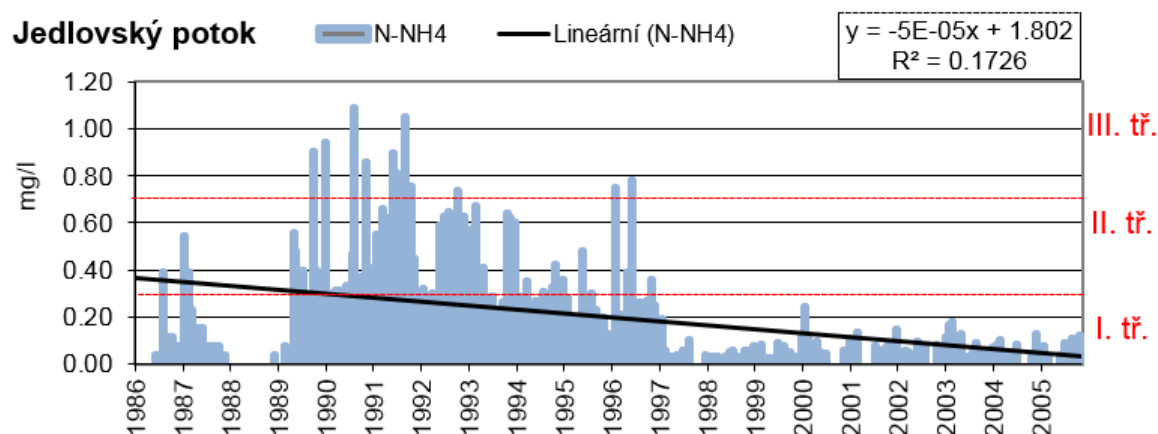


Obr. 63 Vývoj hodnot BSK₅ v profilu na Jedlovském potoce

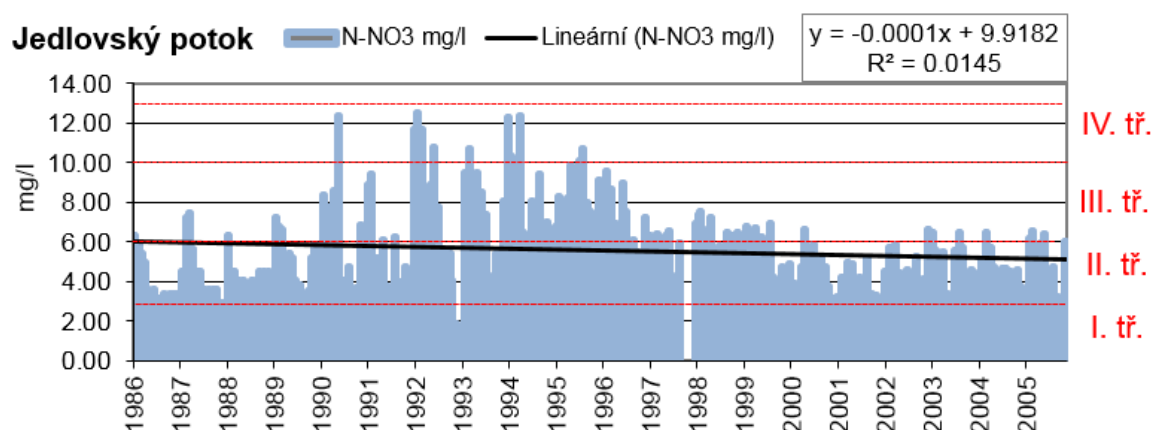


Obr. 64 Vývoj hodnot ChSKCr v profilu na Jedlovském potoce

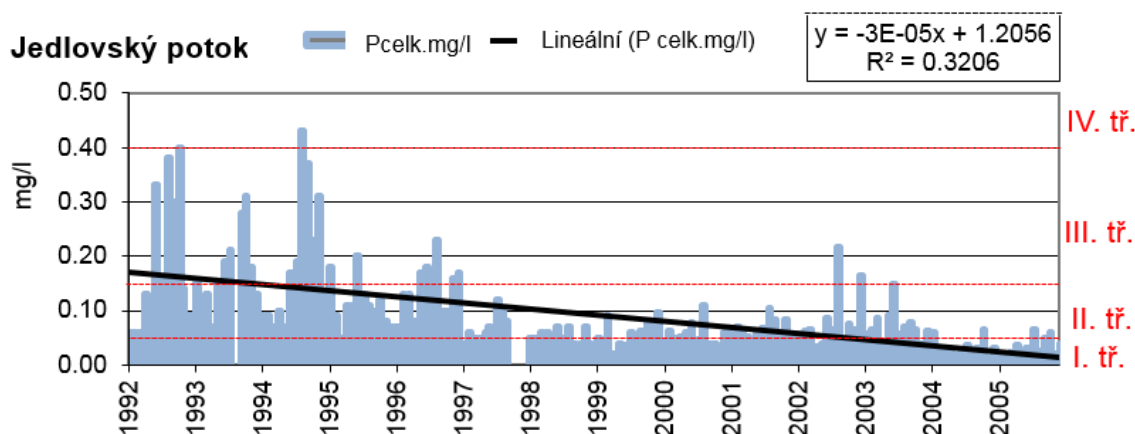
Biochemická spotřebu kyslíku pětidenní se v průběhu let na Jedlovském potoce se velice pozvolna snižuje (obr. 63), pokud se zaměříme na chemickou spotřebu kyslíku dichromanem (obr. 64), ta zůstává prakticky stabilně na průměrné hodnotě 20 mg.l⁻¹.



Obr. 65 Vývoj hodnot N-NH₄ v profilu na Jedlovském potoce



Obr. 66 Vývoj hodnot N-NO₃ v profilu na Jedlovském potoce

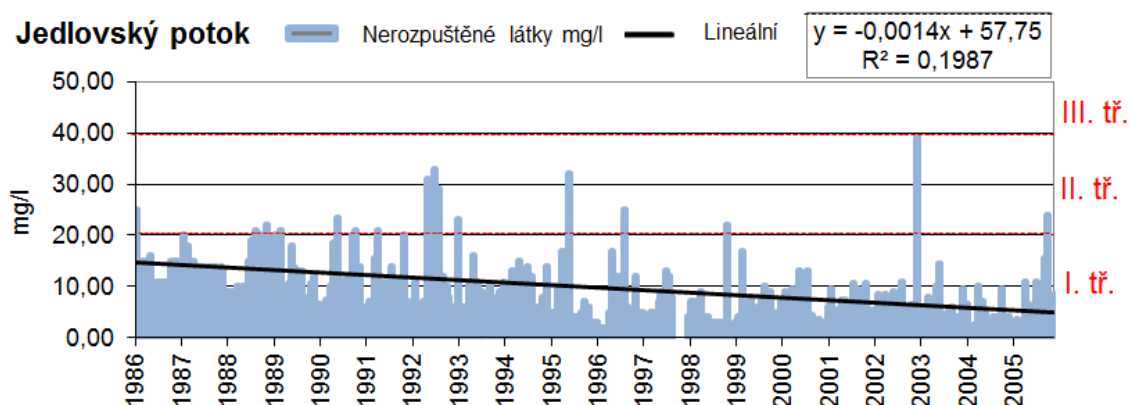


Obr. 67 Vývoj hodnot celkový P v profilu na Jedlovském potoce

Jak uvádí Šafarčíková a Kouřil (2006) v brožurě k projektu „Luční společenstva – indikátory živin v krajině“ dusík se do půdy dostává vedle přirozených procesů cestou intenzivní zemědělské výroby. Jedná se zejména o hnojení přírodními (hnůj, kejda, močůvka) i umělými hnojivy (různé druhy ledků, síran amonný). Také zvýšený vstup fosforu do půdy způsobuje hojné používání umělých hnojiv (různé druhy fosfátů a superfosfátů). Během devadesátých let sice spotřeba dusíkatých hnojiv oproti roku 1990 poklesla o třetinu, spotřeba fosforečných hnojiv dokonce o dvě třetiny, ale od roku 1999 byl zaznamenán znatelný růst hnojení v České republice. Meziroční nárůst spotřeby hnojiv 2003/2004 činil téměř 25 %. Spotřeba dusíkatých hnojiv byla v roce 2004 vyčíslena na 75,8 kg.ha⁻¹, spotřeba fosforečných hnojiv pak na 13,7 kg.ha⁻¹ (udávanou hmotností se myslí čistá hmotnost živin). Zpráva integrovaného registru znečišťování za rok 2004 uvádí, že 60 % hlášeného znečištění půdy (zejména dusíkem a fosforem) pochází ze zemědělství. Na celkovém hlášeném umělém vstupu fosforu do půdy se podílí především zemědělství (85 %), dále průmysl (8 %) a nakládání s odpady (7 %).

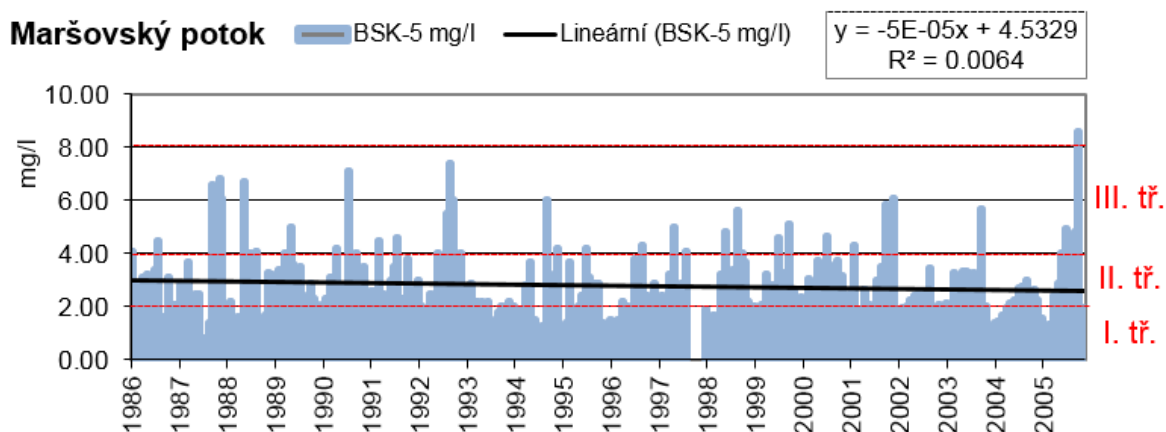
Díky spádovosti povodí do pro pitné účely využívané VN Hubenov neodpovídají vývojové křivky získané z naměřených hodnot množství amoniakálního dusíku a celkového fosforu v Jedlovském potoce spotřebám hnojiv v České republice, ale působí velice pozitivním úbytkem (obr. 65 a 67). V průběhu let měření v povodí došlo zřejmě k výraznému snížení zdrojů těchto látek.

Realizace a dodržování ochranných opatření realizovaných proti vodní erozi na zemědělsky využívaných půdách prokazuje 20 % klesající trend množství nerozpuštěných látek v Jedlovském potoce.

