

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH  
BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B 4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ověření účinnosti opatření GAEC II na konkrétním  
povodí modelem založeným na SCS-CN

Vedoucí práce: Ing. Pavel Žlábek, Ph.D.

Autor práce: Filip Hrdina

České Budějovice, duben 2013

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Fakulta zemědělská  
Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Filip HRDINA**  
Osobní číslo: **Z10214**  
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**  
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**  
Název tématu: **Ověření účinnosti opatření GAEC II na konkrétním povodí modelem založeným na SCS-CN.**  
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

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

V lednu 2010 vstoupily v platnost nové standardy GAEC (Dobrý zemědělský a environmentální stav). Standardů je celkem 11 a jsou rozděleny do 5 tématických okruhů, přičemž GAEC 1 a GAEC 2 se týkají erozní ohroženosti půd. Cílem práce je ověření účinnosti zavedených opatření na vybraném povodí modelem založeným na metodě SCS-CN. Součástí práce bude podrobná rešerše týkající se dané problematiky.

1. Literární rešerše.
2. Popis konkrétního povodí a použitých metod.
3. Zpracování problematiky na konkrétních datech.
4. Vyhodnocení a závěr.

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran textu  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

**GAEC I a II**

Daňhelka, J., Krejčí, J., Šálek, M., Šercl, P., Zezulák, J. Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. ČZU Praha, Praha, 2002, 214 s.

Kovář, P. Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích. ČZU Praha, Praha, 2000, 136 s.

Články v recenzovaných časopisech (dop. Journal of Hydrology, Hydrological processes, Water Resources Research a další)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Žlábek, Ph.D.**  
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: **8. března 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2013**

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

L.S.

Ing. Karel Suchý, Ph.D.  
proděkan pověřený vedením ZF

prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2012

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Kájově dne 31.3 2013

Filip Hrdina

.....

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval především svému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Pavlu Žlábkovi, Ph.D., za odborné vedení, trpělivost, ochotu, cenné rady a připomínky při psaní této práce. Také bych chtěl poděkovat všem členům katedry krajinného managementu za vstřícnost a cenné rady. V neposlední řadě bych rád poděkoval všem lidem, kteří mne během studia podporovali.

## **Abstrakt**

Eroze je jedním z velkých problémů dnešního zemědělství, respektive životního prostředí. V době, kdy je 50 % orné půdy ohroženo erozí, se zvyšuje iniciativa v oblasti protierozní ochrany jak na úrovni států, tak na úrovni Evropy.

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení účinnosti protierozních opatření vydaných v rámci Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC 2) Evropskou unií.

Jako modelovací techniky jsou použity programy ERCN a HydroCad, modelování vlivu protierozních opatření proběhlo ve 4 scénářích. Modelovou oblastí je subpovodí P6 na povodí Kopaninského toku.

V literární rešerši je řešena problematika eroze, standard GAEC 2 a hydrologické modelování pomocí metody CN-křivek.

**Klíčová slova:** eroze, hydrologické modelování, Dobrý zemědělský a environmentální stav (GAEC), CN-křivky, protierozní opatření.

## **Abstract**

The erosion is one of the biggest problems of today's agriculture, more precisely of environment. At the time when 50% of the arable soil is threatened by the erosion, initiative of the erosion protection increases at the national and at the European level.

The aim of this bachelor's work is to evaluate the effectiveness of erosion controls which were issued within Good agricultural and environmental condition (GAEC 2) by the European Union.

The ERCN program and HydroCad program are used as the modeling techniques, modeling the impact of the erosion measures in 4 scenarios. The modal area is the subcatchment P6 on the catchment of Kopaninský stream.

The issues of the erosion, the erosion standard GAEC 2 and hydrological modeling using methods of CN-Curve Numbers are solved in the literature review.

**Keywords:** erosion, hydrological modeling, Good agricultural and environmental condition (GAEC), CN-Curve Numbers, erosion control measures.

# Obsah

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2. LITERÁRNÍ PŘEHLED</b> .....	<b>10</b>
2.1 <i>Dobry zemědělský a environmentální stav (GAEC)</i> .....	10
2.1.1 Klasifikace opatření.....	11
2.1.2 Kontroly podmíněnosti (Cross Compliance) .....	12
2.1.3 Standard GAEC 2 .....	12
2.2 <i>Eroze</i> .....	16
2.2.1 Formy eroze.....	16
2.2.2 Vodní eroze.....	16
2.2.3 Následky eroze .....	17
2.2.4 Vymezení erozní ohroženosti v rámci GAEC 2.....	19
2.2.5 Ochrana proti erozi .....	20
2.3 <i>Hydrologické modelování</i> .....	21
2.3.1 Základní klasifikace hydrologických modelů .....	22
2.3.2 Metoda čísel odtokových křivek- CN.....	23
<b>3. MATERIÁL</b> .....	<b>25</b>
3.1 <i>Povodí Kopaninského toku</i> .....	25
3.1.1 Subpovodí P6.....	27
<b>4. METODY</b> .....	<b>29</b>
4.1 <i>Řešené charakteristiky přímého odtoku</i> .....	29
4.1.1 Přímý odtok .....	29
4.1.2 Objem přímého odtoku .....	29
4.1.3 Kulminační průtok .....	30
4.1.4 Doba koncentrace .....	30
4.2 <i>Popis použitých scénářů</i> .....	30
<b>5. VÝSLEDKY A DISKUSE</b> .....	<b>32</b>
<b>6. ZÁVĚR</b> .....	<b>36</b>
<b>7. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK</b> .....	<b>37</b>
<b>8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>39</b>
<b>9. PŘÍLOHOVÁ ČÁST</b> .....	<b>43</b>
9.1 <i>Příloha č. 1</i> .....	43
9.2 <i>Příloha č. 2</i> .....	44
9.3 <i>Příloha č. 3</i> .....	45
9.4 <i>Příloha č. 4</i> .....	46
9.5 <i>Příloha č. 5</i> .....	47
9.6 <i>Příloha č. 6</i> .....	49



# 1. ÚVOD

Půda je neobnovitelný přírodní zdroj, plní mnoho pozitivních funkcí, avšak degradace půdy vodní erozí se neustále zrychluje. Jedním z nástrojů, který dokáže tomuto trendu zamezit, jsou protierozní opatření.

Eroze jako proces odnášení a sedimentace úrodné hmoty ze zemědělských ploch se dostává čím dál více do popředí zájmu vědeckých organizací, které se neustále snaží zlepšovat účinnost protierozních opatření a neustále zvyšovat implementaci těchto opatření do zemědělské praxe. Negativní vlivy eroze na životní prostředí lze pozorovat jak v celé České republice, tak v celém světě.

V této práci se zabývám opatřeními Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC), konkrétně GAEC 2. Tento standard se věnuje erozi půdy, má za cíl snižovat počet ohrožených ploch vodní erozí a zároveň snižovat negativní účinky vodní eroze na ohrožených plochách.

Cílem mé bakalářské práce je vyhodnotit zavedené opatření GAEC 2, konkrétně přerušovací pás, setí/sázení po vrstevnici, a zhodnotit jejich účinnost na odtokové poměry konkrétního povodí. V této práci je využito jako modelové území subpovodí P6 na povodí Kopaninského toku. Pro účel mé bakalářské práce jsem využil programy HydroCad a ERCN. Oba tyto programy jsou založeny na metodě CN-křivek.

## 2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 2.1 Dobrý zemědělský a environmentální stav (GAEC)

Tyto standardy zajišťují zemědělské hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí a jsou součástí kontroly podmíněnosti (Cross Compliance). Hospodaření v souladu se standardy GAEC je jednou z podmínek poskytnutí plné výše přímých podpor Programu rozvoje venkova (*VOPRAVIL A KOL., 2010*).

Ve srovnání se zákonnými požadavky na hospodaření (SMR) není dodržování standardů GAEC zákonnou povinností a nelze ho vymáhat ani postihovat (*TKÁČÍKOVÁ A VACULÍK, 2010*).

