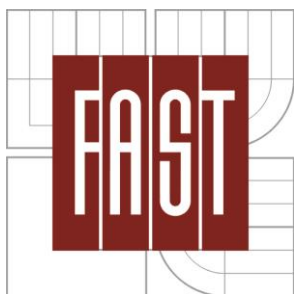


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

DIZERTAČNÍ PRÁCE – ZKRÁCENÁ VERZE  
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Ing. JANA UHROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV DUMBROVSKÝ, CSc.

BRNO 2015

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

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

## **KEY WORDS**

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

Práce je uložena v knihovnickém informačním centru, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno.

# OBSAH

OBSAH.....	3
1 ÚVOD.....	5
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	6
2.1 Rozbor historického hodnocení krajiny .....	6
2.2 Využívání a změny české krajiny .....	7
2.3 Metody pro stanovení charakteristik odtoku.....	7
2.4 Metody pro stanovení ztráty půdy erozí .....	8
3 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE .....	8
4 MATERIÁL A METODY ŘEŠENÍ .....	9
4.1 Metody pro vyhodnocení ztráty půdy .....	10
4.1.1 Využití programu ArcGIS pro výpočet ztráty půdy.....	10
4.1.2 Využití erozního modelu WEPP.....	10
4.2 Rozbor odtokových poměrů.....	10
4.2.1 Metoda čísel odtokových křivek .....	11
4.2.2 Srážko-odtokové modelování - HEC-HMS.....	11
5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A DISKUSE.....	12
5.1 Vyhodnocení území povodí .....	12
5.2 Stanovení míry erozního ohrožení na povodí .....	13
5.2.1 Výpočet ztráty půdy stanovená pomocí programu ArcGIS.....	13
5.2.2 Stanovení ztráty půdy modelem WEPP.....	16
5.3 Vyhodnocení odtokových poměrů na povodí .....	16
5.3.1 Metoda čísel odtokových křivek .....	16
5.3.2 Srážko-odtokový model – HEC-HMS .....	19
5.4 Vyhodnocení látkových odnosů na toku nad VN Hubenov.....	20
6 ZÁVĚR A PŘÍNOS DIZERTAČNÍ PRÁCE PRO ROZVOJ VĚDNÍ DISCIPLÍNY .....	22
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	23



# 1 ÚVOD

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 historického 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, dále práce Chmelové (2006) se zaměřením na vliv změny krajiny na odtokové poměry na části povodí Krupé a práce Žlábka (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.

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 zabývala také touto problematikou.

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.

Rozhodující vliv na vznik povrchového odtoku a jeho negativní důsledky mají geografičtí, 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.

## 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 např. Lipský (1994, 1995) a v současnosti Skaloš a Engstová (2010) a další. Topografické mapy středního měřítko umožňují polohově poměrně přesné sledování změn v krajině od poloviny 19. století.

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).

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).

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).

## 2.2 VYUŽÍVÁNÍ A ZMĚNY ČESKÉ KRAJINY

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 (Němec, Pojer a kol., 2007). 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.

Skladba využití krajiny je velmi významným hydrologickým činitelem. Množství lesních, travních porostů, orné půdy má podstatný vliv na vodní režim krajiny. Orná půda 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 (Kasprzak, 1990 in Chmelová, 2006).

Vliv využívání krajiny na její hydrologický režim řešili různí autoři, 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, na který jsem se zaměřila v této práci.

## 2.3 METODY PRO STANOVENÍ CHARAKTERISTIK ODTOKU

K odvozování  $Q_N$  na povodích bez přímého pozorování průtoků jsou v zásadě možné a v hydrologické praxi používané přístupy uváděné Šerclem (2009): použití empirických regresních vzorců, použití vhodných deterministických srážko-odtokových modelů.

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.

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). Široce používaný velice celistvý model (HEC, 2010).

## **2.4 METODY PRO STANOVENÍ ZTRÁTY PŮDY EROZÍ**

Od roku 1930 je problematika stanovení eroze půdy zájmem řešení, byla k tomu účelu vyvinuta řada modelů (např. USLE, RUSLE, MUSLE, CREAMS, ANSWERS, AGNPS, WEPP, atd.). K určování ohroženosti zemědělských půd vodní erozí a k hodnocení účinnosti navrhovaných protierozních opatření se podobně jako v jiných zemích tak i v České republice používá tzv. „Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí – USLE“ (Wischmeier a Smith, 1978). Podrobný popis USLE a jednotlivých faktorů včetně jejich stanovení je uveden v metodice Janeček a kol. (2012). Byl také vyvinut revidovaný model RUSLE, který aktualizuje rovnici o data získaná po roce 1978, který se liší ve stanovení některých hodnot faktorů (Renard a kol., 1991).

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.

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). Další možný způsob stanovení LS faktoru je prezentovaný v literatuře Mitášová a kol. (1996).

## **3 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE**

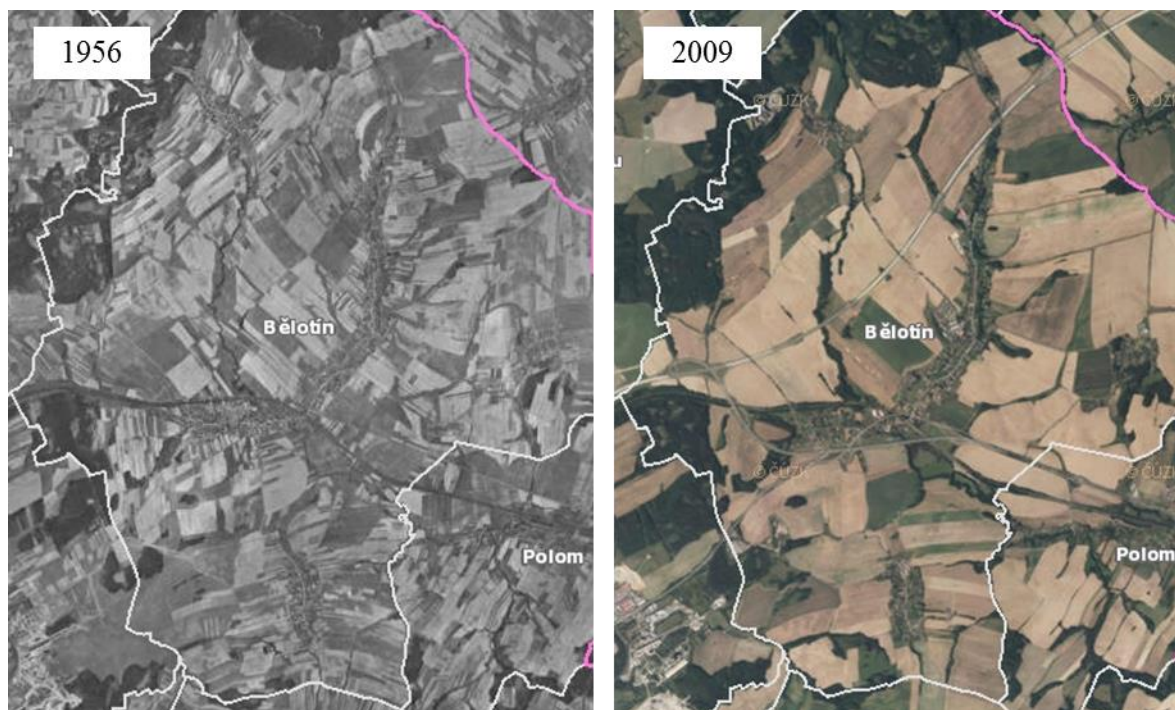
Jak vyplývá z názvu práce, cílem dizertační práce je posoudit vliv změn využití krajiny na erozní a odtokové poměry. Vyhodnotit scénáře krajinných pokryvů ve čtyřech hlavních obdobích, a to v padesátých letech a devadesátých letech dvacátého století, v období dnešního stavu krajiny v podobě podrobného každoročního zhodnocení od roku 2002 a v období po návrhu ochranných opatření, tj. stavu návrhového. Tento komplexní cíl v sobě zahrnuje dále uvedené dílčí cíle:

1. Posoudit vliv využití krajiny na výši ztráty půdy ve variantních scénářích krajinného pokryvu. V souladu s vymezeným cílem stanovit a porovnat ztrátu půdy dvěma způsoby hodnocení.
2. Provést analýzu a posouzení ovlivňování stavů krajinného pokryvu v jednotlivých studovaných obdobích na odtokové poměry. Jednotlivé scénáře krajiny podrobit dlouhodobě stanoveným srážkovým úhrnům i skutečným srážkovým událostem.
3. Dílčím cílem práce je sestavení srážko-odtokového modelu a jeho vystavení skutečné srážce zaznamenané v povodí.
4. Vývoj změn využití území v ploše posoudit i s ohledem na zaznamenaná měření koncentrací vybraných látek v měřených profilech toků v povodí.