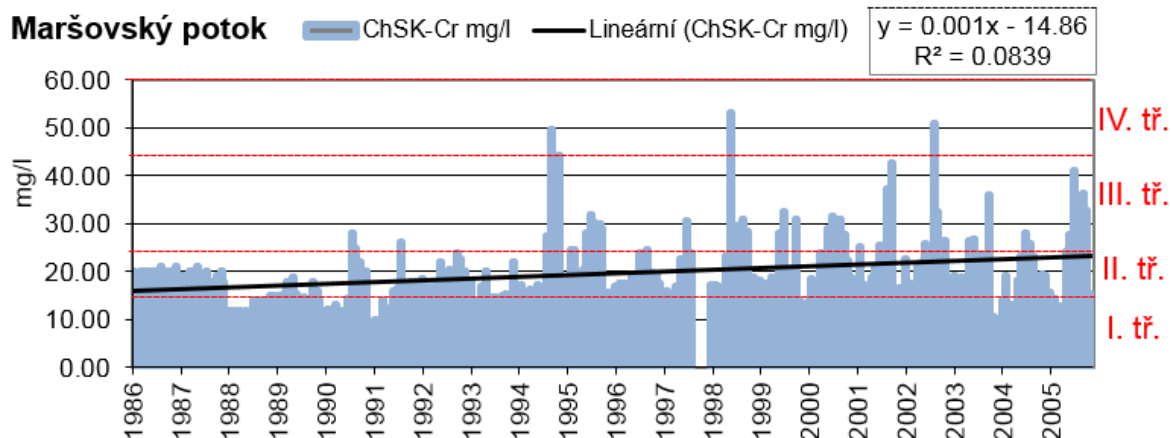


Obr. 68 Vývoj hodnot nerozpuštěných látek v profilu na Jedlovském potoce

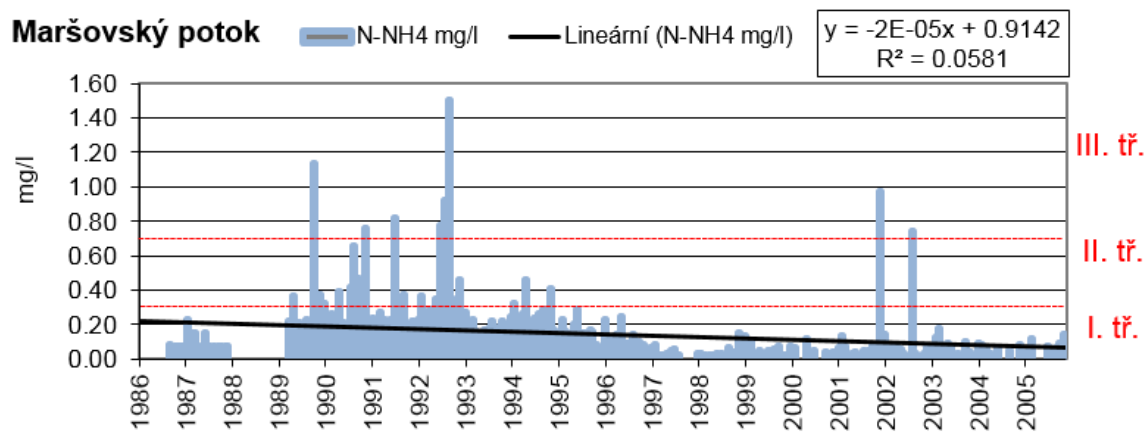
V Maršovském potoce zůstává biochemická spotřeba kyslíku pětidenní stabilní (obr. 69). Pokud se zaměříme na chemickou spotřebu kyslíku dichromanem, ta vykazuje v jednotlivých měsíčních měřeních od roku 1994 skokové změny, průměrně je hodnota se pohybuje na množství 20 mg.l⁻¹, stejně jako je tomu u potoka Jedlovského. Na Maršovském potoce jsou tendence v četnosti vyšších hodnot koncentrace CHKS-Cr mírně stoupající.



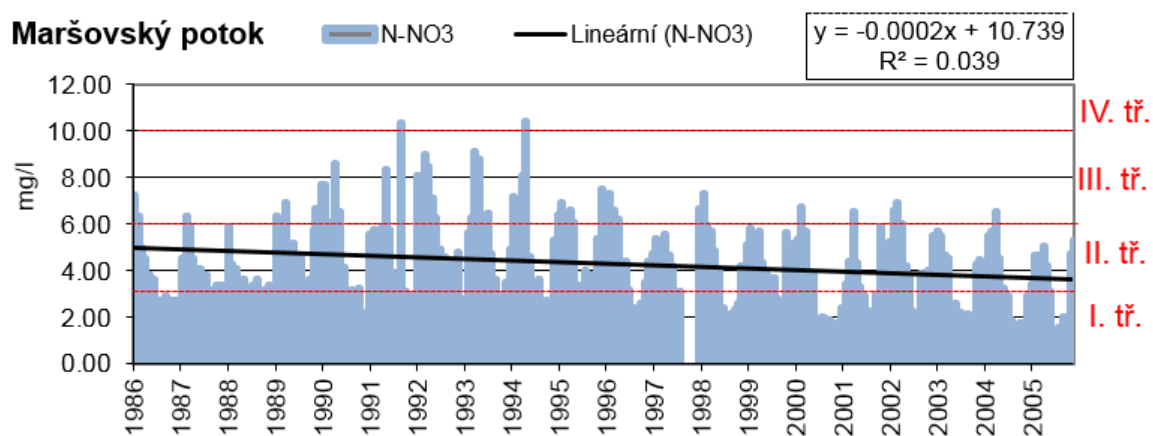
Obr. 69 Vývoj hodnot BSK₅ v profilu na Maršovském potoce



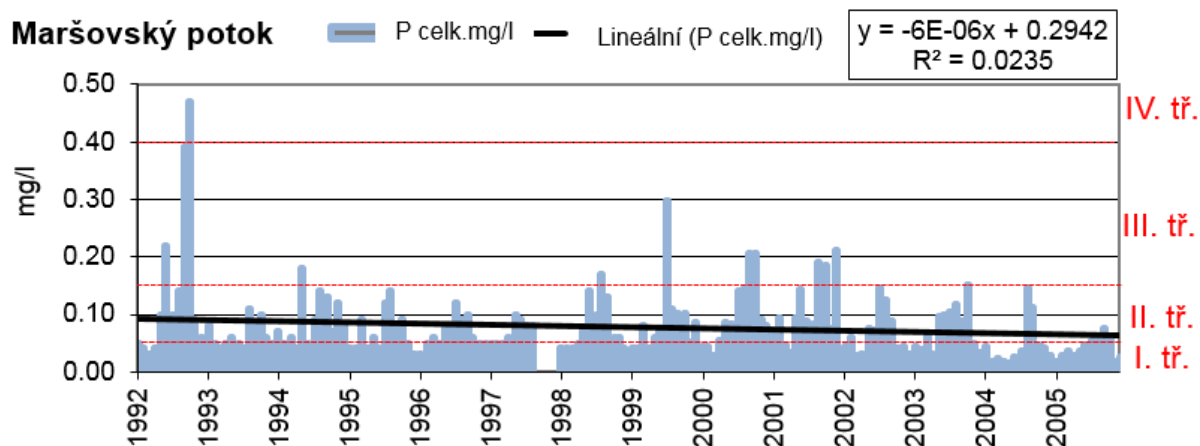
Obr. 70 Vývoj hodnot ChSK-Cr v profilu na Maršovském potoce



Obr. 71 Vývoj hodnot N-NH₄ v profilu na Maršovském potoce



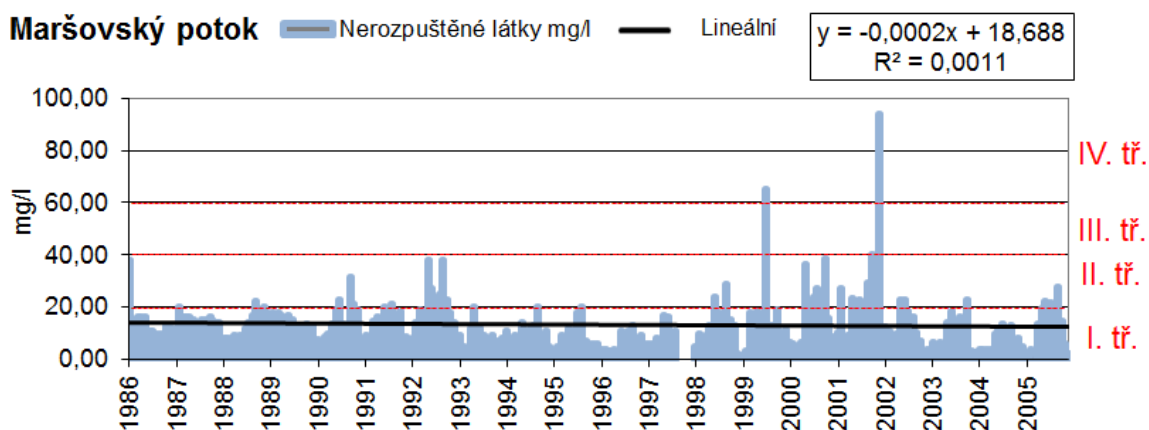
Obr. 72 Vývoj hodnot N-NO₃ v profilu na Maršovském potoce



Obr. 73 Vývoj hodnot celkového P v profilu na Maršovském potoce

Příznivější situace množství látek z dlouhodobého hlediska je na Maršovském potoce, kde velice pozvolna klesá četnost jak vysoké koncentrace dusičnanového dusíku, amoniakálního dusíku, tak i četnost koncentrace celkového fosforu.

Obsah nerozpuštěných látek v obou tocích (obr. 68 a 74) poukazuje na míru odnosu pevných částic z povodí toky, ke kterému přispívá ztráta půdy na zemědělsky obdělávaných plochách v povodích. Vývoj trendu těchto látek u Maršovského potoka pozvolně klesá, zato u potoka Jedlovského klesá křivka trendu výrazněji. Mezi léty 1989 až 2005 pokleslo v Jedlovském potoce množství nerozpuštěných látek sušených z 15 mg.l⁻¹ na 5 mg.l⁻¹. Pokles je způsoben i v důsledku nárůstu ploch zatravnění, či realizací ochranných opatření proti vodní erozi na zemědělsky využívaných půdách v rámci proběhlých KPÚ.



Obr. 74 Vývoj hodnot nerozpuštěných látek v profilu na Maršovském potoce

Na rozdíl od dřívějších pásem PHO vodního zdroje jsou podle vodního zákona 254/2001 Sb. v oblastech vodárenských nádrží stanovena OP a ochranné zóny. Rozsah ochrany VN byl výrazně snížen oproti původním PHO. Je zachována pouze zóna zvýšené ochrany

pozemků v bezprostřední návaznosti na vodárenskou nádrž. Na ostatním území povodí jsou chráněny údolní nivy a to pouze ve vybraných územích.

Obecně lze konstatovat, že vyhlášení PHO VN v roce 1986 nemělo žádný významný vliv na jakost vody v nádrži (viz. i studie, kterou zpracovalo Povodí Moravy, a.s. v roce 1996 včetně přehodnocení a návrhu nových PHO).