Jednotlivé členské státy si stanovují minimální požadavky pro naplnění GAEC podle základního rámce Přílohy IV. Nařízení Rady (EC) 1782/2003. Tyto požadavky musí zohledňovat specifické podmínky daných oblastí, jako jsou: půdní a klimatické podmínky, systém obhospodařování, zemědělskou praxi, strukturu provozu (*IREAS, 2005*).

Od roku 2005 do roku 2009 v České republice platilo 5 standardů GAEC. Jednotlivé standardy se dle *MZE (2011c)* týkaly:

- Zákazu rušení nebo narušování krajinných prvků (meze, terasy, skupiny dřevin, stromořadí a travnaté údolnice).
- Zákazu pěstování kukuřice, brambor, řepy, bobu setého, soji či slunečnice na půdních blocích nebo jejich dílech s průměrnou sklonitostí nad 12°.
- Zapravování kejdy či močůvky na půdních blocích nebo jejich dílech s ornou půdou o průměrné sklonitosti nad 3° do 24 hodin či použití hadicových aplikátorů k jejich aplikaci.
- Zákazu změny kultury z travního porostu na ornou půdu.
- Zákazu pálení rostlinných (bylinných) zbytků na půdních blocích či jejich dílech.

Od 1. ledna 2010 v České republice přibylo dalších pět standardů GAEC. Od 1. ledna 2012 přibyl GAEC č. 11 (*MZE, 2011c*). Všechny standardy včetně svého zaměření znázorňuje tab. č. 1.

Kontrolu dodržování standardů GAEC zajišťuje Státní zemědělský intervenční fond (SZIF), *MZE (2011c)* navíc dodává, že při kontrole se ověřuje aktuální stav opatření na veškeré zemědělské půdě obhospodařované žadatelem, kterou je žadatel povinen evidovat ve veřejném registru půdy (LPIS). Kontrola je prováděna na základě evidence půdních bloků nebo jejich dílů, vytvořené na základě digitálního modelu terénu, s průměrnými sklonitostmi a kódy bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ), s podkladem leteckých ortografických snímků nebo katastrálních map. *MZE (2011a)* dále uvádí, že podmínkou pro SZIF je, že za rok musí být zkontrolováno minimálně 1% žadatelů přímých plateb.

### 2.1.1 Klasifikace opatření

Opatření GAEC		
GAEC 1	Minimální pokryv půdy	Eroze půdy
GAEC 2	Minimální úroveň obhospodařování půdy odrážející specifické místní podmínky	
GAEC 3	Obdělávání orné půdy se strništěm	Organické složky půdy
GAEC 4		
GAEC 5	Používání vhodných strojů	Struktura půdy
GAEC 6	Zachování krajinných prvků včetně mezí, příkopů, stromořadí, ve skupině nebo zvlášť, a hranic polí	Minimální úroveň péče
GAEC 7	Zabránění šíření nežádoucí vegetace na zemědělskou půdu	
GAEC 8	Ochrana stálých pastvin	
GAEC 9		
GAEC 10	Schválení postupů pro využívání vody k zavlažování	Ochrana vody a hospodaření s ní
GAEC 11	Zřízení ochranných pásem podél vodních toků	

Tab. č. 1: Aktuální standardy GAEC v ČR (*Zdroj: VOPRAVIL A KOL., 2010*)

### 2.1.2 Kontroly podmíněnosti (Cross Compliance)

Dle *IREAS (2005)* je Cross Compliance (CC) často překládáno jako tzv. křížový soulad. Jde o dodržení souboru základních požadavků (standardů, pravidel), které jsou podkladem pro nárokování režimu přímých plateb v rámci Single Payment Scheme (SPS). *MZE (2011a)* uvádí, že Cross Compliance má dvě hlavní složky. Tou první jsou standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC), druhou složku tvoří zákonné požadavky na hospodaření (SMR).

Cross Compliance má v současné době dle *IREAS (2005)* tři základní pilíře a těmi jsou:

- **Annex III:** Jedná se o národní legislativu, která vychází z 18 nařízení a směrnic EU. Zahrnuje ochranu životního prostředí, zdraví obyvatelstva, zvířat a rostlin, identifikaci a registraci zvířat.
- **Annex IV:** Tento pilíř zahrnuje opatření GAEC, které jsou definovány členskými státy za účelem ochrany půdy.
- **Ochrana trvalých travních porostů:** Permanent Pastures, v rámci ČR chápáno jako zachování trvalých travních porostů.

Cross Compliance má i své nedostatky a těmi jsou dle *IREAS (2005)* nedostatečná transparentnost a nedůsledné podávání zpráv o výsledcích implementace opatření od členských států směrem k orgánům EU. Také to, že účinnost opatření v rámci CC je ještě v současné době těžko hodnotitelná. Na druhé straně nástroje CC velmi významně ovlivňují zavádění ekologického myšlení v zemědělství.

### 2.1.3 Standard GAEC 2

Tento standard se zabývá protierozní ochranou půdy tím, že stanovuje požadavky způsobu pěstování vybraných hlavních plodin na silně erozně ohrožených (SEO) a mírně erozně ohrožených půdách (MEO). Pro vymezení těchto kategorií je využito následujících kritérií: sklonitost svahu, délka svahu (po spádnicí), erodovatelnost půdy, faktor přívalových dešťů (*MZE, 2011b*).

Standard vstoupil v platnost 1. ledna 2010. Jeho hlavním cílem je ochrana půdy před vodní erozí a také snaha omezit negativní účinky vodní eroze.

Od 1. 7. 2011 se standard rozšířil ze silně erozně ohrožených půd i na mírně erozně ohrožené půdy. V roce 2009 byla vytvořena vrstva erozní ohroženosti půd ČR, ze které lze rozpoznat plochy SEO a MEO. Vymezení erozní ohroženosti v této vrstvě je založeno na analýze maximálních přípustných hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace. Rozdíl ve vymezení erozní ohroženosti půd v ČR podle GAEC a podle Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (VÚMOP, v.v.i.) je dán tím, že GAEC zohledňuje kromě odborného hlediska také ekonomické aspekty, jedním z nich je např. nákladnost realizace půdoochranných technologií (*MZE, 2011b*).

*MZE (2011d)* definuje půdoochranné technologie pro mírně erozně ohrožené půdy následovně:

**Přerušovací pás** jiné než širokořádkové plodiny o minimální šířce 12 m založen na ploše MEO, nebo na ploše souvislé plochy plodiny zasahující na plochu MEO, nebo na ploše PB/DPB tak, aby max. nepřerušovaná délka odtokové linie byla na půdním bloku/dílu půdního bloku (PB/DPB) o průměrné sklonitosti do 3° včetně max. 300 m, na PB/DPB o průměrné sklonitosti 3 – 5° včetně max. 250 m, na PB/DPB o průměrné sklonitosti nad 5° max. 200 m (měřeno proti směru odtokové linie od hranice PB/DPB). Tento pás musí být založen tak, aby protínal všechny odtokové linie povrchové vody vyznačené v LPIS v rámci příslušného PB/DPB, které zasahují do plochy MEO. V případech, ve kterých šířka plochy MEO, popřípadě souvislé plochy plodiny zasahující do plochy MEO je užší než stanovená vzdálenost mezi pásy, musí být založen minimálně jeden přerušovací pás. Jako přerušovací pás pro účely plnění podmínek GAEC 2 nelze použít biopás založený s dotací v rámci AEO EAFRD.

**Zasakovací pás** jiné než širokořádkové plodiny o minimální šířce 12 m musí být založen na spodní hranici PB/DPB, nebo na spodní hranici souvislé plochy plodiny zasahující na plochu MEO, nebo na spodní hranici plochy MEO tak, aby tento pás v místě svého založení protínal všechny odtokové linie povrchové vody vyznačené v LPIS v rámci příslušného PB/DPB, které zasahují do plochy MEO. Pokud je PB/DPB větší než 35 ha platí, že pokud souvislá délka odtokové linie povrchové vody vyznačené v LPIS přesahuje od zasakovacího pásu aplikovaného na hranici PB/DPB, nebo na hranici souvislé plochy plodiny zasahující na plochu MEO

k horní hranici vyznačené plochy MEO 300 metrů na PB/DPB o průměrné sklonitosti do 3° včetně, 250 metrů na PB/DPB o průměrné sklonitosti 3 - 5° včetně nebo 200 metrů na PB/DPB o průměrné sklonitosti nad 5° (měřeno proti směru odtokové linie od horní hrany zasakovacího pásu), je kromě zasakovacího pásu nutné realizovat i půdoochrannou technologii přerušovacích pásů. Taková linie je označena v LPIS značkou. Na vzdálenosti pásů se aplikují vzdálenosti z půdoochranné technologie přerušovacích pásů. Jako zasakovací pás pro účely plnění podmínek GAEC 2 nelze použít biopás založený s dotací v rámci AEO EAFRD.