#### 4 MATERIÁL A METODY ŘEŠENÍ

Jako zájmové území bylo vybráno povodí Luhy o rozloze 95,66 km<sup>2</sup> pro charakter svých geografických činitelů a opakovaný výskyt povodňových stavů. V povodí je vysoké procento zastoupení půd s nízkou intenzitou vsaku, HSP typu C a D. Druhým modelovým územím se stalo povodí vodárenské nádrže Hubenov s odlišnými půdními i klimatickými vlastnostmi, zaujímající plochu 47,70 km<sup>2</sup>, kde převládá mozaika kambizemí nenasycených s různou příměsí štěrku.

Změny využití krajiny byly studovány na základě různých zdrojů, starých topografických map, leteckých a družicových snímků (obr. 1), map katastru nemovitostí, geodetických map a map pozemkové evidence.



Obr. 1 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)

Krajinné pokryvy z let padesátých a devadesátých 20. století vznikaly vektorizací podkladových map. U tvorby krajinného pokryvu z následujících let bylo využito současných elektronických zdrojů (databáze LPIS, ÚHUL, ZABAGED,...). 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.

## **4.1 METODY PRO VYHODNOCENÍ ZTRÁTY PŮDY**

### **4.1.1 Využití programu ArcGIS pro výpočet ztráty půdy**

Pro identifikaci plošné ztráty půdy vlivem vodní eroze bylo využito stanovení ztráty půdy pomocí GIS analýz v prostředí ArcGIS, kde byla aplikována rovnice Wischmeier a Smith (1978). 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. Pro tvorbu rastrových podkladů uvedených faktorů byla použita velikost buňky 5 krát 5 m. U faktorů R a P byly použity konstantní hodnoty ( $R = 40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$  a  $P = 1,0$ , případně  $P = 0,7$  pro historický stav z let padesátých. Pro stanovení LS faktoru byl v práci použit program USLE2D (Govers a Van Oost, 2000) při algoritmu podle McCoola (1987 a 1989), který využívá metodu výpočtu LS faktoru uvedenou v RUSLE. 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. Z průměrných struktur zemědělských plodin se vycházelo při stanovení vrstvy C faktoru. Výsledkem je rastrový mapový podklad udávající plošnou lokalizaci jednotlivých zadaných kategorií průměrné dlouhodobé ztráty půdy  $G$  ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ). Vygenerované výsledné ztráty půdy vstupovaly do dalších výpočtů a grafů uvedených v práci.

### **4.1.2 Využití erozního modelu WEPP**

Stanovení vlivu krajinného pokryvu na erozní projevy na půdě probíhalo také pomocí modelu WEPP (Water Erosion Prediction Project, USA), simulačního modelu pro řešení odtoku a eroze, na jednotlivém svahu a v malém zemědělsko-lesním povodí (Renard a kol., 1991). Simulace procesu eroze prováděného na reprezentativních odtokových liniích rozlišuje kinetické rozrušování půdy dešťovými kapkami, plošnou a rýžkovou erozi i erozi rýhovou vyvolanou soustředěným odtokem (Janeček a kol., 2012). 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.

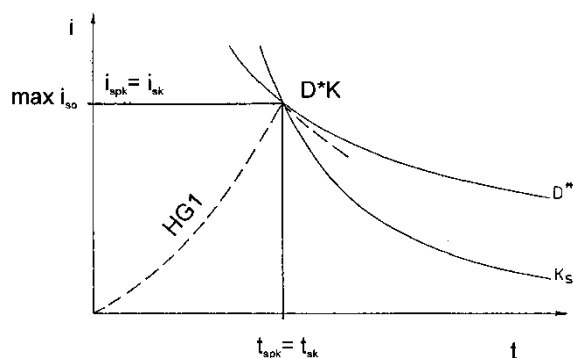
## **4.2 ROZBOR ODTOKOVÝCH POMĚRŮ**

Pro stanovení odtoku bylo řešené povodí schematizováno na jednotlivá subpovodí a dále byly stanoveny sběrná povodí k vneseným závěrovým profilům

rozhodujících z hlediska tvorby soustředěného odtoku o ploše od 0,3 do 10,0 km<sup>2</sup>. Pro rozbor odtokových poměrů v rámci jednotlivých zvolených období byla použita metoda čísel odtokových křivek v modifikaci modelu DesQ–MAXQ a model HEC–HMS. Zásadním a měnícím se faktorem u obou metod je číslo CN stanovené na základě hydrologických skupin půd, indexu předchozího nasycení a krajinného pokryvu, způsobu obdělávání. Na lesních plochách stanovení vycházelo z metodiky Macků vycházející z lesních typů.

#### 4.2.1 Metoda čísel odtokových křivek

Metoda čísel odtokových křivek byla k výpočtu použita v prostředí modelu DesQ–MAXQ, kde byla využita varianta výpočtu maximálních N-letých (návrhových) průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných přívalovými dešti „kritické“ doby trvání. Na povodí byly aplikovány max. hodnoty 24hodinových srážek za rok  $i$  a intenzita skutečné srážky z června 2009. 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. 2 Řešení maximální intenzity odtoku ze svahu (Hrádek a Kuřík, 2001)

Z výsledků byly pro práci významné stanovené maximální průtoky  $Q$  v m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a vypočtené časové řady pro generování hydrogramů jednotlivých povodí. Už mimo model DesQ–MAXQ byly stanoveny další hodnoty specifikující nastalé odtokové stavy v povodí.