V povodí VN není dosud dostatečná PEO a PPO pozemků, tím nejsou dány předpoklady vysoké kvality vody v nádrži, která je zdrojem pitné vody. Realizace KPÚ je velmi potřebná, a to v mnohem větším rozsahu než byla realizována doposud. Bylo by vhodné zpracovat a realizovat návrhy vycházející z nových platných metodik, což by mělo za následek přehodnocení i proběhlých KPÚ v povodí. U erozních jevů způsobenou hlavně v důsledku změny hodnoty R faktoru na dvojnásobek, který reaguje na navýšení srážkových úhrnů posledních let. Navýšené srážkové úhrny přináší častější povodňové stavy na tocích čemuž je možné předcházet právě i úpravou odtokových poměrů v ploše povodí.

6 ZÁVĚR A PŘÍNOS DIZERTAČNÍ PRÁCE PRO ROZVOJ VĚDNÍ DISCIPLÍNY

Disertační práce je zaměřena na posouzení vlivu změn využití krajiny na erozní a odtokové poměry. Za účelem posouzení bylo stanoveno 26 krajinných pokryvů pro dvě odlišná povodí. Využití území je vyhodnoceno vždy ve čtyřech hlavních časových obdobích, padesátých, devadesátých letech dvacátého století, dnešního stavu krajiny v podobě podrobného každoročního vyhodnocení od roku 2002 do roku 2013 a stavu návrhového. V modelových povodích byly provedeny analýzy krajinného pokryvu, geomorfologických, pedologických i hydrologických poměrů s využitím nástrojů GIS.

Erozní a odtokové poměry na sledovaných povodích ovlivňuje výměra a plošná lokalizace jednotlivých druhů pozemků ZPF v jednotlivých letech a způsoby jejího využití. Mezi výpočty od 50. let 20. století až do roku 2013 je vidět podstatný nárůst ztráty půdy s nejvyššími hodnotami v letech 2004 a 2005. V povodí Luhy došlo od roku 1956 k překročení přípustné ztráty půdy $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ u průměrných hodnot na celé studované povodí u všech pokryvů o více jak dvojnásobek (tab.14).

I přesto, že od padesátých let dvacátého století dochází k neustálému snižování ploch ZPF v povodí Luhy (za období 57 let poklesla o 12 %) způsobenému zábořem ploch zemědělsky využívaných do kategorie ploch ostatních, převážně k zastavění, činí jejich výměra v současné době 60 % plochy povodí z toho 83 % je erozně ohrožená orná půda. Zatím co v povodí k VN Hubenov tvoří plochy ZPF 50 % území a z toho je průměrně 60 % v kategorii orná půda.

Vyšší výměry ploch orné půdy v 50. letech 20. století nezpůsobovaly vysoké stavy hodnot ztráty půdy ani přímého povrchového odtoku zejména z důvodu plošné distribuce a fragmentace krajinného pokryvu s vysokou druhovou pestrostí (drobnější drážby, většího

členění krajiny pomocí cestní sítě, prvků zeleně, mezí) a s výrazně méně intenzivním způsobem obdělávání půdy bez projevů zhutnění. Tyto skutečnosti pozitivně ovlivnily nízkou hodnotu faktorů C i P vstupujících do výpočtu erozního smyvu.

Vedle změn hodnot faktoru vegetačního pokryvu C v závislosti na měnící se struktuře krajinného pokryvu, došlo s postupujícím časem také k negativním změnám hodnot faktoru erodovatelnosti K. Hodnotu faktoru K ovlivnila vedle změn zrnitostního složení vlivem postupující degradace také změna podílu organické hmoty, změna struktury ornice a změna propustnosti ornice (snížení infiltrační schopnosti půdy). Zrnitost je v průběhu let negativně ovlivněna právě erozními procesy způsobujícími zejména selektivní vyplavování a odnos koloidních částic z půdy.

Erozní ohroženost byla dále stanovena na jednotlivé vybrané svahy v povodích modelem WEPP, kterým byl vyhodnocen nejen celkový odnos z plochy svahu, ale i stanoveny vzdálenosti míst začátku odnosu od rozvodnice a postupný nárůst ztráty půdy po svahu do místa extrémního odnosu. Ze získaných výsledků je možné konstatovat, že při erozních procesech dochází k začátku erozních odnosů jak v závislosti na úrovni erozně příčinné srážky, tak také v závislosti na tvaru svahu a hydrogeologických podmínkách. Počátek odnosu erodované půdy je stabilní u všech stavů posuzovaných krajinných pokryvů, při uvážení vývoje ostatních ovlivňujících faktorů, obzvláště hydrogeologických změn. Pouze u svahů konkávního tvaru s pozvolným sklonem od rozvodnice dochází k začátku odnosu až ve větší vzdálenosti.

K vyhodnocení odtokových poměrů bylo pro stanovené závěrové profily (rozhodující z hlediska tvorby soustředěného odtoku) a jejich sběrné plochy využito modelu DesQ–MAXQ. Od roku 50. let 20. století došlo vlivem intenzifikace zemědělské výroby k výrazným změnám výměry a prostorového i funkčního uspořádání pozemků s následným uvolněním cesty povrchovému odtoku. Negativním vlivem na změnu krajinného pokryvu bylo současně i využití agrotechnologií prováděných těžkou technikou následně doprovázených zhutněním půdy s negativním dopadem na propustnost zemědělsky využívaného půdního pokryvu. Zhutnění vedlo ke změně hydrologických skupin půd, což je důležitý komponent pro stanovení čísla odtokových křivek ovlivňující charakteristiky přímého odtoku.

Ze získaných výsledků je možné konstatovat významný vliv krajinného pokryvu na erozní ohroženost území a transport splavenin, snížení škod na půdním fondu v ploše pozemku a následné omezení zanášení toků a nádrží.

V práci jsem se věnovala také hodnocení účinnosti jednotlivých krajinných pokryvů v povodí Luhy vystavených skutečné přívalové srážce z roku 2009, která měla za následek povodňovou situaci v území. Stejná srážka byla aplikována pro scénáře krajinného pokryvu na sestavený srážko-odtokový model povodí Luhy v prostředí HEC-HMS. Vliv krajinného pokryvu (na rozdíl od pozitivního působení na snížení vodní eroze) se při hodnocení odtokových poměrů neukázal jako zásadní. Uspořádání a skladba pokryvu účinně působí při výskytu srážek s nižší intenzitou, účinnost krajinného pokryvu a jeho využití klesá s n letostí průtoků.

Vývoj změn využití území v ploše byl v povodích spádových k vodárenské nádrži Hubenov také posuzován i s ohledem na zaznamenaná měření a monitoring odtoků a koncentrací látek v měřených profilech. Způsobu využití území a změnám agrotechnologií je možné přisuzovat jistý vliv při zaznamenaných snížených hodnotách látkových odnosů ve sledovaných profilech toků v povodí VN Hubenov.

Výsledky práce korespondují se závěry Kubáta (2009) při hodnocení povodní 2009, kde uvádí především jako příčiny z hlediska negativního působení krajiny neúměrné zvyšování výměry pozemků orné půdy, čímž došlo k prodloužení drah soustředěného odtoku v povodí, zrušení řady stabilizujících krajinných prvků, např. vedlejších polních cest, úvozů, mezí a zatravněných údolnic, zrušení doprovodných a břehových porostů u vodních toků s protierozní a krajině-ekologickou funkcí, nevhodné zásahy do vlastního vodního režimu, tj. odvodňování velkých honů s následnou likvidací cenných travobylinných společenstev, napřimování a částečné zatrubňování vodních toků, zároveň dochází (vymýcení porostů) k orbě až na břehovou hranu.

Výsledky této práce jsou příspěvkem k rozvoji poznání v oblasti problematiky spojené s vlivem krajinného pokryvu na erozní a odtokové poměry. V práci byly definovány významnosti jednotlivých geomorfologických parametrů povodí na tvorbě přirozené retence povodí a ochrany před působením degradačních procesů vodní eroze. V souladu se zkušenostmi z minulých povodní dokazují výsledky, že ani příznivé hodnoty přirozené retenční schopnosti krajiny nezabránily v případě extrémních přívalových srážek či dlouhotrvajících regionálních dešťů škodám na majetku a dokonce i ztrátám na životech obyvatel.

Změny krajinného pokryvu a jejich vliv na erozní a odtokové poměry jsou stále aktuálním tématem pro vědeckou obec i veřejnost v České republice a novými metodami výzkumu se bude tato problematika i nadále rozvíjet. Pro další rozvoj této problematiky by bylo vhodné rozšířit datový soubor o další studovaná území či historické stavy krajiny.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

BAVER, L. D. Some factors affecting soil erosion. *Agricultural Engineering*. 1933, vol. 14, 51–52.

BERGSTRÖM, S. *The HBV model*. In: Singh, V. P. (Ed.) *Computer models of watershed hydrology*. Water Resource Publications, Highland Ranch. 1995. S. 443–476.

BEVEN, K. J. *Rainfall – runoff modelling: The Primer*. John Wiley and Sons. Chichester: Wiley, 1996. 360 s. ISBN 978-0-470-86671-9.

BIČÍK, I. Analýza dat o využití půdy k hodnocení dlouhodobých změn krajiny. *Geographia Slovaca*, 10, Bratislava, 1995. s. 25–29.

BIČÍK, I., JELEČEK, V. a ŠTĚPÁNEK, V. Land-use changes and their social driving forces in Czechia in the 19th and 20th centuries. *Land Use Policy* 18. 2001. 65-73.

BIČÍK, I. a JELEČEK, L. Long term research of LUCC in Czechia 1845–2000. In: *Dealing with Diversity. 2nd International Conference of the European Society for Environmental History Prague 2003 – Proceedings*, Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje PřF UK, Praha, 2003. 224–231 s.

BIČÍK, I. Dlouhodobé změny využití krajiny České republiky. *Život. Prostr.*, 2004. Vol. 38, No. 2, 81 – 85.

BOLŽITÍAR, M. a PETROVIČ, F. Zmeny využívania krajiny v oblasti vodárenskej nádrže Starina. *Život. Prostr.*, 2005, roč. 39, č. 2, s. 98-101.

BOSH, J. M. a HEWLETT, J. B. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, vol. 55 (1-4), 1982. 3-23.

BOSCH, J. M. a HEWLETT, J. B. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*. 1982, vol. 55(no. 1–4), 3–23.

BRÁZDIL, R., ŘEZNÍČKOVÁ, L., VALÁŠEK, H., HAVLÍČEK, M., DOBROVOLNÝ, P., SOUKALOVÁ, E., ŘEHÁNEK, T. a SKOKANOVÁ, H. Fluctuations of floods of the River Morava (Czech Republic) in 1691–2009 period: interactions of natural and anthropogenic factors. *Hydrological Sciences Journal*, 2011. 56 (3), p. 468–485.

BRŮNA, V., BUCHTA, I. a UHLÍŘOVÁ, L. Identifikace historické sítě prvků ekologické stability krajiny na mapách vojenských mapování. *Acta Universitatis Purkynianae – Studia Geoinformatica II.*, 81, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně Ústí nad Labem, 2002, 46 p.

BRŮNA, V. a KŘOVÁKOVÁ, K. Analýza změn krajinné struktury s využitím map Stabilmního katastru. In: *Historické mapy*. Zborník z vedeckej konferencie. Bratislava, 2005, s. 27–34.

BRŮNA, V., KŘOVÁKOVÁ, K. a NEDBAL, V. Stabilmní katastr jako zdroj informací o krajině. *Historická geografie*, 2005, 33., s. 397–409.