**Osetí souvratí** – Souvrat' musí být osetá jinou než širokořádkovou plodinou o minimální šířce 12 m založena na hranici PB/DPB nebo na hranici souvislé plochy plodiny zasahující na plochu MEO, a to minimálně tak, aby tato souvrat' v místě svého založení protínala všechny odtokové linie povrchové vody vyznačené v LPIS v rámci příslušného PB/DPB, které zasahují do plochy MEO. Pokud je PB/DPB větší než 35 ha platí, že pokud souvislá délka odtokové linie povrchové vody vyznačené v LPIS přesahuje od souvratě k horní hranici vyznačené plochy MEO 300 metrů na PB/DPB o průměrné sklonitosti do 3° včetně, 250 metrů na PB/DPB o průměrné sklonitosti 3 - 5° včetně nebo 200 metrů na PB/DPB o průměrné sklonitosti nad 5° (měřeno proti směru odtokové linie od horní hrany souvratě), je kromě osetí souvratí nutné realizovat i půdoochrannou technologii přerušovacích pásů. Taková linie je označena v LPIS značkou. Na vzdálenosti pásů se aplikují vzdálenosti z půdoochranné technologie přerušovacích pásů. Jako souvrat' pro účely plnění podmínek GAEC 2 nelze použít biopás založený s dotací v rámci AEO EAFRD.

**Setí/sázení po vrstevnici** – Pro tuto technologii platí, že řádky porostu musí být vedeny ve směru vrstevnic, přičemž tolerovaná bude odchylka od vrstevnice do 30°. Tuto půdoochrannou technologii je možno realizovat pouze na PB/DPB do velikosti 35 ha. U PB/DPB do 35 ha včetně jsou v LPIS uvedeny kategorie vhodnosti těchto PB/DPB k použití půdoochranné technologie setí/sázení po vrstevnici. V případě, že je na odtokové linii vedené v LPIS vyznačena značka přerušovacího pásu při setí/sázení po vrstevnici, je tato půdoochranná technologie pro PB/DPB nedostatečná. Je nutné realizovat i půdoochrannou technologii přerušovacích pásů, a to tak, aby max. nepřerušovaná délka odtokové linie byla na PB/DPB o průměrné sklonitosti do 3° včetně max. 600 m, na PB/DPB o průměrné

sklonitosti 3 – 5° včetně max. 500 m, na PB/DPB o průměrné sklonitosti nad 5° max. 400 m.

**Odkameňování** je operace tvořená rýhováním, separací hrud a kamenů a sázení do odkameněné půdy. Mezi jednotlivými dvojřádky musí být prostor, kam budou separátorem uloženy kameny a hroudy, které mohou tvořit drenážní vrstvu.

*MZE (2012)* uvádí, že od 1. ledna 2013 přibyla mezi půdoochranné technologie pro mírně erozně ohrožené půdy v rámci GAEC 2 technologie **podrývání**.

Půdoochranné technologie pro silně erozně ohrožené půdy jsou podle *MZE (2011d)*:

1. Bezorebné setí (technologie přímého setí do nezpracované půdy)
2. Setí do mulče
3. Setí do mělké podmítky (za předpokladu dodržení stanovené pokryvnosti povrchu půdy rostlinnými zbytky)
4. Setí do ochranné plodiny (např. do vymrzající meziplodiny- Svazenka vrtičolistá, Hořčice bílá)
5. Důlkování

Jak uvádí *HŮLA (2000)*, tak některé tyto technologie patří mezi technologie ochranného zpracování půdy, pro něž je charakteristické minimálně 30% pokrytí půdy posklizňovými rostlinnými zbytky a snížení intenzity zpracování půdy.

Pro účely standardu GAEC 2 je pokryvnost půdy posklizňovými zbytky stanovena následovně: minimální pokryvnost pro SEO plochy je minimálně 30% a pro MEO plochy je stanovena minimálně na 20%, do 30. června musí být však minimálně 10% a po 1. červenci musí být vizuálně jasné, že při zakládání porostu byla tato technologie použita (*MZE, 2011b*).

*JOHNSON (1988)* dodává, že protierozní účinek ochranného zpracování půdy souvisí s množstvím a také vlastnostmi rostlinných zbytků, které zůstávají na povrchu půdy. *HANNA A KOL. (1995)* uvádí, že pokrytím 20-30% povrchu půdy rostlinnými zbytky v době setí se vodní eroze sníží o 50-90% v porovnání s povrchem bez rostlinných zbytků.

## 2.2 Eroze

Jak uvádí *VÚMOP (1995)*, eroze půdy je proces spočívající v rozrušování a odnosu půdní hmoty do jiných poloh. Je způsobována činností vody, větru, ledu a také působením člověka.

### 2.2.1 Formy eroze

*CABLÍK A JÚVA (1963)* a také *HLAVÁČKOVÁ (2011)* dělí erozi na základě toho, zda je způsobena vodou, větrem, či ledem. Takto rozlišují tři druhy eroze:

- eroze vodní (fluviální)
- eroze větrná (eolická)
- eroze ledovcová (glaciální)

### 2.2.2 Vodní eroze

Vodní eroze je definovaná mnoha autory. *MZE (2011b)* ji definuje jako komplexní proces zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody.

*BLANCO A LAL (2008)* uvádí, že v globálním měřítku je tento typ eroze největším problémem. Na rozdíl od větrné eroze je vodní eroze převažující v humidních a sub-humidních oblastech, ale je problémem i v aridních a semi-aridních oblastech, kde se srážky většinou vyskytují ve formě intenzivních bouří, kdy je půda bez rostlinného krytu.

Jak uvádí *HLAVÁČKOVÁ (2011)*, v ČR jsou podmínky pro vznik vodní eroze dány především velkými půdními bloky, což zapříčinila intenzifikace zemědělské výroby v minulosti, a také tím, jak uvádí *MZE (2011b)*, že byly odstraňovány krajinné prvky, které zaujímají v přírodě nemalou protierozní funkci (meze, zatravněné údolnice, polní cesty s protierozní funkcí, rozptýlená zeleň). Na vzniku vodní eroze se také ve velké míře podílí sklonitost pozemků, délka pozemků po spádnicí, vegetační pokryv, uplatňovaná protierozní opatření a také výskyt přívalových srážek. Srážky lze považovat za erozně nebezpečné, když úhrn překračuje 12,5 mm a intenzita 24 mm.h<sup>-1</sup>.

*JANEČEK (2012)* uvádí, že v ČR je v současné době více než polovina zemědělské půdy ohrožena vodní erozí. *MZE (2011b)* dodává, že za posledních 30 let



se degradace půdy vodní erozí výrazně zrychlila, což je zapříčiněno především již zmíněnou intenzifikací zemědělství a také preferencí pěstování některých plodin.

Hlavním činitelem ovlivňujícím vodní erozi je odtok vody z povodí. Celkový odtok  $O_c$  rozděluje *SOUKUP A HRÁDEK (1999)* na tři části: povrchový odtok  $O_p$ , který podle *ČSN 736530* odtéká z povodí do sítě vodních toků po povrchu terénu, hypodermický odtok  $O_h$  a podzemní odtok  $O_z$ . *JANEČEK A KOL (1998)* dodává, že vodní eroze je spojena především se silou povrchového odtoku  $O_p$ , který vzniká podle *CABLÍKA A JŮVY (1963)*, když okamžitá intenzita deště je větší než vsakovací schopnost půdy, nebo podle *DAŇHELKY (2007)*, když srážka dopadá na nepropustný povrch.