#### 4.2.2 Srážko-odtokové modelování - HEC–HMS

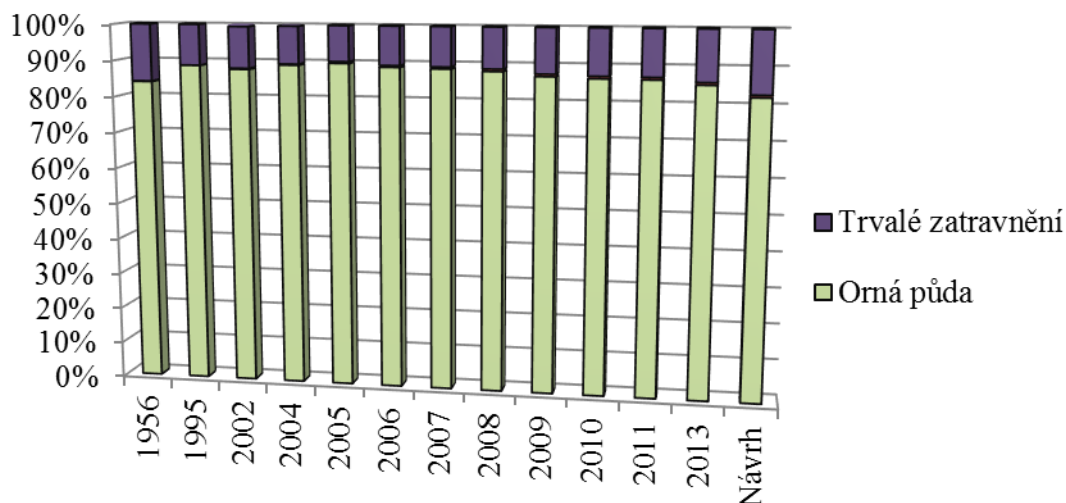
Konkrétní vliv změn krajiny v povodí Luhy na odtokové poměry a retenci povodí byl posouzen s využitím srážko-odtokového modelu HEC–HMS jehož prostřednictvím byl následně ve stanovených časových údobích skutečný pokryv krajiny podroben přívalové srážce, která v červnu 2009 způsobila povodňovou situaci 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. V první fázi výpočtu bylo třeba vytvořit schematizaci srážko-odtokového modelu. Ta byla provedena v prostředí GIS s využitím nástrojů HEC–GeoHMS (HEC, 2010) a ArcHydro tools (Scopel, 2011), které pracují nad hydrologicky korektním DMT. 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)  $R$ . Další součástí srážko-odtokového modelu, parametry zadávané přímo v programu HEC-HMS, byl způsob výpočtu podzemního odtoku (recesní metoda) a odtoku korytem (metoda Muskingum-Cunge).

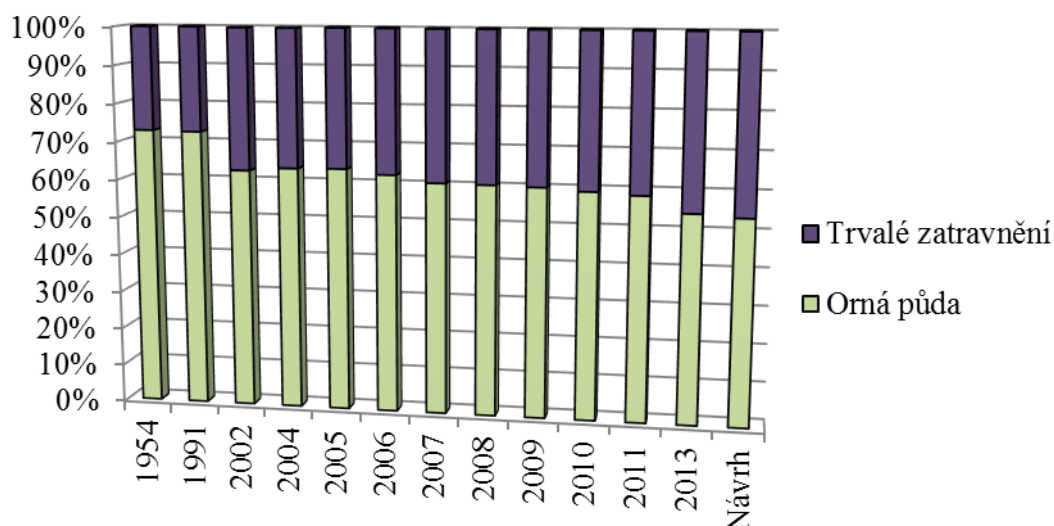
## 5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A DISKUSE

### 5.1 VYHODNOCENÍ ÚZEMÍ POVODÍ

Faktor s významným vlivem na možné dopady povodní z přívalových srážek i regionálních srážek a možný výskyt erozních jevů v povodí je způsob využití území. Jednotlivé plochy byly zceleny do tří základních skupin, plochy ZPF, ostatní plochy a plochy s lesním porostem. Pro naplnění podstaty práce je zásadní způsob využití ploch ZPF (obr. 3 a 4). V povodích dochází od padesátých let dvacátého století k neustálému snižování těchto ploch způsobenému zábořem ploch zemědělsky využívaných do kategorie ploch ostatních, převážně k zastavění. U lesních ploch nedochází řádově ke změnám. Rozhodující pro stanovení ztráty půdy na zemědělsky využívaných pozemcích je podíl ploch zorněných a trvale zatravněných. V rámci ploch ZPF, které zaujímají v obou povodích největší podíl plochy, dochází k převodu orné půdy na louky a pastviny vlivem dotační politiky státu. 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. 3 Podíly ploch jednotlivých kultur v rámci ZPF v daných letech v povodí Luhy



Obr. 4 Podíly ploch jednotlivých kultur v rámci ZPF v daných letech v povodí VN Hubenov

## 5.2 STANOVENÍ MÍRY EROZNÍHO OHROŽENÍ NA POVODÍ

### 5.2.1 Výpočet zráty půdy stanovená pomocí programu ArcGIS

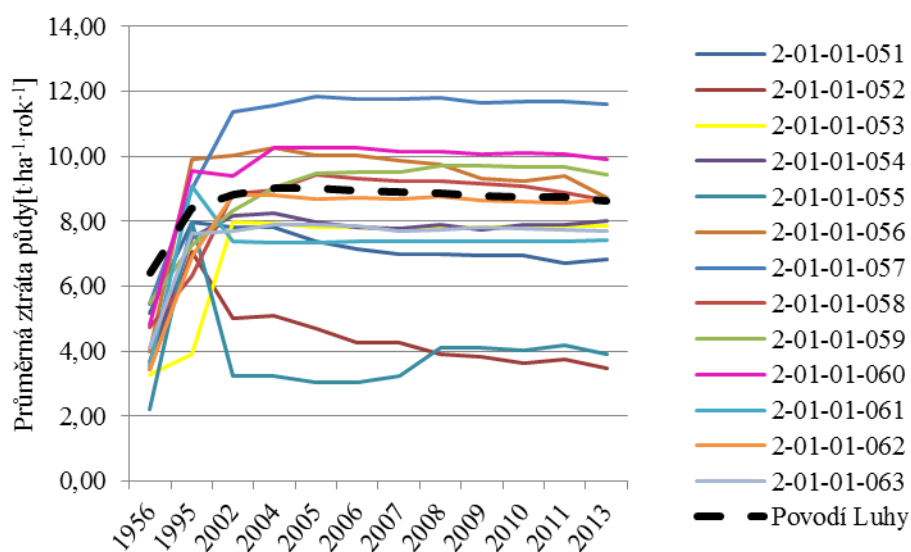
Předmětem řešení bylo vyhodnocení míry erozní ohroženosti pozemků (se specifikací ploch přímo ohrožujících zastavěnou část obcí) s přesností na pozemky na základě rovnice Wischmeier a Smith v modifikaci GIS s využitím programu USLE 2D při algoritmu podle McCoola (1987 a 1989). Výpočty byly provedeny průměrně za celé povodí, k povodí IV. řádu a ke stanoveným kritickým povodím z hlediska soustředěného povrchového odtoku.