BURROUGH–MCDONNELL–98 BURROUGH, P.A. a MCDONNELL, R.A. Principles of Geographical Information Systems. *Spatial Information Systems and Geostatistics*. Oxford, 1998.

CULEK, M. Biogeografické členění České republiky. Enigma, Praha, 1996. 244 s. ISBN 80-85368-80-3.

ČSN 75 7221: 11/1998. Jakost vod - Klasifikace jakosti povrchových vod. Praha: Český normalizační institut, 1998. 12 s.

DANĚHELKA, J., KREJČÍ, J., ŠÁLEK, M., ŠERCL, P. a ZEZULÁK, J. *Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR*. ČZU Praha, Praha, 2003. 214 s. ISBN 80-86690-03-2.

DANĚHELKA, J. *Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědi*. Sborník prací ČHMÚ. Praha, 2007, 104 s.

DEMEK, J., HAVLÍČEK, M., CHRUDINA, Z. a MACKOVČIN, P. Changes in land –use and the river network of the Graben Dyjsko – svratecký úval (Czech Republic) in the last 242 years. *Journal of Landscape Ecology*, 2008, 1 (2), p. 22–51.

DEMEK, J., HAVLÍČEK, M. a MACKOVČIN, P. Landscape Changes in the Dyjsko – svratecký and Dolnomoravský Grabens in the period 1764 – 2009 (Czech Republic). *Acta Pruhoniana*, 2009, 91, p. 23–30.

DESMET, P.J.J. a GOVERS, G. Comparison of Routing Algorithms for Digital Elevation Models and their Implications for Predicting Ephemeral Gullies. *International Journal of GIS*, 1996. vol. 10: 311-331.

DIEZ, J. A., CABALLERO, R., ROMAN, R., TARQUIS, A., CARTAGENA, M. C. a VALLEJO, A. Integrated fertilizer and irrigation management to reduce nitrate leaching in central Spain. *Journal of Environmental Quality* 29. 2000. 1539–1547.

DINGMAN, S. L. *Physical Hydrology*, 2nd. ed. Upper Saddle river: Prentice Hall. 2002. ISBN 0-13-099695-5.

DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., KVÍTEK, T., SOUKUP, M., ČMELÍK, M., FUČÍK, P., NOVÁK, P., PETERKOVÁ, J., PILNÁ, E., PRAŽÁK, P., TIPPL, M., UHLÍŘOVÁ, J. a ZAVADIL, J. Hydrologický výzkum v malých zemědělských povodích. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 54. .2006a. 217–229.

DOSTÁL, T. KURÁŽ, V., VÁŠKA, J. a VRÁNA, K. Využití povodí a jeho vliv na režim povrchového odtoku. *Povodně a krajina '97*. Sborník přednášek, ICID-CIID, Brno, 1997.

DRONGOVÁ, K. Problematika erozních a odtokových procesů v drahách soustředěného povrchového odtoku. Brno, 2013. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny.

DUMBROVSKÝ, M. *Vliv eroze na produkční schopnost půd a půdní vlastnosti*. Praha, 1992. Disertační práce. VÚMOP.

DUMBROVSKÝ, M. *Návrh a ověření opatření pro komplexní ochranu vodních zdrojů na modelovém povodí nádrže Hubenov*. VÚMOP, Brno, 1996.

DUMBROVSKÝ, M. A KOL. *Rozbor retenčního potenciálu v povodí řeky Opavy s analýzou zastoupení a plošného rozmístění kultur*. VÚMOP Praha, Brno, 1998. 25 s.

DUMBROVSKÝ, M. Možnosti zvyšování retenční schopnosti povodí v KPÚ. In Sborník přednášek z 12. mezinárodní *Konference pozemkových úprav*. Jestřábí, 2002. 14 s. ISBN: 00-00- 004.

DUMBROVSKÝ, M. *Geografické informační systémy*. Studijní opora CS02. Brno: VUT. 2009, 140 s.

DUMBROVSKÝ, M. A KOL. *Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky*. Vyhodnocení dopadů povodní na krajinu a životní prostředí, dílčí zpráva. MŽP odbor ochrany vod. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/pov09/>

DVOŘÁK, P. Změny krajiny v povodí Dolní Jihlavy. In *Fyzickogeografický sborník 3. Fyzická geografie - krajinná ekologie - trvalá udržitelnost*. Masarykova univerzita v Brně, Brno, 2005, s. 79-82. ISBN 80-210-3931-0.

EAGRI: Portál farmáře. *Veřejný registr půdy LPIS* [online]. 2013 [cit. 2013-12-02]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny>.

EREMIÁŠOVÁ, R., HAVLÍČEK, M. a MACKOVČIN, P. Quantitative Analysis of Landscape Development and changes in drainage network based on historical maps: Case study of the surroundings of the town of Kašperské Hory (Czech Republic). *Silva Gabreta*, 2007. 13 (3), p. 285–299.

ESRI. *ArcGIS for Desktop 9 Evaluation Help* [online]. 2009 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: www.esri.com/software/arcgis/eval-help/arcgis-931.

FADRNA, M. a HRABĚ, F. Rozdíly v infiltrační schopnosti drnu travníkových druhů trav. In: *Povodně a krajina 1997*. Sborník posterů. Brno, 1997.

FALŤAN, V. a BÁNOVSKÝ, M. Changes in land cover in the area of Vyšné Hágy– Starý Smokovec, impacted by the wind calamity in November 2004 (Slovakia). *Moravian Geographical Reports*, 2008. 16 (3), p. 16–26.

FELDMAN, A.D. (Ed.). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers. Washington, 2000. 149 s. Dostupný z [www](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html):

FJELLSTAD, W. J. a DRAMSTAD, W. E. Patterns of change in two contrasting Norwegian agricultural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 1999. 45 (4), p. 177–191.

FLANAGAN, D. C. a NEARING, M.A. *USDA - Water erosion prediction project: Hillslope profile and watershed model documentation* [online]. 1995, 2009-10-26 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18073>.

FORMAN, T. T. a GODRON, M. *Krajinná ekologie*. Academia Praha, Praha, 1993. 572 s.

FOSTER, G. R. a WISCHMEIER, W.H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. *Transactions of the ASAE*. 1974, vol. 17: 305–309.

FOSTER, G. R. Advances in Wind and Water Erosion Prediction. *Journal of Soil Water Conservation Engineering*. 1991, vol. 46, 27–29.

FOSTER, G. R., FLANAGAN, D.C., NEARING, M.A., LANE, L.J., RISSE, L.M. a FINKNER, S.C. Chapter 11: Hillslope Erosion Component. In *USDA - Water erosion prediction project: Hillslope profile and watershed model documentation*. 1995, vol. NSERL Report No. 10 Eds, FLANAGAN, D.C. a M.A. NEARING. USDA-ARS national Soil Erosion Research Laboratory.

GOVERS, G. Rill erosion on arable land in Central Belgium: rates, controls and predictability. *Catena*. 1991, vol. 18, 133–155.

- GOVERS, G. a VAN OOST, K. USLE2D Homepage: Division of Geography of K. U. Leuven. *Geography of K.U.Leuven* [online]. 2000 [cit. 2010-09-03]. Dostupné z: <http://geo.kuleuven.be/geography/modelling/erosion/usle2d/index.htm>.
- GROOM, G., MÜCHER, C. A., IHSE, M. a WRBKA, T. Remote sensing in landscape ecology: experiences and perspectives in a European context. *Landscape Ecology*, 2006. 21 (3), p. 391–408.
- GUTH, J. a KUČERA, T. Monitorování změn krajinného pokryvu s využitím DPZ a GIS. *Příroda*, 1997. 10, s. 107–124.
- HAASE, D., WALZ, U., NEUBERT, M. a ROSENBERG, M. Changes to Central European landscapes – Analysing historical maps to approach current environmental issues, examples from Saxony, Central Germany. *Land Use Policy*, 2007, 24 (1), p. 248 – 263.
- HAMRE, L. N., DOMAAS, S. T., AUSTAD, I. a RYDGREN, K. Land–cover and structural changes in a western Norwegian cultural landscape since 1865, based on an old cadastral map and field survey. *Landscape Ecology*, 2007, 22 (10), p. 1563–1574.
- HAVLÍČEK, M. Dlouhodobé změny ve využití krajiny v povodí Litavy. In: Kubíček P., Foltýnová D., Hiess J.: Geoinformační infrastruktury pro praxi, *II. národní kongres České asociace pro geoinformace*, Sborník přednášek a abstraktů, ČAGI, CD ROM, 2009.
- HAVLÍČEK, M., KREJČÍKOVÁ, B., CHRUDINA, Z., BOROVEC, R. a SVOBODA, J. Změny ve využití krajiny a na vodních tocích v povodí Veličky a v horních povodích Kyjovky a Svratky. *Acta Pruhoniana*, 2011. 99, s. 5 – 17.
- HAVLÍČEK, M., CHRUDINA, Z. a SVOBODA, J. Vývoj využití krajiny v geomorfologických celcích okresu Hodonín. *Acta Pruhoniana*, 2012, 100, s. 73–86.
- HAVLÍČEK, M. *Význam starých map pro studium změn krajiny v okrese Hodonín*. Brno, 2013. 280 s. Disertační práce. Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita.
- HEC - *Hydrologic Engineering Center*. US Army Corps of Engineers [online]. 2010 [cit. 2010-08-11]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/>
- HEYMANN, Y., STENMANS, CH., CROSSILLE, G. a BOSSARD, M. *CORINE Land Cover: Technical Guide*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1994. 137 p.
- HIETEL, E., WALDHARDT, R. a OTTE, A. Analysing land–cover changes in relation to environmental variables in Hesse, Germany. *Landscape Ecology*, 2004. 19 (5), p. 473–489.
- HLADNÝ, J., BLAŽEK, V., DVOŘÁK, V. a KUBÁT, J. *Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 1998. 163 s.
- HOLUŠA, J., KOČÁREK, P., MARHOUL, P. a SKOKANOVÁ, H. *Platycleis vittata* (Orthoptera: Tettigoniidae) in the northwestern part of its range is close to extinction: is this the result of landscape changes? *Journal of insect conservation*, 2012. 16 (2), p. 295–303.