Pouze povrchový odtok, z celkového srážkového množství, je erozně účinný. Přímé erozní působení deště má první negativní vliv již při dopadu na půdu, půdní agregáty jsou při tom rozbity, čímž vznikají menší částičky, které jsou snadněji odnášeny (*DÝROVÁ A SOUKALOVÁ, 1978*). Jeho vznik ovlivňuje povaha deště, půdní poměry a také vegetační kryt a jeho vývojový stav (*CABLÍK A JŮVA, 1963*).

*SOUKUP A HRÁDEK (1999)* rozdělují proces povrchového odtoku na tři fáze:

- Fáze bezodtoková, kdy intenzita srážky je menší než intenzita infiltrace.
- Fáze plošného odtoku, kdy intenzita deště je větší než intenzita infiltrace.
- Fáze soustředěného odtoku, která nastává při postupném soustředování odtoku do hydrografické sítě v povodí.

### **Regulace povrchového odtoku**

Při plošném odtoku lze ovlivnit jednak objem povrchového odtoku (ovlivňují ho srážky, retenční a akumulární schopnosti povodí) a kulminační průtok (jeho hodnota je závislá na srážkách, fyzikálních charakteristikách povodí a době koncentrace na svahu). Nejpříznivější vliv na zvýšení retenční schopnosti povodí mají lesní porosty a trvalé travní porosty (TTP), naopak širokořádkové plodiny jsou z hlediska zvýšení retence nevhodné (*SOUKUP A HRÁDEK, 1999*).

### **2.2.3 Následky eroze**

Hlavní následky vodní eroze popisuje *CABLÍK A JŮVA (1963)* a také *MZE (2011b)* následujícími body:

- ztráta půdy

- transport a sedimentace půdních částic, zanášení vodních zdrojů
- transport chemických látek

### **Ztráta půdy**

*BLANCO A LAL (2008)* uvádí, že primárním problémem eroze je odnášení svrchní vrstvy ornice. Tato erodovaná hmota obsahuje především jemné částice, které jsou velmi důležité pro půdní úrodnost.

*CABLÍK A JŮVA (1963)* dodává, že na erodovaných půdách se zhoršuje vodní a vláhový režim, což je způsobeno tím, že erodovaná půda ztrácí svou vsakovací schopnost. Tím je zvyšován povrchový odtok.

### **Transport a sedimentace půdních částic a zanášení vodních zdrojů**

Velkým problémem, který způsobuje vodní eroze je podle *MZE (2011b)* transport půdní hmoty a její sedimentace ve vodních zdrojích, která zmenšuje průtočnost koryt toků a kapacity nádrží. Kontakt těchto sedimentů se vzduchem při poklesu hladiny zrychluje jejich mineralizaci, čímž se výrazně zhoršuje jakost vody v těchto nádržích.

*HOLÝ (1978)* navíc uvádí, že toky zanesené splaveninami mají vyšší niveletu dna, což bývá příčinou inundací a zvyšování hladiny podzemní vody v okolním území a to zapříčiňuje zamokření.

### **Transport chemických látek**

Zemědělská půda je ve styku s velkým množstvím chemických látek, jako jsou hnojiva, pesticidy a zemědělské odpady. *MZE (2011b)* uvádí, že tyto látky jsou odnášeny spolu se zeminou vodní erozí do vodních zdrojů a tím je negativně ovlivňována kvalita vody v těchto zdrojích.

Významným problémem, jehož příčinou je mimo jiné i eroze, je eutrofizace vod, která vzniká tím, že dusík a fosfor je z půdy vyplavován a spolu s erodovanou zeminou odnášen do vodních toků. Tento problém souvisí také s tím, že erodovaná zemina obsahuje většinou vyšší obsah živin než původní půda a to proto, že živiny se nacházejí v horních vrstvách půdy ve větším množství a jemné částice jsou snadněji vyplavovány (*KVÍTEK A TIPPL, 2003*).

Finančně popisuje *MZE (2011b)* následky vodní eroze takto: výnosnost pozemků může eroze snížit na mírně erodovaných polích o 15-20%, na středně

erodovaných polích o 40-50% a na silně erozně ohrožených pozemcích až o 75%. WINPENNY (1991) uvádí, že nejrozšířenější metoda pro určení finančních dopadů eroze je „replacement cista“, která je založená na výpočtu nákladů na odstranění škod způsobených erozí.

#### 2.2.4 Vymezení erozní ohroženosti v rámci GAEC 2

MORGAN (2005) rozlišuje erozní ohroženost půd na potencionální, která odráží místní podmínky půdy, klima, sklon svahu, a na skutečnou erozní ohroženost, která navíc bere v úvahu vegetační kryt.

Vymezení erozní ohroženosti pro potřeby standardu GAEC 2 vychází z analýzy maximálních přípustných hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace  $C_p$ . Jsou nastaveny limity erozní ohroženosti dle GAEC, které slouží pro potřeby podmíněnosti dotací zemědělským subjektům. Pro potřeby tohoto vymezení na kategorie SEO, MEO a půdy neohrožené, je vytvořena vrstva erozní ohroženosti půd ČR, kterou vytvořil VÚMOP, v.v.i. (MZE, 2011b).

Tento vytvořený model, který uvádí VÚMOP (2011) je nejen nástrojem pro určování erozní ohroženosti, ale také návodem jak hospodařit na dané lokalitě tak, aby nedocházelo k nadlimitní ztrátě půdy vodní erozí:

$$C_p = G_p / (R * K * L * S * P)$$

kde:

$C_p$  – maximální přípustná hodnota faktoru ochranného vlivu vegetace

$G_p$  – přípustná ztráta půdy s ohledem na zachování funkcí půdy a její úrodnosti (t.ha-1.rok-1)

$R$  – faktor erozní účinnosti dešťů, vyjádřený v závislosti na kinetické energii a intenzitě erozně nebezpečných dešťů

$K$  – faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti půdního profilu

$L$  – faktor délky svahu, vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí

$S$  – faktor sklonu svahu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí

$P$  – faktor účinnosti protierozních opatření

Limity přípustné ztráty půdy podle *MZE (2011b)* zohledňují zachování funkcí a úrodnosti půdy. Rámcový přehled organizačních a agrotechnických opatření k jednotlivým hodnotám  $C_p$  je uveden v obr. č. 1.

hodnota $C_p$	kategorie erozní ohroženosti	doporučení
do 0,005	nejohroženější	převést příslušné půdní bloky nebo jejich části mezi trvalé travní porosty
0,005 - 0,02	silně ohrožené	pěstování víceletých pícnin např. jetele a vojtěšky
0,02 - 0,2	ohrožené	vyloučení pěstování širokořádkových plodin, úzkořádkové plodiny lze pěstovat pouze s využitím půdoochranných technologií
0,2 - 0,6	mírně ohrožené	pěstování úzkořádkových plodin bez omezení, širokořádkové plodiny však pouze s využitím půdoochranných technologií
0,6 a více	bez ohrožení	žádné omezení

Obr. č. 1: Rámcová organizační a agrotechnická opatření hodnoty  $C_p$  (Zdroj: *MZE, 2011b; VÚMOP, 2011*)

### 2.2.5 Ochrana proti erozi

Proces vodní eroze podle *JANEČKA A KOL. (1992)* úzce souvisí s povrchovým odtokem vody a proto základním principem ochrany půd proti erozi je zadržet povrchově odtékající vodu a to především zvýšením infiltrace vody do půdy, zmírněním sklonu pozemků, zmenšením délky pozemků po svahu a snížením podélného sklonu soustředěného odtoku.

#### Organizační protierozní opatření

Nezákladnějším prostředkem, který vede k ochraně půdy nejen před vodní erozí je podle *JŮVY A KOL. (1977)* účelná organizace půdního fondu a zemědělských pozemků. Také uvádí, že každá kultura vytváří pro povrchový odtok a vsakování jiné podmínky. Tyto podmínky jsou vytvářeny především druhem kořenového systému kultury, povrchovým krytem, vláhovými potřebami rostliny a také vlivem kultury na vývoj a složení půdy, což se dále projevuje v protierozní odolnosti půdy.