Tab. 1 Průměrná ztráta půdy na celé povodí

Rok	Povodí Luhy		Povodí VN Hubenov	
	Plocha ZPF [ha]	Průměrná ztráta půdy [ $t\ ha^{-1}\ rok^{-1}$ ]	Plocha ZPF [ha]	Průměrná ztráta půdy [ $t\ ha^{-1}\ rok^{-1}$ ]
1950	7054,08	4,49	3057,06	2,54
1990	6737,54	8,37	2833,45	3,14
2002	6204,16	8,84	2466,66	4,41
2004	6175,47	9,02	2431,34	4,33
2005	5969,74	9,02	2308,03	4,26
2006	5976,38	8,95	2294,87	4,13
2007	5925,52	8,89	2295,11	3,94
2008	5933,88	8,88	2296,38	3,93
2009	5917,49	8,77	2293,32	3,90
2010	5919,28	8,75	2298,66	3,95
2011	5901,81	8,73	2309,77	3,85
2013	5946,87	8,61	2319,87	3,55
Návrh	5944,58	6,23	2319,57	3,01

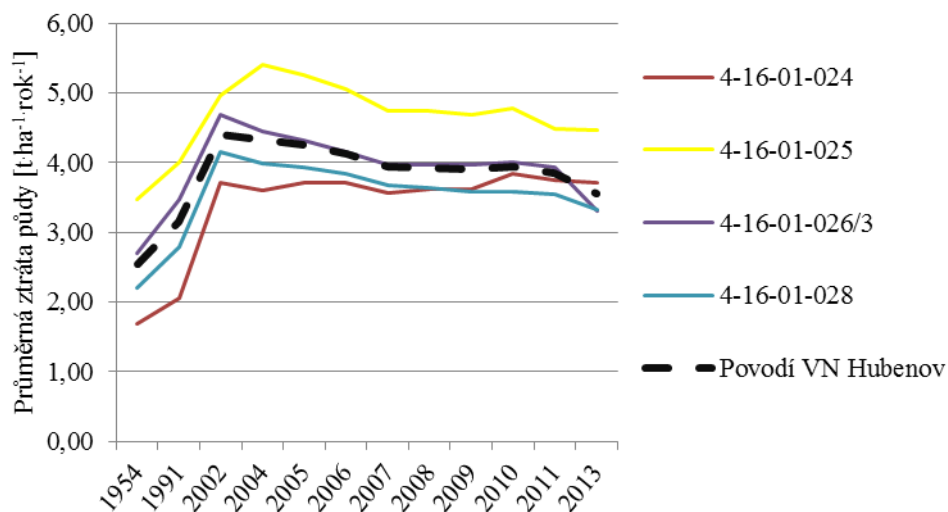
Modelová povodí mají rozdílný vývoj krajinného pokryvu, jehož vliv je zaznamenán průběhem křivek míry erozního ohrožení (obr. 5). Po dvojnásobném až

trojnásobném nárůstu erozního ohrožení mezi padesátými a devadesátými lety 20. století došlo v povodí Luhy k ustálení hodnot ztráty půdy se zaznamenaným jen velmi pozvolným poklesem v letech následujících. Tento stav je z hlediska ochrany povodí Luhy nevyhovující.



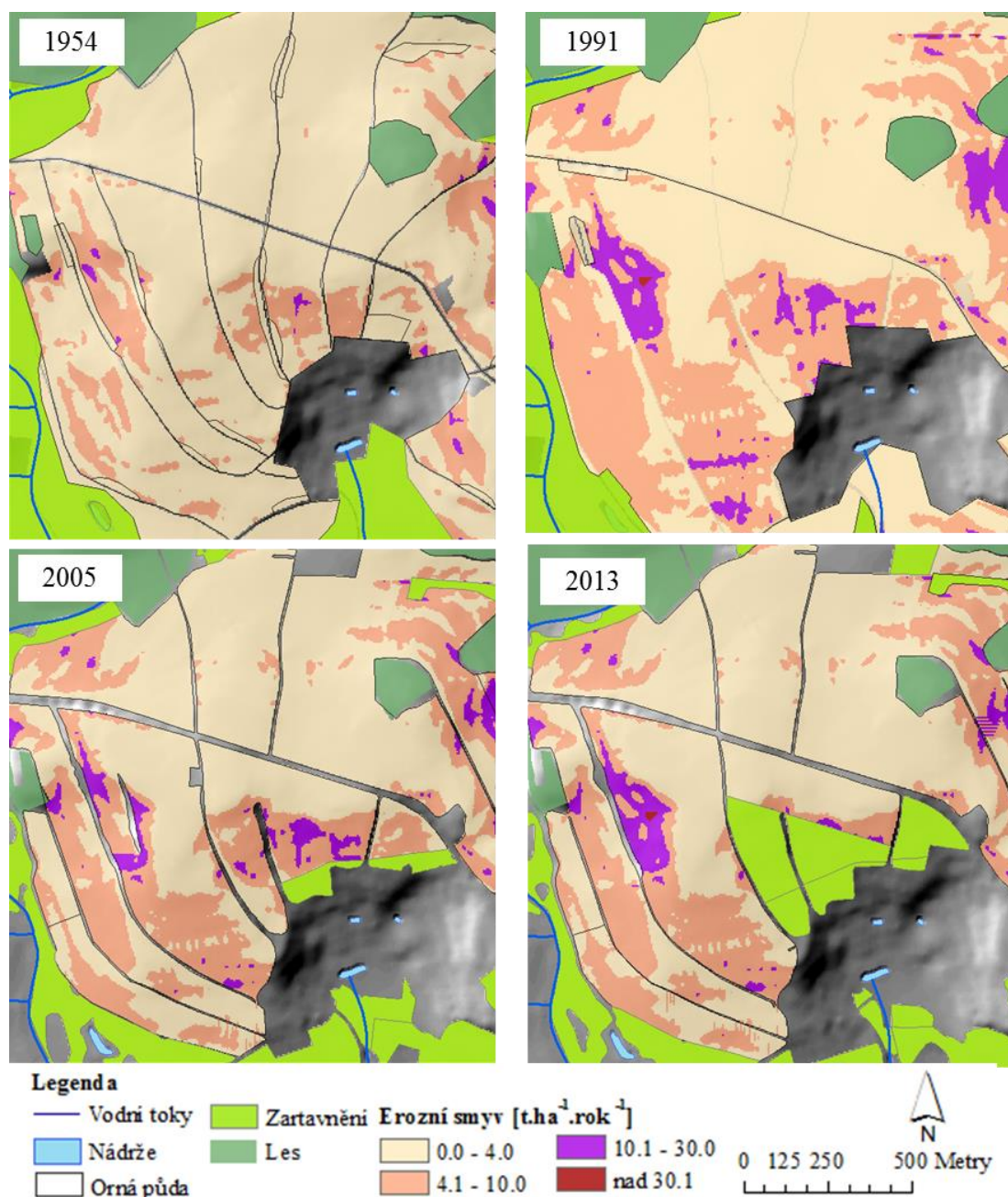
Obr. 5 Vývoj průměrné hodnoty ztráty půdy v povodích IV. řádu Luhy

Výjimku tvoří povodí 2-01-01-055 a 2-01-01-052 s odlišným průběhem křivky vývoje ztráty půdy. Odlišný vývoj je u povodí 2-01-01-055 možno odůvodnit jeho malou rozlohou (0,18 km<sup>2</sup>) a skladbou krajinného pokryvu, kdy pouze třetinu plochy zaujímá orná půda, zbytek patří do kategorie ostatní plochy, ze kterých převažuje zastavěné území. Na tak malé ploše povodí i nepatrný převod orné plochy do jakékoliv jiné kategorie podstatně ovlivní průměrnou míru erozního ohrožení v povodí. U povodí 2-01-01-052 nacházejícím se v severní části povodí Luhy o rozloze 10,58 km<sup>2</sup> má skladba pokryvu odlišný charakter, je pokryto lesními a zemědělskými pozemky v rovném poměru s minimem ploch ostatních. U tohoto povodí je projev změny množství ztráty půdy dán nárůstem zatravněných ploch v rámci jednotlivých pokryvů.