- HOLÝ, M., VÁŠKA, J. a VRÁNA, K. Simulační model povrchového odtoku a erozního procesu. *Vodní hospodářství*. 1988, č. 10.
- HOUSE, W. A. a WARWICK, M. S. Hysteresis of the solute concentration/discharge relationship in rivers during storms. *Water Research* 32. 1998a. 2279-2290.
- HRÁDEK, F. *Model DES Q - verze 4.1 - Teorie modelu, díl 2*. AQUALOGIC Praha, 1998.
- HRÁDEK, F., JOHANOVSKÝ, Z., PODHRÁZSKÁ, J. a SPITZ, P. *Srážko-odtokové modely pro transformaci povodní krajiny (literární rešerše)*. Brno, 2000. 30 s.
- HRÁDEK, F. a KUŘÍK, P. *Maximální odtok z povodí. Teorie svahového odtoku a hydrologický model DesQ – MAXQ*. Praha: ČZU Praha. 2001, 37 s. ISBN 80-213-0782-X.
- CHMELOVÁ, R. *Historická a environmentální analýza změn využití krajiny a jejich vliv na odtokové poměry v povodí*. Disertační práce, Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie. Ostrava, 2006. 126 s.
- CHOW, V. T. *Handbook of Applied Hydrology. A Compendium of Water-resources Technology*. McGraw–Hill Book Company New York, 1964. 2334.
- CHRISTOPHER, S. F., MITCHELL, M. J., McHALE, M. R., BOYER, E. W., BURNS, D. A. a KENDALL, C. Factors controlling nitrogen release from two forested catchments with contrasting hydrochemical responses. *Hydrological Proceses* 22. 2008. 46-62.
- CHRASTINA, P. Vývoj krajiny jako fenomén environmentálních dějů (na příklade Trenčianskej kotliny a jej horskej obruby). *Historická geografie*, 2005. vol. 33, 9–19 s.
- JANEČEK, M. Degradace půdy v minulosti byla jedním z mnoha faktorů, které přispívaly k zániku civilizací. *Vesmír [online]*. 1996, roč. 72(č. 8), 457-462 [cit. 19. března 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.vesmir.cz/clanek/je-ochrana-pudy-nutna>.
- JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika*. Praha: ČZU, 2012. ISBN 978-80-87451-42-9.
- JANEČEK, M., KAČER, M. a TOMAN, F. *Diferenciace protierozních opatření podle erodovatelnosti půd a erozivity dešťů*. Výzkumná zpráva. Praha: ČZU, 2011.
- JENÍČEK, M. *Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích*. Článek ze sborníku Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. Praha: PřF UK, 2005, s. 112–126.
- JOHNES, P. J., MOSS, B. a PHILLIPS, B. The determination of total nitrogen and total phosphorus concentrations in freshwaters from land-use, stocking headage and population data: testing of a model for use in conservation and water quality management. *Freshwater Biology* 36. 1996. 451–473.
- KASPRZAK, K. *Vliv fyzikálních vlastností agropedosféry na tvorbu zásob podzemních vod*. Závěrečná zpráva dílčího výzkumného úkolu II-5-5/02. VVÚVSH – VUT, Brno. 1990.

- KLÖCKING, B. a HABERLANDT, U. Impact of land use changes on water dynamics - a case study in temperate meso and macroscale river basins. *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C. 2002, vol. 27(no. 9-10), 619–629.
- KOUPILOVÁ, M. *Analýza změn strukturálních charakteristik krajiny ve vazbě na intenzitu jejího využití a socio-ekonomické parametry*. Dizertační práce, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, Katedra krajinného managementu, České Budějovice, 2013.
- KOSTROWICKI, J. Instrukcja szczegółowego zdjęcia użytkowania ziemi. Wyd. 3 popr. I uzup., *Polska Akademia Nauk. Instytut Geografii*. Warszawa, 1962. 129 s.
- KOVÁŘ, P. *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích*. LF ČZU, Praha, 1994. Doktorská práce.
- KOVÁŘ, P., CUDLÍN, P., HEŘMAN, M., ZEMEK, F. a KORYTÁŘ, M. Analysis of flood events on small river catchments using KINFIL Model. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2002, vol. 50, 157–171.
- KOVÁŘ, P., DVOŘÁKOVÁ, Š. a KUBÁTOVÁ, E. Possibilities in using the direct runoff model KINFIL for a road network design. *Soil and Water Research*. 2006, 49–56.
- KOVÁŘ, P., KŘOVÁK, F. a SKLENIČKA, P. Vliv změn užívání krajiny na její ekologickou stabilitu a vodní režim. *Workshop 2002: Extrémní hydrologické jevy v povodních 12/11*, 2002, Praha, vydavatel ČVUT Praha, str. 99-106. ISBN 80-01--02686-8.
- KUBÁT, J. *Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky*. Souhrnná zpráva. MŽP odbor ochrany vod. Dostupné na WWW: <http://voda.chmi.cz/pov09/>
- KULHAVÝ, Z. a KOVÁŘ, P. *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*. Praha: VÚMOP, 2000, 96 s. ISSN 1211-3972.
- KUTÍLEK, M. *Vodohospodářská pedologie*. SNTL/ALFA, Praha, Bratislava, 1978, 296 s.
- KVÍTEK, T., MAZÍN, V. a FIŠEROVÁ, E. Využití půdního fondu ČR ve vztahu k retenci vody v krajině. *Povodně a krajina '97*. Sborník přednášek, ICID–CIID, Brno, 1997. s. 3/12–3/16.
- KVÍTEK, T., ŽLÁBEK, P., BYSTRICKÝ, V. FUČÍK, P., LEXA, M., GERGEL, J., NOVÁK, P. a ONDR, P. Changes of nitrate concentrations in surface waters influenced by land use in the crystalline complex of the Czech Republic. *Physics and Chemistry of the Earth* 34. 2009. 541-551.
- LACEY, G. C. a GRAYSON, R. B. Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia. *Journal of Hydrology*, 204 (1-4), 1998. 231-250 s.
- LAFLEN, J. M., THOMAS A. a WELCH, R. Cropland experiments for the WEPP project. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph. 1987, no. 87-2544.

- LIPSKÝ, Z. Změna struktury české venkovské krajiny. *Geografie – Sborník České geografické společnosti*, 1994, 99 (4), s. 248–260.
- LIPSKÝ, Z. The changing face of the Czech rural landscape. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 31, p. 39–45.
- LIPSKÝ, Z. Sledování změn v kulturní krajině: učební text pro cvičení z předmětu Krajinná ekologie. *Lesnická práce*, Kostelec nad Černými lesy, 2000. 71 s. ISBN 80-213-0643-2.
- LIPSKÝ, Z. a KVAPIL, D. Současné změny ve využití půdy (Nové funkce venkovské krajiny?). *Život. Prostr.*, 2000, roč. 34, č. 3, s. 148–153.
- LAL, R. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*. 2001, vol. 12(no. 6), 519–539 p. DOI: 10.1002/ldr.472.
- MACKOVČIN, P. Land use categorization based on topographic maps. *Acta Pruhoniciana*, 2009. 91, p. 5–13.
- MACKŮ, J. Systém komplexního hodnocení lesních půd, In: *Systém komplexního hodnocení půd*, projekt VaV 640/3/99, AOPAKČR. 2000.
- MACKŮ, J. Problematika stanovení hydrologických skupin půd v lesích. In: FIALOVÁ, J., ed.: *Krajinné inženýrství 2012*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2012. s. 15–22. ISBN 978-80-87384-03-9.
- MARHOUN, K. Úpravy toků a inundačních území a jejich vliv na průběh povodní. In *Povodně a krajina '97*. Sborník přednášek, ICID-CIID, Brno, 1997. S. 5/46-5/52.
- MAŠÁT, K. a kol. *Metodika vymezení a mapování bonitonovaných půdních jednotek*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha. Praha, 2002. 113 s. ISBN 80-238-9095-6.
- MC COOL, D. K., BROWN, L. C., FOSTER, G. R., MUTCHLER, C. K. a MEYER, L. D. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions ASAE*. 1987, vol. 30, 1387–1396.
- MC COOL, D. K., FOSTER, G. R., MUTCHLER, C. K. a MEYER, L. D. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions ASAE*. 1989, vol. 32, 1571–1576.
- MÍCHAL, I. Ekologická stabilita. *Veronica*, Brno, 1992. 244 s. ISBN 80-85368-22-6.
- MIKLÓS, L. Stabilita krajiny v Ekologickom genereli SSR. *Život. Prostr.*, 1986, roč. 20, č. 2, s. 87–93.
- MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M. a IVERSON, L. R. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Int. Journal of Geographical Information Science*, vol. 10(no. 5), 1996. 629–641.
- MORAVCOVÁ, J. *Vliv krajinných struktur na vybrané ukazatele jakosti vody při zvýšených průtocích jako podklad pro projekci KPÚ*. Dizertační práce, Jihočeská

univerzita, Zemědělská fakulta, Katedra krajinného managementu, České Budějovice, 2011.

MRKVIČKA, J., ŠANTRŮČEK, J. a VESELÁ, M. Retence a akumulace vody v zemědělské krajině. In: *Hydrologická bilance a možnosti zvyšování složek retence a akumulace vody*. Sborník přednášek. Praha, 1998.

MUSGRAVE, L. D. The quantitative eluation of factors in water erosion, a first approximation. *J. Soil and Water Conserv.* 2(3), 1947. 133-138

NEARING, M. A., LANE, L. J. a LOPES, V. L. Modeling soil erosion. In *Soil Erosion Research Methods*, Lal R. (ed.). Ankeny, IA: Soil Water Conservation Society. 1994, 127–157.

NEARING, M. A. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. *Soil Science Society of America Journal*. 1997, vol. 61(no. 3), 917–919.

NĚMEC, J. *Inženýrská hydrologie*. 1. vyd. SNTL, Praha, 1964. 236 s.

NĚMEC, J., POJER, F. A KOL.. *Krajina v České Republice*. Consult Praha, Praha, 2007. 399 s. ISBN 80-903482-3-8.

NOVOTNY, V. *Water Quality*. New Jersey: John Wiley & Sons. 864 s. 2003. ISBN 0-471-39633-8.

NOVOTNÝ, I. a VOPRAVIL, J. *Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek: bonitace zemědělského půdního fondu*. 4., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2013, 172 s. ISBN 978-80-87361-21-4.

OLAH, B. *Vývoj využitia krajiny Podpolania: starostlivosť o kultúrnu krajinu prechodnej zóny Biosférickej rezervácie Poľana*. Vedecke štúdie 1/2003/B, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 2003. 110 s.

OLAH, B., BOLTÍŽIAR a M., PETROVIČ, F. Land use changes' relation to georelief and distance in the East Carpathians Biosphere Reserve. *Ekológia Bratislava*, 2006. 25 (1), p. 68–81.

PAGE, D.I. Overland flow partitioning for rill and interrill erosion modeling. Tucson, 1988. M.S. Thesis. *University Of Arizona*, Tucson, AZ. 112 p.

PALANG, H., MANDER, U. a LUUD, A. Landscape diversity changes in Estonia. *Landscape and Urban Planning*, 1998. 41 (3–4), p. 163 – 169.

PASÁK, V., JANEČEK, M. a ŠABATA M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Ústav vědeckotechnologických informací pro zemědělství. Praha, 1983. 77 s.

PAVLÍK, F. *Kvantifikace přirozené vodní retenční schopnosti krajiny ve vybraných povodích*. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Brno, 2014. 140 s.

PITTER, P. *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT. 573 s. 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

SYLVIA, D. M., FUHRMANN, J. J., HARTEL, P. G. a ZUBERER, D. A. *Principles and Applications of Soil Microbiology*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 972 s. 1998. ISBN 978-0130941176.

PODHRÁZSKÁ, J. *Ochrana a organizace povodí vodárenské nádrže Nová Říše*. Disertační práce. Brno, MZLU v Brně, 2001. 133 s.

PODHRÁZSKÁ, J., STEJSKALOVÁ, D., KŽÍŽKOVÁ, S. a NOVOTNÝ, I. *Integrované řešení KPÚ a ochranných pásem v povodí vodárenské nádrže Hubenov*. Výstup etapy 06 výzkumného záměru MZE0002704901. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., oddělení pozemkových úprav Brno. Brno, 2008.