Podstatou organizačních opatření je pěstování plodin, které mají vysoký ochranný vliv na půdu na ohrožených pozemcích a pěstování plodin s malým protierozním účinkem na rovinatých, neohrožených pozemcích (*SOUKUP A HRÁDEK, 1999*). Z tohoto hlediska vyčnívají nad ostatními plodinami trvalé travní

porosty, které mají vysoký protierozní účinek a to především proto, že zajišťují celoroční vegetační kryt, který zpomaluje povrchový odtok (*MRKVIČKA, 1998*).

### **Agrotechnická protierozní opatření**

Tato opatření navazují na opatření organizační. *KVÍTEK A TIPPL (2003)* uvádí, že jejich hlavní účel je zvýšení vsakovací schopnosti půdy a ochrana povrchu půdy a to především v období přívalových srážek. Mezi agrotechnická opatření patří opatření spadající do půdoochranných technologií (conservation tillage), z nichž většina vyžaduje speciální stroje či přípravky na ochranu rostlin.

Mezi tato opatření patří: vrstevnicové či konturové obdělávání, výsev do ochranné plodiny nebo strniště, mulčování.

### **Technická protierozní opatření**

*JANEČEK (2012)* uvádí, že tato opatření se navrhuje především na místech, kde povrchový odtok může významně ohrožovat intravilán obce. *KVÍTEK A TIPPL (2003)* dodává, že tato opatření se používají také v případě, že organizační a agrotechnická opatření nelze použít vzhledem k jejich nedostatečné ochraně. Technická opatření jsou finančně náročnější než předešlá opatření. Níže je uveden stručný přehled technických opatření, z nichž některé je nutno dimenzovat na základě hydrotechnických výpočtů:

- Terénní urovnávky
- Protierozní meze, příkopy a hrázky
- Terasování
- Hydrografické prvky
- Průlehy a zatravněné údolnice
- Polní cesty s protierozní funkcí
- Ochranné nádrže

## **2.3 Hydrologické modelování**

Jak uvádí *DAŇHELKA (2007)*, proces hydrologického modelování má tři základní části. V první části probíhá příprava a zpracování dat a sledovaných ukazatelů. Druhá část již zahrnuje zpracování předpovědi hydrologických prvků pro zvolený časový úsek a prostor. Třetí část zahrnuje interpretaci výsledků, které dále

slouží dalším účelům (např. protipovodňová ochrana nebo řízení vodohospodářských systémů).

DAŇHELKA (2003) uvádí, že matematický hydrologický model je jakýsi zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními proměnnými určitého hydrologického systému.

### 2.3.1 Základní klasifikace hydrologických modelů

Hydrologické modely se dají klasifikovat z různých hledisek. Jedno z těchto dělení je podle ZEMANA (1994), který klasifikuje používané modely v hydrologii podle:

1. účelu a způsobu aplikace
2. simulovaného hydrologického procesu a míry komplexnosti

Modely dělené dle tohoto bodu jsou:

- modely sněhové
- modely srážkoodtokového procesu
- modely nádrží
- modely simulující pohyby vody v korytě
- komplexní systémy

3. hloubky a komplikovanosti vazeb simulovaného procesu

Toto hledisko dělí modely na **deterministické**, které mají jednoznačný vztah mezi příčinou (srážka, nasycení, charakter povodí) a závislou stavovou proměnnou (odtok). Tyto modely se v hydrologické praxi používají více než druhý typ, kterým jsou modely **stochastické**. Ty představují skupinu modelů, které nemají vazbu mezi příčinou a následkem hydrologického jevu.

4. požadovaného rozsahu časové a prostorové diskretizace

Dle prostorové diskretizace se rozlišují dvě základní kategorie modelů. **Modely distribuované**, které jsou charakteristické měnícími se hodnotami parametrů a plošně vyjádřenými vstupy v simulované oblasti. **Lumped modely**, které mají parametry a vstupy pro celou simulovanou oblast vyjádřeny jednou hodnotou (průměrem).

## 5. kontinuity výpočtů

Toto hledisko rozděluje modely na **kontinuální** modely, které používají přenos stavových proměnných a podmínek z jednoho výpočtu do následujících výpočtů. Výpočet je prováděn pravidelně, aby nedošlo k přerušení kontinuity jejich přenosu. Druhým typem modelů jsou modely **událostní**. Tyto modely jsou využívány pouze pro povodňové události. Prvotní podmínky výpočtu se obvykle nastavují jako průměrné.

### 2.3.2 Metoda čísel odtokových křivek- CN

Ve světě byl vytvořen bezpočet srážko-odtokových modelů, které ve většině případů bývají odvozeny, jak uvádí *MOCKUS (1972)*, pro větší povodí, neseparují povrchový odtok, neberou v potaz půdní vlastnosti, vegetační pokryv a jiné. S ohledem na tyto poměry se jeví jako nejvhodnější metoda čísel odtokových křivek, u které se jeví podle *KOVÁŘE (2000)* jako vážná nevýhoda, neuvažování intenzity a doby trvání příčinného deště.

Metoda CN je využitelná pro samostatný svah či povodí s údolnicí, jehož maximální plocha nepřekročí 10 km<sup>2</sup> (*SOUKUP A HRÁDEK, 1999*). Umožňuje stanovení objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku z návrhového přívalového deště o určité pravděpodobnosti výskytu především v zemědělsky využívaných povodích nebo jejich částech (*PODHRÁZSKÁ, 2009*).

Předpokladem pro použití této metody podle *KREŠLA (2001)* je, že odtok závisí na meteorologických a pedologických charakteristikách, půdním pokryvu povodí a podle *SCS (1986)* navíc na zpracování půdy.

Při samotném výpočtu odtoku se stanoví index, který charakterizuje uvedené činitele a zároveň odpovídá číslu odtokové křivky. Nejvýznamnější meteorologickou charakteristikou povodí pro určení objemu odtoku je úhrn srážek (*HOLÝ, 1994*).

*JANEČEK (2007)* uvádí, že výsledné číslo CN je vážený průměr všech ploch v povodí, které mají různá čísla CN. Dále *JANEČEK A KOL. (1992)* uvádí, že čísla odtokových křivek jsou odvozena podle:

- Hydrologických vlastností půd rozdělených do skupin- A, B, C, D, které znázorňuje tab. č. 2.
- Vlhkosti půdy (na základě indexu předchozích srážek- IPS)

- Využití půdy, vegetačního krytu, druhu obdělávání, protierozních opatření (Příloha č. 5)

Detailnějším popisem této metody se zabývá například *MOCKUS (1972)* také *JANEČEK (2012)* nebo *SCS (1986)*.

Hydrologické vlastnosti	HSP
Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ( $>0,12 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení. Zahrnují převážně půdy hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo štěrky	A
Půdy se střední rychlostí infiltrace ( $0,06-0,12 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení. Zahrnují půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité	B
Půdy s nízkou rychlostí infiltrace ( $0,02-0,06 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení. Zahrnují půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité.	C
Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ( $<0,02 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení. Zahrnují jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod povrchem a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím	D

Tab. č. 2: Hydrologické skupiny půd (HSP) a jejich charakteristika (Zdroj: *JANEČEK A KOL., 1992*)

*SOUKUP A HRÁDEK (1999)* a také *STARÝ (2005)* uvádí další modely, které se touto problematikou zabývají v podobném měřítku a nejsou založeny na metodě CN. Jsou to následující modely:

**Model SMODERP**, který je založen na rovnici kontinuity a pohybové rovnici. Zohledňuje proces intercepce, retence půdního povrchu a infiltrace.

**Model KINFIL**, který má dvě části. První část modelu řeší infiltrační proces dle rovnic Morel-Seytoux a druhá část modelu řeší transformaci efektivního deště do povrchového odtoku modelem kinematické vlny.