Obr. 6 Vývoj průměrné hodnoty ztráty půdy v povodích IV. řádu povodí VN Hubenov

V rámci vývoje jednotlivých krajinných pokryvů v povodí VN Hubenov byl v průběhu let v rámci procesu KPÚ navrhován a následně i realizován celý systém protierozních opatření, jehož pozitivní výsledky projevující se snížením ztráty půdy (obr. 6) a také snížením kulminačního průtoku a objemu přímého odtoku jsou v souladu s pracemi (Soukup a Hrádek, 1999), kteří uvádějí souvislosti mezi zastoupením druhů pozemků, pěstovanými plodinami, způsobem agrotechnického obdělávání půdy a retenční schopností povodí. Vyšší průměrné hodnoty ztráty půdy v povodí 4-16-01-025 jsou způsobeny vyšším zastoupením ploch orné půdy zaujímající asi 30 % plochy povodí a nacházející se zároveň na sklonitých svazích (dvě třetiny ploch mají sklon svahu 7 % a více).



Obr. 7 Vývoj erozního ohrožení v ploše stanoveného s využitím GIS

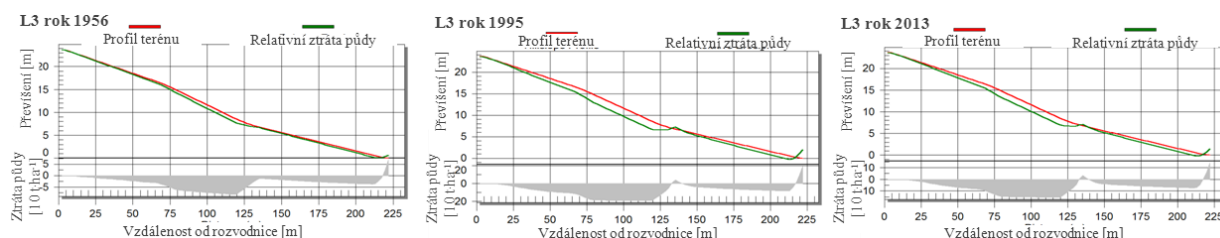
## 5.2.2 Stanovení ztráty půdy modelem WEPP

Při modelování erozního ohrožení fyzikálním modelem WEPP došlo k zobrazení průběhu odnosu relativní ztráty půdy také v profilu svahu. Modelové ztráty půdy, místa maximálních odnosů a i tvar terénu vybraných výpočtových linií jsou patrné v následující tabulce (tab. 2) a obrázcích (obr. 8 a 9). Za nejvíce ztrátou půdy ohroženou část svahu je stanovena spodní třetina svahu.

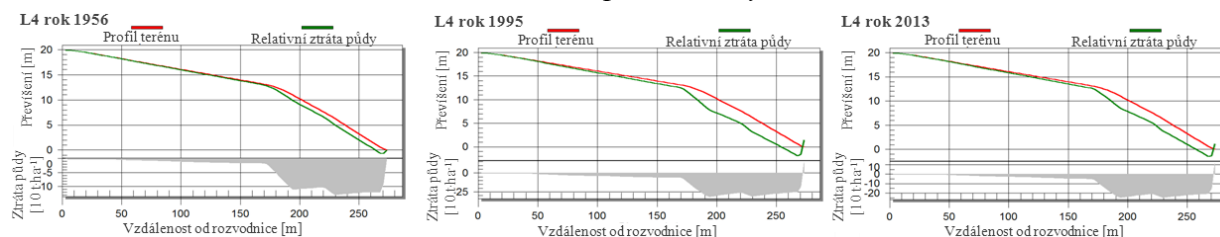
Tab. 2 Modelové ztráty půdy u vybraných výpočtových linií stanovené modelem WEPP

Číslo linie	Délka [m]	Sklon [%]	Tvar svahu *	1956		1995		2013	
				Prům. ztráta [t ha <sup>-1</sup> ]	Místo max. odnosu [m]	Prům. ztráta [t ha <sup>-1</sup> ]	Místo max. odnosu [m]	Prům. ztráta [t ha <sup>-1</sup> ]	Místo max. odnosu [m]
3	221,81	10,88	KK	34,63	118	91,78	80	75,44	80
4	273,12	7,26	KV	43,43	230	114,90	195	91,01	195

\* KK = konkávní, KV = konvexní



Obr. 8 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy v letech u linie L3 na povodí Luhy



Obr. 9 Grafické zobrazení průběhu terénu, relativní ztráty půdy a modelové ztráty půdy v letech u linie L4 na povodí Luhy

## 5.3 VYHODNOCENÍ ODTOKOVÝCH POMĚRŮ NA POVODÍ

### 5.3.1 Metoda čísel odtokových křivek

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 odtoku v povodí Luhy ke dvěma srážkovým stavům a 15 sběrných povodích v povodí VN Hubenov. Způsob využití území a celkový stav krajinného pokryvu jako faktor sledovaného vlivu na možné výskyty povodní z přívalových srážek je základní proměnnou vstupující do modelu. Průběh změny vývoje krajinného pokryvu vyjadřuje plošná lokalizace čísel odtokových křivek CN.

Cílem posouzení je podrobit jednotlivé vývojové krajinné stavy srážce o max. hodnotě 24hodinového úhrnu za rok. V případě povodí Luhy využití krajiny podrobit také skutečné srážce, která v roce 2009 způsobila v povodí Luhy povodňovou situaci.

Tab. 3 Odtokové charakteristiky vybraných povodí závěrových profilů pro skutečnou srážku ze dne 24. 6. 2009 v letech 1956, 1995 a 2005

Číslo povodí	Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	Hs srážka 2009 [mm]	1956			1995			2005		
			CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
2	0,50	42,27	75,65	81,74	0,26	78,34	70,22	0,42	73,64	90,94	0,18
13	0,48	107,30	76,13	79,64	5,95	81,15	58,99	7,81	80,41	61,86	7,60
25	0,54	166,51	76,62	77,50	16,30	79,15	66,89	18,10	79,77	59,89	18,80

Tab. 4 Odtokové charakteristiky vybraných povodí k závěrovým profilům pro skutečnou srážku ze dne 24. 6. 2009 v letech 2009, 2013 a návrhovém stavu

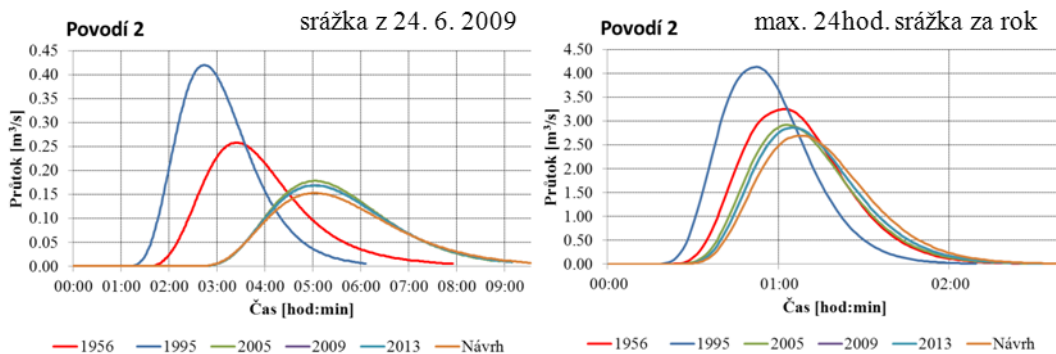
Číslo povodí	Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	Hs srážka 2009 [mm]	2009			2013			Návrhový stav		
			CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
2	0,50	42,27	73,46	91,77	0,17	73,45	91,82	0,17	73,06	93,66	0,15
13	0,48	107,30	79,30	66,31	7,02	79,36	66,07	7,08	78,47	69,70	6,71
25	0,54	166,51	79,84	64,14	18,80	79,76	64,46	18,80	77,95	71,86	17,60

Tab. 5 Odtokové charakteristiky vybraných povodí k závěrovým profilům pro max. hodnoty 24hodinových srážek za rok v letech 1956, 1995 a 2005