POUDEVIGNE, I., VAN ROOIJ, S., MORING, P. a ALARD, D. Dynamics of rural landscapes and their main driving factors: A case study in the Seine Valley, Normandy, France. *Landscape and Urban Planning*, 1997. 38 (1–2), 93–103

Povodí Moravy, s. p. VD Hubenov [online]. 2010-2014 [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila/hubenov/>

Pöyry Environment a.s. *Čisté povodí Svratky – realizace opatření – I. etapa*. Studie. Brno: Pöyry, 2006.

PUCHEROVÁ, Z. *Vývoj využití krajiny na rozhraní Zobora a Žitavskej pahorkatiny*. Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre Fakulta prírodných vied, Nitra, 2004. 147 s. ISBN 80-8050-735-X.

QUITT, E. *Klimatické oblasti Československa*. Academia, Studia Geographica 16, GÚ ČSAV v Brně, 1971, 73 s.

REFSGAARD, J. C. a STORM, B. *Construction, calibration and validation of hydrological models*. In: Abbott, M. B., Refsgaard, J. C. (1996): Distributed hydrological modelling. Kluwer, Dordrecht, 1996. p. 41–54.

RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A. a PORTER, J.P. RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil Water Conservation*. 1991, vol. 46, 30–33.

RENARD, K. G., FOSTER, G. R., LANE, L. J. a LAEN, J. M. Soil loss estimation. In *Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation*, Agassi M. (ed.). New York: Marcel Dekker. 1996. 169–202.

RIEDL, O., ZACHAR, D. a KOL. *Lesotechnické meliorace*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství Praha, 1973, 568 s.

SÁDLO, J., POKORNÝ, P., HÁJEK, P., DRESLEROVÁ, D. a CÍLEK, V. *Krajina a revoluce*. Praha: Malá skála, 2005. 256 s. ISBN 80-86776-02-6.

SANDEV, M. a KOL. *Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky*. Meteorologické příčiny povodní, dílčí zpráva. MŽP odbor ochrany vod. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/pov09/>

SCHINDLER, D. W. Widespread effects of climatic warming on freshwater ecosystems in North America. *Hydrological Processes* 11. 1997. 1043-1067.

- SCOPEL, C. ESRI. ArcGIS Resources [online]. 2011 [cit. 2012-01-03]. Dostupné z: <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2011/10/12/arc-hydro-tools-version-2-0-are-now-available>
- SEMORÁDOVÁ, E. *Ekologie krajiny*. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, 1998. 116 s.
- SEMOTANOVÁ, E. *Historická geografie Českých zemí*. Historický ústav AV ČR, Praha, 2006. 279 s.
- SCHWARZE, R., HERRMANN, A. a MENDEL, O. *Regionalization of runoff components for Central European basins*. IAHS Publ. No. 221, 1994. 493 – 502 s.
- SIMANTON, J. R., WEST, L. T., WELTZ, M. A. a WINGATE, G. D. Rangeland experiments for water erosion prediction project. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph. 1987, no. 87-2545.
- SKALOŠ, J. a ENGSTOVÁ, B. Methodology for mapping non – forest wood elements using historic cadastral maps and aerial photographs as a basis for management. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91 (4), p. 831–843.
- SKALOŠ, J., WEBER, M., LIPSKÝ, Z., TRPÁKOVÁ, I., ŠANTRŮČKOVÁ, M., UHLÍŘOVÁ, L. a KUKLA, P. Using old military survey maps and orthophotograph maps to analyse long-term land cover changes—Case study (Czech Republic). *Applied Geography*, 2011, 31 (2), p. 426–438.
- SKANES, H. M. a BUNCE, R. G. H. Directions of landscape change (1741–1993) in Virestad, Sweden—characterised by multivariate analysis. *Landscape and Urban Planning*, 1997, 38 (1–2), p.61–75.
- SKLENIČKA, P. *Základy krajinného plánování*. Naděžda Skleničková, Praha, 2003. 321 s.
- SKOKANOVÁ, H., HAVLÍČEK, M. a SLAVÍK, P. Analýza starých map, topologické chyby a návrh jejich odstranění. In Anonymus (ed.): *16. konference GIS ESRI a Leica Geosystems v ČR*, Sborník příspěvků, ARCDATA PRAHA, s. r. o., 2007. s. 85–88.
- SKOKANOVÁ, H. Application of methodological principles for assessment of land use changes trajectories and processes in South-Eastern Moravia for the period 1836–2006. *Acta Pruhoniana*, 2009, vol. 91. 15–21.
- SKOKANOVÁ, H. *Změny využívání krajiny, Dolní Podyjí, Bílé Karpaty a Beskydy*. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., 2012. Dostupné na WWW: http://www.zmeny-krajiny.cz/transeconet_historie.html
- SMITH, D.D. a WHITT, D.M. Evaluating soil losses from feld areas. *Agricultural Engineering*. 1948, vol. 29, 394–396.
- SOBOTKOVÁ, V. *Volumetrická kvantifikace projevů vodní eroze a jejich vliv na vybrané pedologické charakteristiky*. Brno, 2012. 121 s. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny.

SOUKUP, M. a HRÁDEK, F. *Instrukce pro optimální regulaci povrchového odtoku z povodí*. Praha: VUMOP Praha. 1999, 55 s.

SPITZ, P. a PRUDKÝ, J. *Metodika výpočtu retence povodí při povodních*. Uživatelský výstup projektu NAZV EP 9153 Hodnocení vodní retenční kapacity půd a krajiny při povodni a možnosti jejího zvyšování. Praha: VÚMOP Praha, 2000, 19 s. ISSN 1211-3972.

STARÝ, M. *HYDROG, software pro simulaci, predikci a operativní řízení odtoku vody z povodí*, Brno, 1991–2008.

STRÁNSKÁ, T. a HAVLÍČEK, M. Ecological Assessment of Landscape Development and Changes in the Ivančice Microregion (Czech Republic). *Moravian Geographical Reports*, 2008. 16 (1), p. 26–36.

SWETNAM, R. D. Rural land use in England and Wales between 1930 and 1998: Mapping trajectories of change with a high resolution spatio – temporal datas et. *Landscape and Urban Planning*, 2007. 81 (1–2), p. 91–103.

SYLVIA, D. M., FUHRMANN, J. J., HARTEL, P. G. a ZUBERER, D. A. *Principles and Applications of Soil Microbiology*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 972 s. 1998. ISBN 978-0130941176.

ŠAFARČÍKOVÁ, S. a KOUŘIL, M. Dusík, fosfor. In. brožura *Živiny v krajině* [online]. Daphne ČR v rámci projektu „Luční společenstva – indikátory živin v krajině“, 2006 [cit. 2014-09-13]. Dostupné z: http://www.daphne.cz/indikacezivin/images/ziv_web.pdf

ŠERCL, P. Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln. *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu*, ČHMÚ, Praha, 2009. 88 s. ISBN 978-80-86690-62-9.

ŠERCL, P. a KOL. *Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky*. Hydrologický průběh povodní, dílčí zpráva. MŽP odbor ochrany vod. 2009 [cit. 2014-09-13]. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/pov09/>

ŠTYCH, P. Comparative Analysis of the Impact of Slope Inclination and Altitude on Long – term Land Use Changes in Czechia. *AUC Geographica*, 2011. 46 (1), p. 71– 76.

ŠVIHLA, V. Možnosti zvýšení retenční schopnosti povodí v rámci řešení komplexních pozemkových úprav. In *Povodně a krajina '97*. Sborník přednášek, ICID-CIID, Brno, 1997. S. 8/15-8/18.

TONG, S. T. Y. a CHEN, W. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management* 66. 2002.377–393.

TOY, T.J., FOSTER, G.R. a RENARD, K.G. *Soil erosion: processes, prediction, measurement and control*. New York: Wiley, 2002, 352 p. ISBN 0-471-38369-4.

VEČERNÍK, R. *Změny krajinné struktury vybraného segmentu krajiny*. Diplomová práce. Masarykova univerzity, Přírodovědecká fakulta. Brno, 2008. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/85338/prif_m/ZMENA_KRAJINNE_STRUKTURY.txt

VEVERKA, B. *Topografická a tematická kartografie*. Praha, 2001 Vydavatelství ČVUT. 220 s.

VOPRAVIL, J., a KOL. *Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině* [online]. Praha: VÚMOP, 2010a [cit. 2011-05-10]. Dostupné na WWW: http://www.kompostuj.cz/fileadmin/1_Bioodpad_a_kompostovani/Vime_proc/vliv_cloveka_na_krajinu.pdf.

VOPRAVIL, J., VRABCOVÁ, T., KHEL, T., NOVOTNÝ, I. a BANÝROVÁ, J. Vývoj a degradace půd v podmínkách očekávaných změn klimatu. In *Voda v krajině*. 1. vyd. Lednice: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed), 2010b. ISBN 978-80-86690-79-7.

VUV T.G.M., v.v.i. *Metodika mapování povodňového rizika. Příloha Metodický návod pro identifikaci KB*, 2009 [cit. 2013-03-01]. Dostupné na WWW: http://www.povis.cz/mzp/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf

Vyhláška Ministerstva zemědělství 546/2002 Sb., kterou se mění vyhláška č. 327/1998 Sb., ze dne 15. prosince 1998, kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Webový archiv KPP. 2007-2014. [cit. 2014-01-06] Dostupné z: <http://wakpp.vumop.cz/>.

WILLIAMS, J. R. a BERNDT, H. D. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *ASAE, St Joseph, MI*. 1972. Paper 76-2535.

WILLIAMS, J. R. a BERNDT, H. D. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Transactions of ASAE*. 1977, vol. 20, 1100–1104.

WISCHMEIER, W. H. a SMITH, D. D. *Rainfall energy and its relationship to soil loss*. Transactions of AGU. 1958, vol. 39, 285–291.

WISCHMEIER, W. H. a SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. *Agricultural Handbook*. No. 537. 1978. *US Department of Agriculture*, Washington, DC.

WOODWARD, D. E. Method to predict cropland ephemeral gully erosion. *Catena*. 1999, vol. 37. 393–399.

ZAPLETAL, M., DUMBROVSKÝ, M. a KULHAVÝ, J. *Hodnocení negativního vlivu degradačních faktorů na půdu a návrh možností jeho omezení - vytvoření podkladů pro plnění požadavků daných návrhem Směrnice na ochranu půdy EU*. Brno, 2009. SP/2E3/172/07. Závěrečná zpráva pro MŽP. EKOTOXA, VUT v Brně, MENDELU.

ZINGG, A. W. Degree and length of slope as it affects soil loss in runoff. *Agricultural Engineering*. 1940, vol. 21, 59–64.

Zpráva o stavu vodního hospodářství MZe ČR z roku 2006.

ŽALOUĐÍK, J., ŠÍMA, M. a KOLEJKA, J. Změny krajiny v chráněném území a okolí NPR Velký a Malý Tisý. *Život. Prostr.*, 2005, roč. 39, č. 2, s. 83-87.

ŽIGRAI, F. *Krajina a jej využívanie*. Přírodovědecká fakulta UJEP, Brno, 1983. 131 s.