**Model DesQ**, který se zaměřuje na odvození charakteristik maximálního odtoku z povodí, který je vyvolán přívalovým deštěm. Řešení stojí na principu kinematické povodňové vlny. Také umožňuje výpočet návrhové doby trvání deště příslušné intenzity, charakteristik hydrografu maximálního odtoku, střední profilové rychlosti, výšky odtokové vrstvy.



### 3. MATERIÁL

#### 3.1 Povodí Kopaninského toku

Povodí Kopaninského toku s plochou povodí 8,73 km<sup>2</sup> a s hydrologickým číslem 1-09-02-031 je tokem 4. řádu a je levostranným přítokem Janovského potoka. Zároveň je součástí povodí Hejlovky, která je přítokem Želivky. Patří tedy do povodí Vltavy. Leží severovýchodně od Pelhřimova a délka toku je 5,9 km. Povodí se nachází v okrese Pelhřimov. Kopaninský potok protéká katastrálním územím Velký Rybník, Strměchy, Žirov, Kletečná. Rozmezí nadmořských výšek povodí je 467-578 m.n.m. Průměrná nadmořská výška Kopaninského toku je 523 m.n.n. Další významné charakteristiky povodí Kopaninského toku znázorňuje tab. č. 3.

V zájmovém území převažuje zemědělská půda. *MORAVCOVÁ A KOL. (2008)* dodává, že veškerá zemědělská výroba se specializuje na tradiční agrotechnické postupy.

	<b>Kopaninský tok</b>
Nadmořská výška [m]	467-578
Min-max (průměr)	(523)
Plocha [km <sup>2</sup> ]	8,73
Hydrologické pořadí	1-09-02-031
Nadřazené vodní toky	Želivka, Sázava, Vltava, Labe
% orné půdy	52%
% luk a pastvin	14%
% lesů	30%
Průměrné roční srážky [mm]	665
/stanice	Humpolec
/období	1901-50
Průměrná roční teplota [°C]	7,0
/stanice	Humpolec
/období	1901-50
Hlavní matečná hornina	Pararula
Měření začala v roce	1985

Tab. č. 3: Základní charakteristiky pokusného povodí VÚMOP v.v.i. (Zdroj: *DOLEŽAL A KOL., 2002*)

## **Klimatické poměry**

Dle Končeka spadá povodí Kopaninského toku do klimatické oblasti B5, která je charakterizována jako mírně teplá, mírně vlhká, vrchovinová (*HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 1958*).

Dle *QUITTA (1971)* se na povodí Kopaninského toku nacházejí dvě klimatické oblasti a to oblast MT4, kterou charakterizuje krátké léto, mírné, suché až mírně suché, přechodné období krátké s mírným jarem a mírným podzimem, zima je normálně dlouhá, mírně teplá a suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Oblast MT7 charakterizuje normálně dlouhé, mírné, mírně suché léto, přechodné období je krátké, s mírným jarem a mírně teplým podzimem, zima je normálně dlouhá, mírně teplá, suchá až mírně suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky.

Průměrná roční teplota vzduchu je 7°C a průměrná teplota ve vegetačním období (IV - IX) je 13°C. Průměrný roční úhrn srážek je 650 mm. Průměrný úhrn srážek ve vegetačním období (IV-IX) je 400 mm. Průměrný počet letních dnů je 40 a mrazových dnů 130. Roční průměrná oblačnost činí 60 %. Průměrné trvání slunečního svitu v roce činí 1800 hodin a průměrný počet dnů s bouřkou v roce je 25 (*HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 1958*). Data potvrzuje měření na observatoři Košetice (*VÁŇA A HOLOUBEK., 2001*).

## **Geologické poměry**

Povodí Kopaninského toku spadá do hydrogeologického rajonu 652 Krystalinikum v povodí Sázavy a jeho geologickým podkladem je pararula. Horniny krystalinika mají sníženou puklinovou propustnost, která v dosahu zvětrávacích procesů závisí hlavně na charakteru zvětralin. Pro území jsou charakteristické mělké zvodně vázané na povrchovou zónu kvartérních uloženin, zónu zvětrávání, případně přípovrchového rozpojení hornin. Oběh vody má lokální charakter. Infiltrace probíhá v celé ploše kolektoru v závislosti na propustnosti zvětralinového pláště (*PODHRÁZSKÁ A UHLÍŘOVÁ, 2005*).

Dle geologickomorfologické klasifikace spadá povodí Kopaninského toku do provincie Česká Vysočina, subprovincie Česko-moravská soustava, oblasti Českomoravská vrchovina, celku Křemešnická vrchovina, podcelku Želivská pahorkatina, okrsku Hořepnická pahorkatina.

## Půdní poměry

Pro povodí jsou charakteristické kambizemě modální na rulách, středně těžké až lehčí. Tab. č. 4 ukazuje zastoupení jednotlivých BPEJ, půdních typů a zároveň hydrologických skupin (HSP).

BPEJ	Půdní typ	Výměra [ha]	Výměra [%]	HSP
7.29.01	Kambizemě modální eubazické až mezobazické na rule	38,1	6	B
7.29.04		7,4	1	
7.29.11		166,5	28	
7.29.14		222,6	37	
7.29.44	Kambizemě modální eubazické až mezobazické včetně slabě oglejených variant	5,6	1	
7.37.16	Kambizemě litické, modální, rankerové a rankery modální	1,8	0,3	B
7.50.01	Kambizemě oglejené a pseudogleje modální na rule	0,6	0	C
7.50.11		63,7	11	
7.67.01	Gleje modální na různých substrátech	13,0	2,1	C
7.73.11	Kambizemě oglejené a pseudogleje glejové	85,9	14	C

Tab. č. 4: Zastoupení BPEJ v povodí Kopaninského toku (Zdroj: VÚMOP, 2011, upraveno autorem)

### 3.1.1 Subpovodí P6

Subpovodí P6 se nachází jihozápadně od obce Velký Rybník (Příloha č. 1). Má rozlohu 15,7 ha, většinu z této plochy zaujímá orná půda. Využití půdy znázorňuje tab. č. 5 a graficky příloha č. 4. Půdy vyskytující se v tomto subpovodí jsou kambizemě modální a oglejené, přehled BPEJ znázorňuje tab. č. 6 a graficky příloha č. 3

Vzhledem k ohroženosti půd v rámci GAEC 2 se v subpovodí nachází plocha neohrožená na 11,4 ha a půda mírně ohrožená na 4,3 ha což je 27% z celkové plochy subpovodí. Modelový půdní blok, na kterém se nachází dle GAEC 2 mírně erozně ohrožená půda má podle LPIS průměrnou sklonitost 3,6°, jeho průměrná nadmořská výška je 506,68 m. (Příloha č. 2).

Využití půdy	Výměra [ha]	Výměra [%]
Orná půda	15	95
TTP	0,4	3
Ostatní plocha	0,3	2
Celkem	15,7	100

Tab. č. 5: Landuse v subpovodí P6 (Zdroj: VÚMOP, 2011, upraveno autorem)

BPEJ	Půdní typ	Výměra [ha]	Výměra [%]	HSP
7.29.11	Kambizemě modální eubazické až mezobazické na rule	6,8	43	B
7.29.01		2,8	18	
7.29.14		1,1	7	
7.73.11	Kambizemě oglejené a pseudogleje glejové	5,0	32	C

Tab. č. 6: Zastoupení BPEJ v subpovodí P6 (Zdroj: VÚMOP, 2011, upraveno autorem)

## 4. METODY

Pro výpočty přímého odtoku, objemu přímého odtoku, kulminačního průtoku a doby koncentrace byl využit program HydroCad, který umožňuje rozdělit dobu doběhu ( $T_{tb}$ ) na více částí a také zvolit vhodnou návrhovou srážku, což je pro účel této práce velice přínosné. Tento program byl vyvinut americkou službou ochrany přírodních zdrojů (US NRCS).

Pro porovnání výsledků byl využit program ERCN, ve kterém proběhl také výpočet odtokových křivek. Oba tyto programy využívají metodu CN, která slouží k určování přímých odtoků z přívalových dešťů. Základní parametry, kterými jsou přímý odtok, kulminační průtok a doba koncentrace, jsou počítány v metodě CN na základě následujících vztahů.