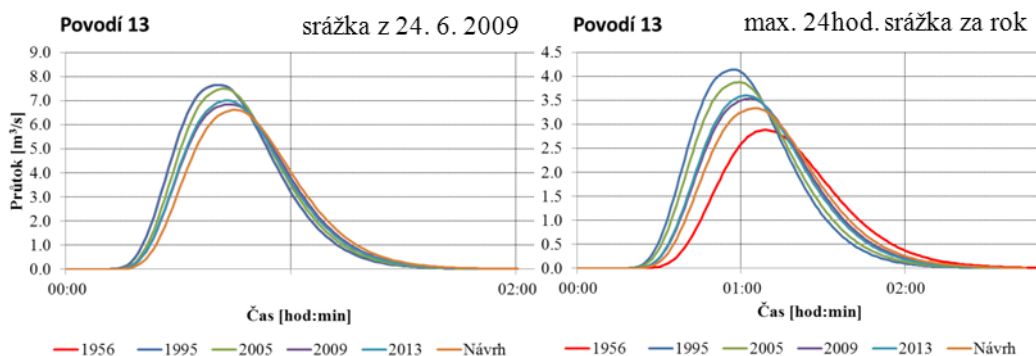
Číslo povodí	Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	Hs max [mm]	1956			1995			2005		
			CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
2	0,50	84,37	75,65	81,74	3,27	78,34	70,22	4,14	73,64	90,94	2,91
13	0,48	83,27	76,13	79,64	2,93	81,15	58,99	4,13	80,41	61,86	3,92
25	0,54	105,11	76,62	77,50	5,56	79,15	66,89	6,58	79,77	64,40	6,96

Tab. 6 Odtokové charakteristiky vybraných povodí k závěrovým profilům pro max. hodnoty 24hodinových srážek za rok v letech 2009, 2013 a návrhovém stavu

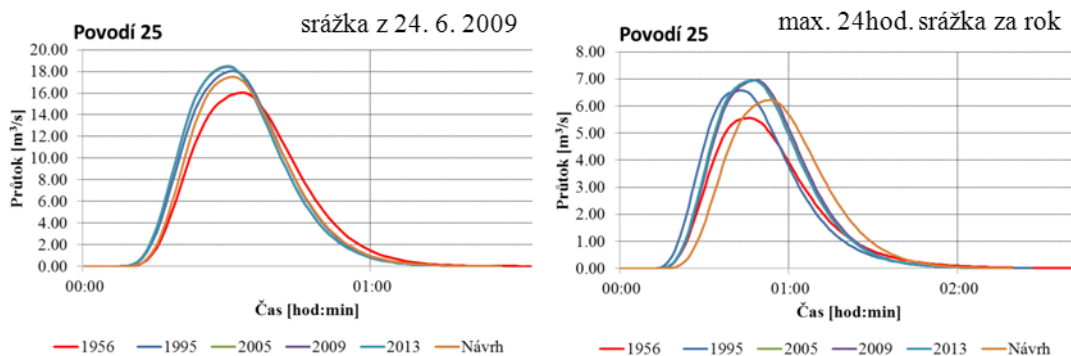
Číslo povodí	Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	Hs max [mm]	2009			2013			Návrhový stav		
			CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	CN [-]	A [mm]	Qmax [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
2	0,50	84,37	73,46	91,77	2,87	73,45	91,82	2,86	73,06	93,66	2,72
13	0,48	83,27	79,30	66,31	3,56	79,36	66,07	3,60	78,47	69,70	3,36
25	0,54	105,11	79,84	64,14	6,96	79,76	64,46	6,96	77,95	71,86	6,23



Obr. 10 Hydrogramy povodí 2 v letech při zaznamenané srážce z 24. 6. 2009 a při max. 24hod. srážce za rok



Obr. 11 Hydrogramy povodí 13 v letech při zaznamenané srážce z 24. 6. 2009 a při max. 24hod. srážce za rok

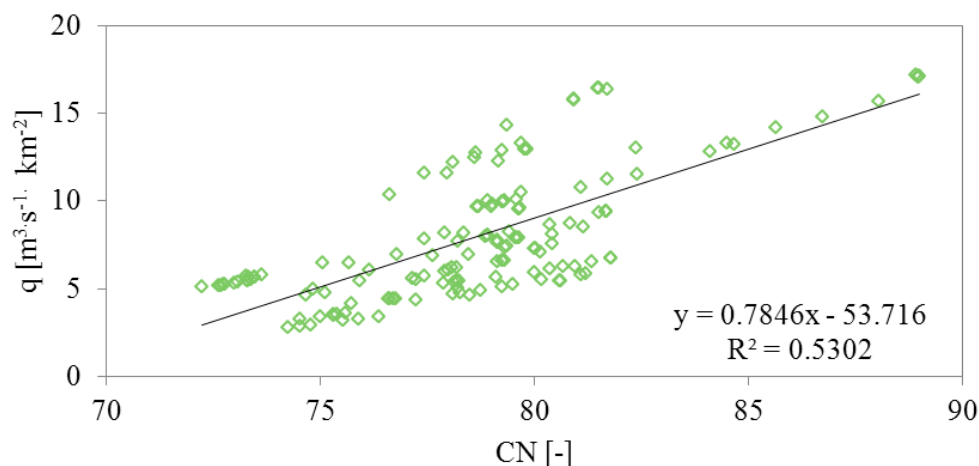


Obr. 12 Hydrogramy povodí 25 v letech při zaznamenané srážce z 24. 6. 2009 a při max. 24hod. srážce za rok

Z jednotlivých hydrogramů (obr. 10 až 12) i stanovených hodnot odtokových charakteristik v rozdílných časových obdobích pro jednotlivá povodí vyplývá vyhodnocení, které neproказuje stav krajinného pokryvu v povodí za zásadní faktor ovlivňující průběh výsledné povodňové situace na celém povodí. Dochází pouze ke změně časového průběhu a hodnot kulminačního průtoku v závěrovém profilu. Na první pohled patrný rozdíl tvaru hydrogramů u povodí 2 je dán nižším srážkovým úhrnem u kterého zapůsobil pozitivně krajinný pokryv (obr. 10). Maximální průtoky stanovené modelem pro zadané parametry povodí a pro maximální hodnoty 24hodinových srážek za rok dosahují nejvyšších stavů při krajinném pokryvu v letech devadesátých. Pozitivní stav krajiny na odtokové poměry z let padesátých se vývojem pokryvu snižoval přes devadesátá léta až do

roku 2005. Od tohoto roku začíná být patrné zlepšení odtokových charakteristik v povodích.

Získaná data byla podrobena regresní analýze. Změny krajinného pokryvu projevující se změnou čísla CN ve vztahu k jednotkovému specifickému odtoku se na základě výsledků projevily zásadněji v ploše povodí s vyšším procentem zorněných ploch (více než 80 % ploch ZPF), jako je tomu v povodí Luhy (obr. 13). Kde 53 % variability čísla CN ovlivňuje jednotkový specifický odtok. U povodí spadajících k VN Hubenov se zorněním 45 % plochy ZPF je stanovena pouze 24 % spolehlivost u hodnoty čísla CN pro jednotkový specifický odtok z povodí.



Obr. 13 Závislost jednotkového specifického odtoku v povodí Luhy na změnách čísel CN

### 5.3.2 Srážko-odtokový model – HEC–HMS

Byl zjištěn vliv vývoje krajinného pokryvu při skutečné události na odtokové poměry a retenci povodí. Za řešené období 24. 6. 2009 až 26. 6. 2009 bylo 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. Uvedený úhrn na stanici Bělotín překročil hodnotu odhadu stoleté srážky. Téměř veškerý srážkový úhrn dopadl na nasycené povodí v průběhu 3 hodin.