ŽLÁBEK, P. *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. České Budějovice, 2009. 129 s.

8 SEZNAM PUBLIKOVANÝCH PRACÍ

Kapitoly v knihách:

PAVLÍK, F., SOBOTKOVÁ, V., UHROVÁ, J. a LAGOVÁ, M. Degradace půdy vlivem eroze v České republice a v Norsku. In *Regenerace - rekultivace - revitalizace krajiny*. 1. Brno, Mendelova univerzita v Brně, 2012. p. 60–67. ISBN 978-80-7375-683-3.

PAVLÍK, F., UHROVÁ, J. Kvantifikace vodní eroze v drahách soustředěného povrchového odtoku. In *Degradace a regenerace krajiny*. 1. Brno, Mendelova univerzita v Brně. 2011. p. 294–299. ISBN 978-80-7375-583-6.

Abstrakty v impaktovaných časopisech:

DUMBROVSKÝ, M., UHROVÁ, J., PAVLÍK, F., VÁCHAL, J., VÁCHALOVÁ, R. a TESARŘ, M. *Effect of land consolidation and watershed conservation management on water quality in Hubenov water resource*. Chemické listy. Brno, Česká společnost chemická. 2011. 105(s871-s1072). p. 956–956. ISSN 0009-2770.

Články v recenzovaných časopisech:

DUMBROVSKÝ, M., SOBOTKOVÁ, V., PAVLÍK, F. a UHROVÁ, J. Objemová kvantifikace erozních rýh v povodí Šardického potoka. *Littera Scripta*. 2011. 4(1). p. 145–154. ISSN 1802-503X.

VAŠINOVÁ, K., DUMBROVSKÝ, M., PODHRÁZSKÁ, J., UHROVÁ, J. a PAVLÍK, F. Vliv změny faktoru erozní účinnosti deště na ekonomické hodnocení ochranných opatření v povodí. *Littera Scripta*. 2011. 4(2). p. 257–270. ISSN 1802-503X.

Další články související s tematikou práce:

2012

UHROVÁ, J., PAVLÍK, F. Využití systému DMT 10.0 při prostorovém plánování krajiny. In *Sborník anotací Juniorstav 2012*. Brno, LITERA BRNO. 2012. p. 1–7. ISBN 978-80-214-4393-8.

2011

DUMBROVSKÝ, M., PAVLÍK, F., SOBOTKOVÁ, V., UHROVÁ, J. a PODHRÁZSKÁ, J. Vyhodnocení příčinných faktorů v povodí Luhy při povodni v roce 2009. *Časopis Pozemkové úpravy MZe ČR – ÚPU, 2004*. 2011. 19(74). p. 1–7. ISSN 1214-5815.

UHROVÁ, J. a PAVLÍK, F. Zásady tvorby digitálního modelu terénu v prostředí microstationu jako podklad pro prostorové plánování krajiny. In *Zborník súťažných prác mladých odborníkov*. Bratislava, Slovenský hydrometeorologický ústav. 2011. p. 1–8.

2010

PAVLÍK, F., DUMBROVSKÝ, M., UHROVÁ, J. a SOBOTKOVÁ, V. Retenční schopnost povodí Jičínky za povodně v červnu roku 2009. In *Rizika ve vodním hospodářství 2010*. Brno, CERM. 2010. p. 37–44. ISBN 978-80-7204-703-1.

PAVLÍK, F. a UHROVÁ, J. Rozbor faktorů ovlivňujících erozní a odtokové poměry v povodí Luhy a Jičínky při povodni roku 2009. In *Workshop Adolfa Patery 2010 - Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Praha, Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost. 2010. p. 197–202. ISBN 978-80-02-02260-2.

UHROVÁ, J., DUMBROVSKÝ, M., PAVLÍK, F. a SOBOTKOVÁ, V. Volumetrická kvantifikace erozních procesů v ploše povodí. In *Rizika ve vodním hospodářství 2010*. Brno, CERM. 2010. p. 15 - 20. ISBN 978-80-7204-703-1.

2009

DUMBROVSKÝ, M., SOBOTKOVÁ, V., UHROVÁ, J. a PAVLÍK, F. Analýza faktorů rozhodujících pro vznik odtoku a erozního smyvu v povodí Luhy při povodni v roce 2009. In *Říční krajina 6*. první. Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci. 2009. p. 204–209. ISBN 978-80-244-2358-6.

UHROVÁ, J. a DUMBROVSKÝ, M. Erosive risk in the river-basin of Lubě with different climatic factor. In *II International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists, 20-22 May 2009 , Poznań, Poland*. 1. Poznań, Uczelniany Samorząd Doktorantów Politechniki Poznańskiej. 2009. p. 313 - 316. ISBN 978-83-926896-1-4.

HOŠKOVÁ, V., DUMBROVSKÝ, M., UHROVÁ, J. a PAVLÍK, F. Vyhodnocení přímého měření ztráty půdy v rámci vegetačního období. In *XII. mezinárodní vědecká konference*. 1. Brno, CERM. 2009. p. 61 - 62. ISBN 978-80-7204-629-4.

Další výsledky

Užitný vzor

UHROVÁ, J., SOBOTKOVÁ, V., DUMBROVSKÝ, M., DRONGOVÁ, K. a PAVLÍK, F. Vysoké učení technické v Brně. Zařízení pro volumetrickou kvantifikaci projevů vodní

eroze půdy v efemérních rýhách [užitný vzor]. Česká republika. Užitný vzor, CZ 25471 U1. Zapsáno 4. 6. 2013.

Specializovaná mapa s odborným obsahem

DUMBROVSKÝ, M., SOBOTKOVÁ, V. a UHROVÁ, J. Mapa efemérních rýh - Břeclav; Prostorová lokalizace míst potenciálního vzniku efemérních rýh v modelovém území okresu Břeclav. Ministerstvo zemědělství, Územní odbor ÚPU Jihomoravský kraj, Kotlářská 53, Brno, 602 00.

DUMBROVSKÝ, M., SOBOTKOVÁ, V. a UHROVÁ, J. Mapa eroze Břeclav; Prostorová lokalizace pozemků ohrožených vodní erozí v okrese Břeclav - dle nové metodiky Janeček a kol. (2012). Ministerstvo zemědělství, Územní odbor ÚPU Jihomoravský kraj, Kotlářská 53, 602 00 Brno.

DUMBROVSKÝ, M., SOBOTKOVÁ, V. a UHROVÁ, J. Mapa KB Břeclav; Identifikace míst povodňového ohrožení v okrese Břeclav. Ministerstvo zemědělství, Územní odbor ÚPU Jihomoravský kraj, Kotlářská 53, 602 00 Brno.

DUMBROVSKÝ, M., UHROVÁ, J. a SOBOTKOVÁ, V. Mapa CN po; Mapa prostorové lokalizace CN a odtokových charakteristik po PEO s využitím speciálních kultur. Ministerstvo zemědělství, Těšnov 17, 117 05 Praha 1.

DUMBROVSKÝ, M., UHROVÁ, J. a SOBOTKOVÁ, V. Mapa CN před; Mapa prostorové lokalizace CN a odtokových charakteristik před PEO s využitím speciálních kultur. Ministerstvo zemědělství, Těšnov 17, 117 05 Praha 1.

Dalších 7 publikací (články ve sbornících) zde neuvedených.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AGNSP	AGricultural Non-Point Source Pollution Model
aj.	a jiné
ANSWERS	Areal Non point Source Watershed Environment Response Simulation
AOPK	Agentura ochrany přírody a krajiny
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
BPEJ	bonitovaná půdně ekologická jednotka
BSK5	biochemická spotřeba kyslíku
CN	číslo odtokových křivek

CENIA	Czech Environmental Information Agency
CORINE	Co-ordination of Information on the Environment
CREAMS	Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems
č.	číslo
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČHP	číslo hydrologického pořadí
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
ČSSR	Československá socialistická republika
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální.
ČZU	Česká zemědělská univerzita
DIBAVOD	digitální báze vodohospodářských dat
DMT	digitální model terénu
DSO	dráha soustředěného odtoku
ESRI	Environmental Systems Research Institute
EUROSEM	The European Soil Erosion Model
GIS	geografický informační systém
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System
HPJ	hlavní půdní jednotka
HSP	hydrologické skupiny půd
CHSKMn	chemická spotřeba kyslíku manganometricky
IPS	index předchozích srážek
KB	kritický bod
Kč	koruna česká
KINFIL	hydrological model on small catchments
kol.	kolektiv
KPP	komplexního průzkumu půd
KPÚ	komplexní pozemková úprava
k. ú.	katastrální území
LG	laboratoř geoinformatiky
LISEM	The Limburg Soil Erosion Model
LT	lesní typ
LPIS	Land Parcel Identification System

mil.	milión
MO ČR	Ministerstvo obrany České republiky
MUSLE	Modifed Universal Soil Loss Equation
MZE	Ministerstvo zemědělství
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
např.	na příklad
N-NO ₃	Dusičnanový dusík
N-NH ₄	amoniakální dusík
obr.	obrázek
PEO	protierozní opatření
PHO	pásma hygienické ochrany
POVIS	povodňový informační systém
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
sb.	sbírka
SCS	Soil Conservation Service
SEOP	stupeň erozní ohroženosti
S-JTSK	jednotná trigonometrická síť katastrální
SMODERP	Simulační Model Povrchového Odtoku a ERozního Procesu
SLT	soubor lesních typů
s. p.	státní podnik
tab.	tabulka
tis.	tisíc
tj.	to je
TTP	trvalý travní porost
tzv.	tak zvaně
UH	Unit Hydrograph
ÚHÚL	Ústav pro hospodářskou úpravu lesů
UJEP	Univerzita Jana Evangelisty Purkyně
USA	United States of America
USLE	Universal Soil Loss Equation
UVHK	Ústav vodního hospodářství
VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
VN	vodárenská nádrž
v. v. i.	veřejná výzkumná instituce

VÚKOZ, v. v. i.	Výzkumného ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i.
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
VÚV TGM, v. v. i.	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.
VUT	Vysoké učení technické v Brně
WEPP	Water Erosion Prediction Project
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZPF	zemědělský půdní fond
ZZO	zóna zvýšené ochrany
ZÚN	zóna údolních niv

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Situace povodí Luhy.....	26
Obr. 2 Sklonitostní poměry v povodí Luhy.....	29
Obr. 3 Situace povodí VN Hubenov.....	30
Obr. 4 Sklonitostní poměry v povodí VN Hubenov.....	33
Obr. 5 Vzhled podkladu z I. vojenského mapování v oblasti povodí Luhy (http://oldmaps.geolab.cz/).....	34
Obr. 6 Vzhled podkladu z II. vojenského mapování v oblasti povodí Luhy (http://oldmaps.geolab.cz/).....	35
Obr. 7 Vzhled podkladu z III. vojenského mapování v oblasti povodí Luhy (http://kontaminace.cenia.cz/ , III. vojenské mapování © UJEP, CENIA, Ministerstvo životního prostředí).....	35
Obr. 8 Porovnání topografických map z roku 1954, 1991 a 2009 v povodí VN Hubenov	36
Obr. 9 Porovnání vzhledu krajinného pokryvu z roku 1956 a 2009 v povodí Luhy (Historická ortofotomapa © CENIA 2010 a GEODIS BRNO, spol. s r.o. 2010, Podkladové letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2009, Aktuální ortofotomapa © ČÚZK).....	37
Obr. 10 Porovnání vzhledu krajinného pokryvu z roku 1954 a 2009 v povodí VN Hubenov (Historická ortofotomapa © CENIA 2010 a GEODIS BRNO, spol. s r.o. 2010, Podkladové letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2009, Aktuální ortofotomapa © ČÚZK).....	37
Obr. 11 Vliv IPS na změnu CN obsahu vody v půdě (Janeček a kol., 2012).....	45
Obr. 12 Řešení maximální intenzity odtoku ze svahu – Varianta S1 (Hrádek a Kuřík, 2001).....	48