### 4.1 Řešené charakteristiky přímého odtoku

#### 4.1.1 Přímý odtok

Přímý odtok zahrnuje povrchový a hypodermický odtok. Podíly těchto odtoků se oceňují CN křivkami (JANEČEK, 2012).

#### 4.1.2 Objem přímého odtoku

Metoda CN používá pro odhad objemu přímého odtoku podle PASÁKA A KOL. (1984) následující vztah:

$$O_{pH} = 1000 * H_o * F$$

$$H_o = \frac{(H_s - 0,2A)^2}{H_s + 0,8A}$$

kde:

$O_{ph}$  = objem přímého odtoku [ $m^3$ ]

$F$  = plocha povodí [ $km^2$ ]

$H_o$  = výška přímého odtoku [mm]

$H_s$  = výška srážky z přívalové deště [mm]

$A$  = potenciální retence určovaná na základě čísla křivky (CN) podle

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

#### 4.1.3 Kulminační průtok

Metoda CN vychází z principu bezrozměrného jednotkového hydrogramu. Pro výpočet kulminačního odtoku je použit následující vztah dle *JANEČKA (2012)*:

$$Q_{pH} = 0,00043 * q_{pH} * P * H_0 * f$$

kde:

$Q_{pH}$  = kulminační průtok [ $m^3/s$ ]

$q_{pH}$  = jednotkový kulminační průtok

$P$  = plocha povodí

$H_0$  = výška přímého odtoku [mm]

$f$  = opravný koeficient pro rybníky a mokřady

#### 4.1.4 Doba koncentrace

Je součet jednotlivých dob doběhu, které jsou definovány dle *JANEČKA (2007)* jako čas, který potřebuje voda na přemístění z jednoho místa v povodí na jiný.

**Doba koncentrace ( $T_c$ )** = plošný povrchový odtok ( $T_{ta}$ ) + soustředěný odtok o malé hloubce ( $T_{tb}$ ) + soustředěný odtok v otevřeném korytu ( $T_{tc}$ ):

$$T_c = T_{ta} + T_{tb} + T_{tc} \quad [h]$$

Dobu koncentrace *JANEČEK (2007)* definuje jako čas odtoku z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu povodí do jeho uzávěrového profilu.

## 4.2 Popis použitých scénářů

Scénáře při výpočtu odtokových poměrů jsou využity čtyři, znázorňuje je tab. č. 7. Jednotlivé scénáře jsou vytvořeny tak, aby splňovaly podmínky GAEC 2 pro mírně erozně ohrožené půdy, které jsou uvedeny pro jednotlivé půdoochranné technologie v kapitole 2.1.3 Standard GAEC 2.

Na ploše vyznačené jako orná půda se ve všech čtyřech scénářích předpokládá pěstování ozimé pšenice, kukuřice a také brambor.

	Název	Označení
<b>Scénář č. 1</b>	Přímé řádkování	Př
<b>Scénář č. 2</b>	Vrstevnicové řádkování	Vř
<b>Scénář č. 3</b>	Přímé řádkování+Přerušovací pásy	Př+Pp
<b>Scénář č. 4</b>	Vrstevnicové řádkování+Přerušovací pásy	Vř+Pp

Tab. č. 7: Popis použitých scénářů

**Scénář č. 1:** Je přímé řádkování, přímé řádky jsou vedené bez ohledu na sklon pozemku, tedy i po spádnici. Není využita žádná půdoochranná technologie.

**Scénář č. 2:** Je vrstevnicové řádkování, řádky jsou vedené přesně ve směru vrstevnic-konturově. Tato technologie spadá do půdoochranných technologií pro mírně erozně ohrožené půdy v rámci GAEC 2. Její funkce je založená na zpomalení povrchového odtoku.

**Scénář č. 3:** Je přímé řádkování, přímé řádky jsou vedené bez ohledu na sklon pozemku, tedy i po spádnici. Také je využita technologie přerušovacích pásů, která spadá do půdoochranných technologií pro mírně erozně ohrožené půdy v rámci GAEC 2, tyto pásy splňují podmínky MZE (viz. kapitola 2.1.3 Standard GAEC 2). Pásy jsou použity 2 a jsou široké 15 m, jejich umístění znázorňuje příloha č. 2. Funkce přerušovacích pásů je založena na tom, že zpomalují povrchový odtok a travní porost, který tvoří přerušovací pás, má lepší vsakovací schopnosti.

**Scénář č. 4:** Je vrstevnicové řádkování, řádky jsou vedené přesně ve směru vrstevnic-konturově. Také je využita stejná technologie přerušovacích pásů jako ve scénáři č. 3.

## 5. VÝSLEDKY A DISKUSE

Výpočty proběhly ve čtyřech scénářích. Jako návrhová srážka pro výpočet v programu HydroCad i v programu ERCN byl vybrán srážkový úhrn s pravděpodobností opakování 100 let, který pro modelové území činí 100 mm. Pro další použité srážkové úhrny s pravděpodobností opakování 2, 10, 20 a 50 let byl využit už pouze program HydroCad, který má oproti programu ERCN možnost měnit časové rozložení vstupního srážkového úhrnu a také lépe zohlednit navržená opatření při výpočtu doby koncentrace.

Výstupy z použitých programů znázorňuje příloha č. 6.

	<b>Přímý odtok [mm] [%]</b>	<b>Objem odtoku-<math>O_{ph}</math> [m<sup>3</sup>][%]</b>	<b>Kulminační průtok-<math>Q_{pH}</math> [m<sup>3</sup>/s][%]</b>	<b>Tc [min]</b>
<b>Scénář č. 1</b>	49(100)	7,627(100)	1,9847(100)	29,3
<b>Scénář č. 2</b>	45(92)	7,03(92)	1,7831(90)	31,1
<b>Scénář č. 3</b>	47(96)	7,325(96)	1,8518(93)	30,9
<b>Scénář č. 4</b>	43(88)	6,741(88)	1,6611(84)	32,7

Tab. č. 8: Hydrologické ukazatele při srážkovém úhrnu s pravděpodobností opakování 100 let v programu HydroCad (*Zdroj: program HydroCad, upraveno autorem*)

První scénář vykazuje nejvyšší hodnoty přímého odtoku, kulminačního průtoku i objemu přímého odtoku, což znázorňuje tab č. 8. Při druhém scénáři se snížily všechny tři parametry oproti prvnímu scénáři konstantně o 8%. Při třetím scénáři se snížil přímý odtok a objem přímého odtoku o 4% a kulminační průtok o 5%. U čtvrtého scénáře bylo snížení hodnot dle očekávání nejvyšší, přímý odtok a objem přímého odtoku se snížili oproti prvnímu scénáři o 11% a kulminační průtok o 13%. Doba koncentrace se oproti prvnímu scénáři prodloužila o 3,4 min, což je způsobeno vyšší retenční schopností travního porostu a také tím, že řádky jsou vedeny kolmo na dráhu odtoku.



	<b>Přímý odtok [mm][%]</b>	<b>Objem odtoku-<math>O_{ph}</math> [m<sup>3</sup>][%]</b>	<b>Kulminační průtok-<math>Q_{pH}</math> [m<sup>3</sup>/s][%]</b>	<b>Tc [min]</b>
<b>Scénář č. 1</b>	48,09(100)	7550,60(100)	1,94(100)	21,4
<b>Scénář č. 2</b>	44,31(92)	6957,16(92)	1,77(92)	
<b>Scénář č. 3</b>	46,09(96)	7235,86(96)	1,85(95)	
<b>Scénář č. 4</b>	42,66(89)	6698,35(89)	1,69(87)	

Tab. č. 9: Hydrologické ukazatele při srážkovém úhrnu s pravděpodobností opakování 100 let v programu ERCN (*Zdroj: program ERCN, upraveno autorem*)

Výsledky z programu ERCN ukazuje tab. č. 9. Byly použity stejné scénáře, rozdíly obou programů v hodnotách nejsou nikterak významné. Doba koncentrace je u všech scénářů stejná z důvodu toho, že program ERCN neumožňuje rozdělit  $T_{tb}$  na více částí.