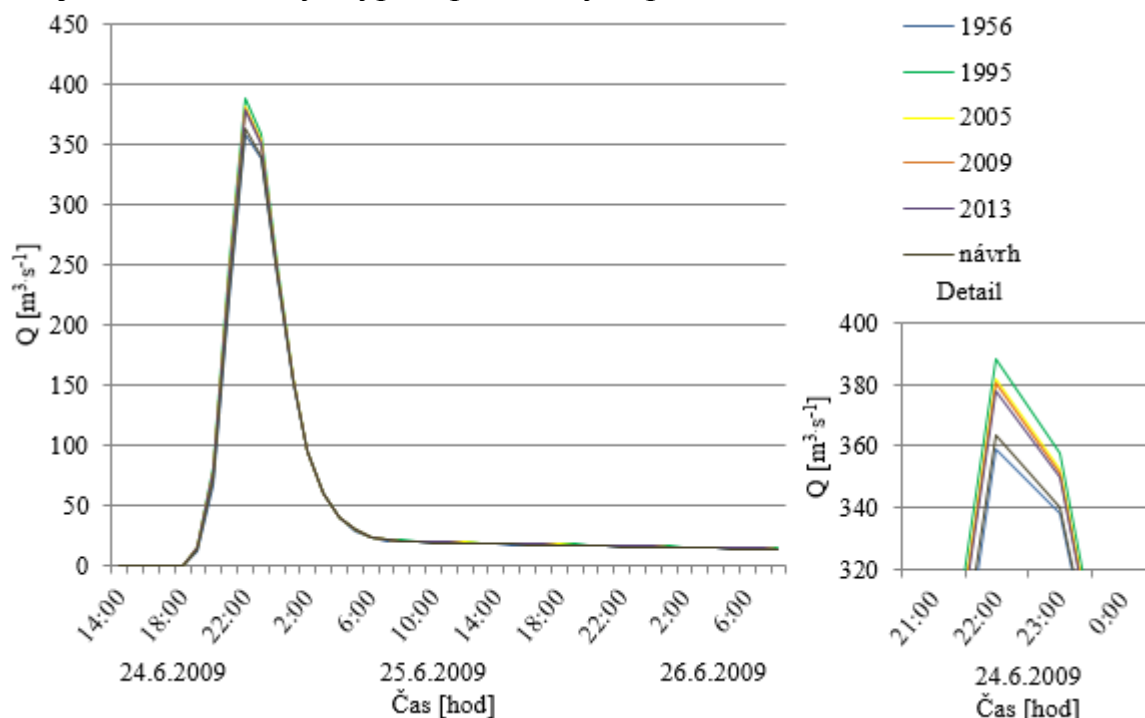
Po sestavení a vložení všech potřebných metod a parametrů do modelu HEC–HMS byly z modelu získány výsledné časové řady pro jednotlivá časová období, ze kterých byly v tabulkovém procesoru vyneseny výsledné hydrogramy ve formátu umožňujícím porovnání jednotlivých odtokových epizod (obr. 14).

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.

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. Po roce 2005 začíná mírné zlepšování způsobené mimo změnami krajinného pokryvu také aplikací nových šetrnějších agrotechnologií.

V práci dosažené výsledky jsou v souladu s prací Podhrázké (2001), kde autorka zmiňuje, že retenci povodí lze ovlivňovat vedle skladby krajinného pokryvu

především v závislosti na intenzitě a způsobech působení na svrchní vrstvy půdy tzn. intenzitě a způsobu agrotechnického zpracování. Dále dodává, že vlastnosti půdního prostředí jsou ovlivňovány i typem pěstovaných plodin.

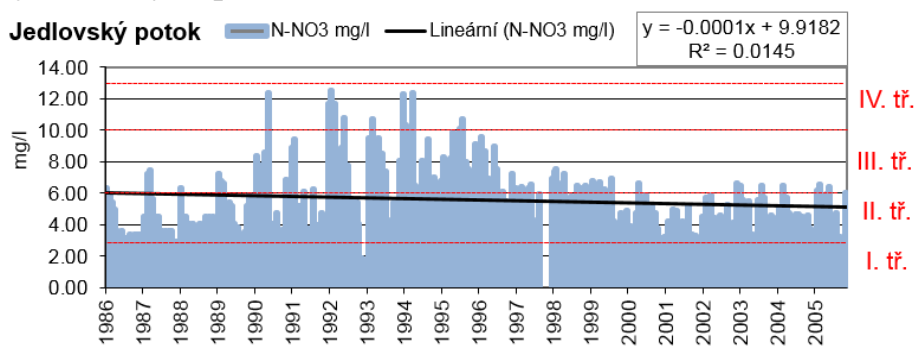


Obr. 14 Výsledné hydrogramy pro srážku ze stanice Bělotín

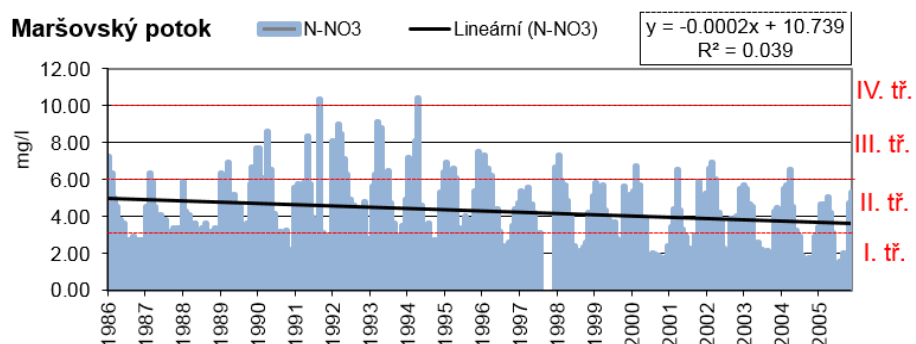
#### 5.4 VYHODNOCENÍ LÁTKOVÝCH ODNOSŮ NA TOKU NAD VN HUBENOV

Pro komplexnost práce byl vývoj změn využití území 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 Ježené a o profil na přivaděči z Jedlovského potoka. 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 ve výstupu výzkumného záměru 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. 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<sub>3</sub>) a amoniakálního dusíku (N-NH<sub>4</sub>) a množství celkového fosforu. Naměřená množství sledovaných látek doplněná křivkou trendu jsou uvedena v práci a jejich ukázka na obr. 15 až 18, ze kterých je patrná četnost hodnot v jednotlivých třídách klasifikace vod. U obou toků

se v průběhu sledovaných let hodnoty ustalují v I. maximálně II. třídě dle kvality jakosti vody jednotlivých prvků v těchto tocích.