Obr. 13 Porovnání variant řešení maximální intenzity odtoku ze svahu (Hrádek a Kuřík, 2001).....	49
Obr. 14 Schematizace povodí Luhy pro HEC-HMS	51
Obr. 15 Základní odtok v HEC-HMS – metoda exponenciálního poklesu (Feldman, 2000)	53
Obr. 16 Procentuální zastoupení jednotlivých druhů krajinného pokryvu v daných letech v povodí Luhy v letech	56
Obr. 17 Podíly ploch jednotlivých kultur v rámci ZPF v daných letech v povodí Luhy ...	59
Obr. 18 Vývoj průměrné hodnoty ztráty půdy v povodích IV. řádu	62
Obr. 19 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L1 na povodí Luhy.....	71
Obr. 20 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L2 na povodí Luhy.....	72
Obr. 21 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L3 na povodí Luhy.....	72
Obr. 22 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L4 na povodí Luhy.....	72
Obr. 23 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L5 na povodí Luhy.....	73
Obr. 24 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L6 na povodí Luhy.....	73
Obr. 25 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L7 na povodí Luhy.....	73
Obr. 26 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L8 na povodí Luhy.....	74
Obr. 27 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy ve sledovaných obdobích u linie L9 na povodí Luhy.....	74
Obr. 28 Jednodenní stoleté srážkové úhrny dle ČHMÚ pro povodí Luhy a rozložení příčinných srážek z 24. 6. 2009.	75
Obr. 29 Grafické zobrazení změny CN v průběhu let	76
Obr. 30 Hydrogramy povodí 1, 9 a 18 v letech při zaznamenané srážce z 24. 6. 2009	80
Obr. 31 Hydrogramy povodí 2, 13 a 25 v letech při zaznamenané srážce z 24. 6. 2009 ...	80
Obr. 32 Průběh změny výšky přímého odtoku H_o při různém krajinném pokryvu.....	81
Obr. 33 Zobrazení objemu přímého odtoku O_{pH} při různém krajinném pokryvu	82

Obr. 34 Průběh vývoje jednotkového specifického odtoku q při různém krajinném pokryvu.....	83
Obr. 35 Hydrogramy povodí 1, 9 a 18 v letech při max. hodnotách 24hodinových srážek za rok	86
Obr. 36 Hydrogramy povodí 2, 13 a 25 v letech při max. hodnotách 24hodinových srážek za rok	86
Obr. 37 Zobrazení výšky přímého odtoku H_o při různém krajinném pokryvu	87
Obr. 38 Zobrazení objemu přímého odtoku O_{pH} při různém krajinném pokryvu	87
Obr. 39 Zobrazení jednotkového specifického odtoku q při různém krajinném pokryvu....	88
Obr. 40 Závislost jednotkového specifického odtoku q na čísle CN	89
Obr. 41 Závislost potenciální retence A na čísle CN.....	89
Obr. 42 Výsledné hydrogramy pro srážku ze stanice Bělotín	90
Obr. 43 Výsledné hydrogramy pro srážku ze stanice Hodslavice.....	91
Obr. 44 Procentuální zastoupení jednotlivých druhů krajinného pokryvu v daných letech v povodí VN Hubenov v letech	93
Obr. 45 Podíly ploch jednotlivých kultur v rámci ZPF v daných letech v povodí VN Hubenov.....	93
Obr. 46 Vývoj průměrné hodnoty ztráty půdy v povodích IV. řádu VN Hubenov.....	97
Obr. 47 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy v letech u linie L1 na povodí VN Hubenov.....	101
Obr. 48 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty v letech půdy u linie L2 na povodí VN Hubenov.....	102
Obr. 49 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy v letech u linie L3 na povodí VN Hubenov.....	102
Obr. 50 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty v letech půdy u linie L4 na povodí VN Hubenov.....	102
Obr. 51 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty v letech půdy u linie L5 na povodí VN Hubenov.....	103
Obr. 52 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty v letech půdy u linie L6 na povodí VN Hubenov.....	103
Obr. 53 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty v letech půdy u linie L7 na povodí VN Hubenov.....	103
Obr. 54 Grafické znázornění vývoje průměrného čísla CN na povodí závěrových profilů	105

Obr. 55 Hydrogramy povodí 3, 7 a 15 v letech při max. hodnotách 24hodinových srážek za rok	108
Obr. 56 Hydrogramy povodí 1, 5 a 10 v letech při max. hodnotách 24hodinových srážek za rok	108
Obr. 57 Zobrazení výšky přímého odtoku H_o při různém krajinném pokryvu	109
Obr. 58 Vývoj objemu přímého odtoku OpH při různém krajinném pokryvu.....	109
Obr. 59 Zobrazení jednot. specifického odtoku q při různém krajinném pokryvu	110
Obr. 60 Závislost jednotkového specifického odtoku na čísle CN	111
Obr. 61 Závislost potenciální retence na čísle CN	111
Obr. 62 Přehledná mapa odběrných profilů s vyznačením povodí	112
Obr. 63 Vývoj hodnot BSK_5 v profilu na Jedlovském potoce	116
Obr. 64 Vývoj hodnot $ChSKCr$ v profilu na Jedlovském potoce.....	116
Obr. 65 Vývoj hodnot $N-NH_4$ v profilu na Jedlovském potoce	116
Obr. 66 Vývoj hodnot $N-NO_3$ v profilu na Jedlovském potoce	117
Obr. 67 Vývoj hodnot celkový P v profilu na Jedlovském potoce.....	117
Obr. 68 Vývoj hodnot nerozpuštěných látek v profilu na Jedlovském potoce.....	118
Obr. 69 Vývoj hodnot BSK_5 v profilu na Maršovském potoce.....	118
Obr. 70 Vývoj hodnot $ChSK-Cr$ v profilu na Maršovském potoce.....	119
Obr. 71 Vývoj hodnot $N-NH_4$ v profilu na Maršovském potoce.....	119
Obr. 72 Vývoj hodnot $N-NO_3$ v profilu na Maršovském potoce.....	119
Obr. 73 Vývoj hodnot celkového P v profilu na Maršovském potoce	120
Obr. 74 Vývoj hodnot nerozpuštěných látek v profilu na Maršovském potoce.....	120
 Tab. 1 Povodí IV. řádu v řešené části povodí Luhy	27
Tab. 2 Zastoupení HPJ v povodí Luhy	28
Tab. 3 Procentuální zastoupení HSP v povodí Luhy.....	28
Tab. 4 Stručné charakteristiky potoků v povodích (Podhrázská, 2008).....	30
Tab. 5 Odběrné profily povodí Moravy, s.p. (Podhrázská, 2008).....	31
Tab. 6 Zastoupení HPJ v povodí VN Hubenov	32
Tab. 7 Dnešní procentuální zastoupení HSP v povodí VN Hubenov.....	33
Tab. 8 Struktury osevní rotace a vypočtené hodnoty C faktoru	42
Tab. 9 Index předchozích srážek (Pasák a kol., 1983)	45

Tab. 10 Klasifikace potenciálních vlastností vodního režimu (Macků, 2012).....	46
Tab. 11 Vyhodnocení krajinného pokryvu v průběhu let v povodí Luhy	58
Tab. 12 Vyhodnocení krajinného pokryvu v průběhu let v povodí Luhy	58
Tab. 13 Plošné výměry navržených opatření	60
Tab. 14 Průměrná ztráta půdy na celé povodí Luhy	61
Tab. 15 Míra poškození zemědělských půd ztrátou půdy na povodí Luhy	63
Tab. 16 Průměrná ztráta půdy povodí IV. řádu v povodí Luhy.....	64
Tab. 17 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-051	65
Tab. 18 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-052	65
Tab. 19 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-053	65
Tab. 20 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-054	65
Tab. 21 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-055	66
Tab. 22 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-056	66
Tab. 23 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-057	66
Tab. 24 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-058	66
Tab. 25 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-059	67
Tab. 26 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-060	67
Tab. 27 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-061	67
Tab. 28 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-062	67
Tab. 29 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 2-01-01-063	68
Tab. 30 Průměrná ztráta půdy v povodích závěrových profilů v povodí Luhy	69
Tab. 31 Modelové ztráty půdy u výpočtových linií na povodí Luhy stanovené modelem WEPP	71
Tab. 32 Průměrná hodnota čísla CN na povodí k závěrovým profilům	77
Tab. 33 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro skutečnou srážku ze dne 24.6.2009 v letech 1956, 1995 a 2005.....	78
Tab. 34 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro skutečnou srážku ze dne 24.6.09 v letech 2009, 2013 a návrhovém stavu	79
Tab. 35 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro max. hodnoty 24hodinových srážek za rok v letech 1956, 1995 a 2005.....	84
Tab. 36 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro max. hodnoty 24hodinových srážek za rok v letech 2009, 2013 a návrhový stav	85
Tab. 37 Stav KPÚ v povodí VN Hubenov	92

Tab. 38 Skladba krajinného pokryvu v letech na povodí VN Hubenov	94
Tab. 39 Skladba krajinného pokryvu v letech na povodí VN Hubenov	94
Tab. 40 Plošné výměry navržených opatření	95
Tab. 41 Průměrná ztráta půdy na celé povodí VN Hubenov	96
Tab. 42 Míra poškození zemědělských půd ztrátou půdy na povodí VN Hubenov	98
Tab. 43 Průměrná ztráta půdy z povodí IV. řádu v povodí VN Hubenov	98
Tab. 44 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 4-16-01-024	99
Tab. 45 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 4-16-01-025	99
Tab. 46 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 4-16-01-026/3	99
Tab. 47 Míra erozního ohrožení půd v ČHP 4-16-01-028	100
Tab. 48 Modelové ztráty půdy v letech u odtokových linií na povodí VN Hubenov stanovené modelem WEPP	101
Tab. 49 Číselné vyjádření vývoje čísla CN v letech	104
Tab. 50 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro max. hodnoty 24hodinových srážek za rok v letech 1954, 1991 a 2005	106
Tab. 51 Odtokové charakteristiky povodí závěrových profilů pro max. hodnoty 24hodinových srážek za rok v letech 2009, 2013 a návrhový stav	107
Tab. 52 Limitní hodnoty sledovaných látek pro zatřídění dle ČSN 75 7221	113
Tab. 53 Hodnocení látek v profilu Maršovského potoka v Ježeně	114
Tab. 54 Hodnocení látek v profilu Jedlovský potok - Hubenov nad přivaděčem	115