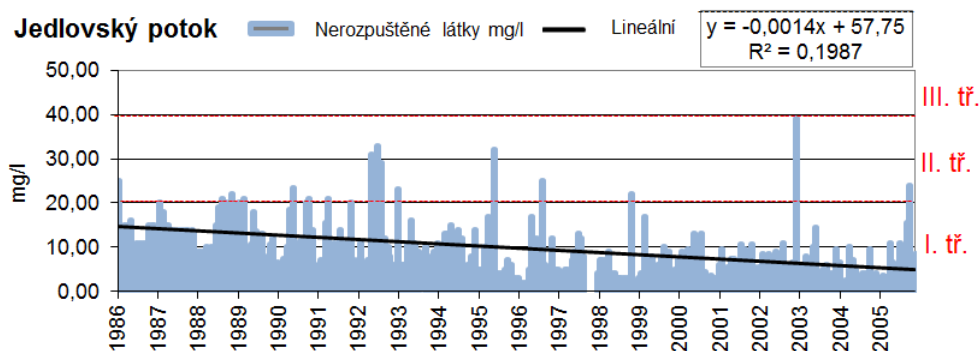


Obr. 15 Vývoj hodnot N-NO<sub>3</sub> v profilu na Jedlovském potoce

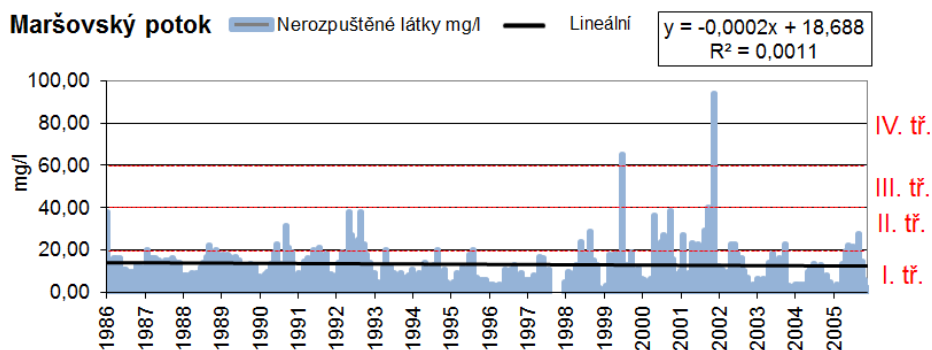


Obr. 16 Vývoj hodnot N-NO<sub>3</sub> v profilu na Maršovském potoce

Příznivější situace je z dlouhodobého hlediska na Maršovském potoce, kde sice velice povolná, ale klesá četnost jak vysoké koncentrace dusičnanového dusíku (obr. 16) i amoniakálního dusíku, tak i četnost koncentrace celkového fosforu.



Obr. 17 Vývoj hodnot nerozpuštěných látek v profilu na Jedlovském potoce



Obr. 18 Vývoj hodnot nerozpuštěných látek v profilu na Maršovském potoce

Vývoj trendu nerozpuštěných látek u Maršovského potoka mírně klesá (obr. 18), u potoka Jedlovského klesá křivka trendu výrazněji (obr. 17). Mezi léty 1989 až 2005 poklesla v Jedlovském potoce koncentrace nerozpuštěných látek z  $15 \text{ mg.l}^{-1}$  na  $5 \text{ mg.l}^{-1}$ . Pokles je způsoben i nárůstem ploch zatravnění, či realizací ochranných opatření proti vodní erozi na zemědělsky využívaných půdách v rámci proběhlých KPÚ.

## **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  $4 \text{ t.ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$  u průměrných hodnot na celé studované povodí u všech pokryvů o více jak dvojnásobek (tab. 1).

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 hodnoty ztráty půdy ani přímého povrchového odtoků z důvodu plošné distribuce a fragmentace krajinného pokryvu s vysokou druhovou pestrostí (drobnější drážby, větší 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.

K vyhodnocení odtokových poměru 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.

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 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 nezabránilo 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

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.
- 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. a KŘOVÁKOVÁ, K. Analýza změn krajinné struktury s využitím map Stablního katastru. In: *Historické mapy*. Zborník z vedeckej konferencie. Bratislava, 2005, s. 27–34.
- BRŮNA, V., KŘOVÁKOVÁ, K. a NEDBAL, V. Stablní katastr jako zdroj informací o krajině. *Historická geografie*, 2005, 33., s. 397–409.
- 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.
- FOSTER, G. R. Advances in Wind and Water Erosion Prediction. *Journal of Soil Water Conservation Engineering*. 1991, vol. 46, 27–29.
- 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>.
- 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 Svatky. *Acta Pruhoniana*, 2011. 99, s. 5 – 17.
- 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/>
- HOLUŠA, J., KOČÁREK, P., MARHOUL, P. a SKOKANOVÁ, H. *Platypleis 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.
- HRÁDEK, F., JOHANOVSKÝ, Z., PODHRÁZSKÁ, J. a SPITZ, P. *Srážko-odtokové modely pro transformaci povodní krajiny* (literární řešerše). 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.
- CHRASTINA, P. Vývoj krajiny jako fenomén environmentálních dějín (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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- NĚMEC, J., POJER, F. a kol. *Krajina v České Republice*. Consult Praha, Praha, 2007. 399 s. ISBN 80-903482-3-8.
- OLAH, B., BOLTIŽIAR, M. a PETROVIČ, F. Land use changes' relation to georelief and distance in the East Carpathians Biosphere Reserve. *Ekológia Bratislava*, 2006. 25 (1), p. 68–81.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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>

- 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.
- 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.
- SOUKUP, M. a HRÁDEK, F. *Instrukce pro optimální regulaci povrchového odtoku z povodí*. Praha: VUMOP Praha. 1999, 55 s.
- 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.
- 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.
- 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.
- ŽLÁBEK, P. *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. České Budějovice, 2009.129 s.

## **ŽIVOTOPIS AUTORA**

Ing. Jana Uhrová

Narozena: 19. 2. 1983 v Brně

Trvalé bydliště: Otevřená 680, 664 34 Kuřim

Kontakt: uhrova.jana@centrum.cz

### **Vzdělání:**

- 2007 – současnost      Doktorské studium, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, obor Vodní hospodářství a vodní stavby.
- 2002–2007              Magisterské studium (Ing.), Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, obor Vodní hospodářství a vodní stavby.
- 1998–2002              Všeobecné gymnázium Tišnov, Tišnov.

### **Zaměstnání:**

- 2014 – současnost      Výzkumný pracovník, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka., v.v.i, pobočka Brno.
- 2013 – současnost      Technický pracovník pro výuku, Mendlova Univerzita v Brně.

### **Stáže:**

- 2011–2011              Odborná stáž, institut Bioforsk, As Norsko.

### **Řešené projekty:**

- 2007–2009              SP/2E3/172/07 Hodnocení negativního vlivu degradačních faktorů na půdu a návrh možností jeho omezení – vytvoření podkladů pro plnění požadavků daných návrhem Směrnice na ochranu půdy EU (člen řešitelského týmu).
- 2007–2010              QH72203 Návrh podpory vhodných zemědělských technologií a stanovení identifikátorů pro posouzení ekologických a retenčních funkcí půd a krajiny (člen řešitelského týmu).
- 2008–2010              SP/2E7/73/08 Identifikace antropogenních tlaků na kvalitativní stav vod a vodních ekosystémů v oblastech povodí Moravy a Dyje (člen řešitelského týmu).
- 2009–2009              HS 12944002 Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky (další řešitel).
- 2009–2011              QH92298 Systém přírodně blízkých protierozních a protipovodňových opatření a jeho optimalizace v procesu pozemkových úprav (člen řešitelského týmu).
- 2009–2013              QI91C200 Hodnocení účinnosti realizace komplexních pozemkových úprav (člen řešitelského týmu).

- 2010–2010      Specifický výzkum FAST-J-10-20 Příspěvek k rozvoji metodologie pro volumetrickou kvantifikaci projevů vodní eroze v ploše povodí a drahách soustředěného povrchového odtoku (spoluřešitel).
- 2011–2011      FRVŠ G1 2757/2011 Vytváření digitálního modelu terénu v prostředí MicroStationu (řešitel).
- 2012–2014      QJ1230066 Degradace půdy a její vliv na komplex půdních vlastností včetně návrhu nápravných opatření k obnově agroekologických funkcí půdy (člen řešitelského týmu).
- 2013–2014      QJ1320157 Erozní procesy a jejich vliv na produkční schopnost půd a navrhování protierozních opatření v procesu pozemkových úprav (člen řešitelského týmu).

**Ostatní činnosti:**

- 2007–2010      tajemník při SZZ bakalářského a magisterského studia,
- 2008 a 2012      aktivní účast na přípravě a vedení kurzu celoživotního vzdělávání – GIS,
- 2010–2010      autor posudku bakalářské práce.

## **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 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.

## **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.