	<b>Přímý odtok [mm] [%]</b>	<b>Objem odtoku-<math>O_{ph}</math> [m<sup>3</sup>][%]</b>	<b>Kulminační průtok-<math>Q_{pH}</math> [m<sup>3</sup>/s][%]</b>	<b>Tc [min]</b>
<b>Scénář č. 1</b>	41(100)	6,379(100)	1,6802(100)	29,3
<b>Scénář č. 2</b>	37(90)	5,833(91)	1,4967(89)	31,1
<b>Scénář č. 3</b>	39(95)	6,103(96)	1,5611(93)	30,9
<b>Scénář č. 4</b>	35(85)	5,570(87)	1,3880(83)	32,7

Tab. č. 10: Hydrologické ukazatele při srážkovém úhrnu s pravděpodobností opakování 50 let v programu HydroCad (*Zdroj: program HydroCad, upraveno autorem*)

Pro výpočet s nižšími srážkovými úhrny byl využit už jen program HydroCad. Výsledky se srážkovým úhrnem s pravděpodobností opakování 50 let ukazuje tab. č. 10. Hodnota srážkového úhrnu pro tuto dobu opakování činí 89,7 mm.

Tyto výsledky ukazují zvýšení rozdílu mezi prvním a posledním scénářem ve všech třech ukazatelích oproti výsledkům se srážkovým úhrnem s dobou opakování 100 let. Hodnoty doby koncentrace zůstávají stejné.

Snížení hodnoty vstupujícího návrhového úhrnu s pravděpodobností opakování 100 let na úhrn s pravděpodobností opakování 50 let způsobuje snížení hodnot přímého odtoku a objemu odtoku u prvního scénáře shodně o 16% a hodnoty kulminačního průtoku o 15%. U čtvrtého scénáře je snížení obdobné.

	<b>Přímý odtok [mm] [%]</b>	<b>Objem odtoku-<math>O_{ph}</math> [m<sup>3</sup>][%]</b>	<b>Kulminační průtok-<math>Q_{pH}</math> [m<sup>3</sup>/s][%]</b>	<b>Tc [min]</b>
<b>Scénář č. 1</b>	31(100)	4,831(100)	1,2942(100)	29,3
<b>Scénář č. 2</b>	28(90)	4,358(90)	1,1361(88)	31,1
<b>Scénář č. 3</b>	29(94)	4,591(95)	1,1938(92)	30,9
<b>Scénář č. 4</b>	26(84)	4,133(86)	1,0454(81)	32,7

Tab. č. 11: Hydrologické ukazatele při srážkovém úhrnu s pravděpodobností opakování 20 let v programu HydroCad (Zdroj: program HydroCad, upraveno autorem)

Srážkový úhrn pro návrhovou srážku s pravděpodobností opakování 20 let činí 76,6 mm. Opět je vidět prohloubení rozdílu mezi prvním a posledním scénářem.

Snížení hodnoty vstupujícího návrhového úhrnu s pravděpodobností opakování 50 let na úhrn s pravděpodobností opakování 20 let způsobuje snížení hodnot přímého odtoku a objemu odtoku u prvního scénáře shodně o 24% a hodnoty kulminačního průtoku o 23%. U čtvrtého scénáře je snížení přímého odtoku a objemu přímého odtoku o 26% a kulminačního průtoku o 28% což je patrné z tab. č. 10 a 11.

	<b>Přímý odtok [mm] [%]</b>	<b>Objem odtoku-<math>O_{ph}</math> [m<sup>3</sup>][%]</b>	<b>Kulminační průtok-<math>Q_{pH}</math> [m<sup>3</sup>/s][%]</b>	<b>Tc [min]</b>
<b>Scénář č. 1</b>	23(100)	3,605(100)	0,9803(100)	29,3
<b>Scénář č. 2</b>	20(87)	3,201(89)	0,8454(86)	31,1
<b>Scénář č. 3</b>	22(96)	3,399(94)	0,8965(91)	30,9
<b>Scénář č. 4</b>	19(83)	3,010(83)	0,7705(79)	32,7

Tab. č. 12: Hydrologické ukazatele při srážkovém úhrnu s pravděpodobností opakování 10 let v programu HydroCad (Zdroj: program HydroCad, upraveno autorem)

Srážkový úhrn pro návrhovou srážku s pravděpodobností opakování 10 let činí 66 mm. Snížení hodnoty vstupujícího návrhového úhrnu s pravděpodobností opakování 20 let na úhrn s pravděpodobností opakování 10 let způsobuje snížení hodnoty přímého odtoku u prvního scénáře o 26%, hodnoty objemu odtoku o 25% a hodnoty kulminačního průtoku o 24%. U čtvrtého scénáře je snížení obdobné. Toto je patrné z tab. č. 11 a 12.

	Přímý odtok [mm][%]	Objem odtoku- $O_{ph}$ [m <sup>3</sup> ][%]	Kulminační průtok- $Q_{pH}$ [m <sup>3</sup> /s][%]	Tc [min]
Scénář č. 1	7(100)	1,172(100)	0,3227(100)	29,3
Scénář č. 2	6(86)	0,961(82)	0,2502(78)	31,1
Scénář č. 3	7(100)	1,063(91)	0,2808(87)	30,9
Scénář č. 4	6(86)	0,865(74)	0,2141(66)	32,7

Tab. č. 13: Hydrologické ukazatele při srážkovém úhrnu s pravděpodobností opakování 2 roky v programu HydroCad (Zdroj: program HydroCad, upraveno autorem)

Srážkový úhrn pro návrhovou srážku s pravděpodobností opakování 2 roky činí 39,7 mm.

Jak je vidět z tabulek výše, tak u hodnot přímého odtoku, kulminačního průtoku i objemu odtoku je patrné snížení vlivu opatření se zvyšující se srážkou. Zatímco tab. č. 8 (srážkový úhrn s pravděpodobností opakování 100 let) ukazuje snížení kulminačního průtoku u čtvrtého scénáře oproti prvnímu o 0,3236 m<sup>3</sup>/s čili o 15%, tak z tab. č. 13 (srážkový úhrn s pravděpodobností opakování 2 roky) je vidět snížení hodnoty kulminačního průtoku o 0,1086 m<sup>3</sup>/s čili o 44%. Podobná situace je patrná i u objemu přímého odtoku, u kterého je při návrhovém úhrnu s pravděpodobností opakování 2 roky snížení o 0,3070 m<sup>3</sup>, což činí 26%, zatímco u návrhového úhrnu s pravděpodobností opakování 100 let je patrné snížení jen o 0,886 m<sup>3</sup> čili o 12%.

	Scénář č. 1	Scénář č. 2	Scénář č. 3	Scénář č. 4
Číslo CN	78,75	76,75	77,7	75,85
$I_a/H_s$	0,14	0,15	0,15	0,16

Tab. č. 14: Hydrologické ukazatele při srážkovém úhrnu s pravděpodobností opakování 100 let při jednotlivých scénářích (Zdroj: program ERCN, upraveno autorem)

V programu ERCN byly také vypočítány čísla CN pro jednotlivé scénáře, které odráží způsob využití, vegetační kryt a protierozní opatření.

Hodnota  $I_a$  vyjadřuje počáteční ztrátu vody v milimetrech.  $H_s$  je úhrn přívalové srážky v milimetrech

Oba parametry ve všech čtyřech scénářích znázorňuje tab. č. 14. Výsledky splnily očekávání, číslo CN je nejnižší při 4. scénáři a zároveň  $I_a/H_s$  je při tomto scénáři nejvyšší.

## 6. ZÁVĚR

Problematice vodní eroze a protierozních opatření se věnuje mnoho publikací, mým cílem v této oblasti bylo zhodnotit přínos půdoochranných technologií používaných v rámci GAEC 2. Pro tento účel se jeví programy HydroCad a ERCN jako dobrá pomůcka díky své jednoduchosti ovládání a nenáročnosti na vstupní data.

Vzhledem ke stále častějšímu výskytu přívalových srážek je využití a zlepšování hydrologických modelů aktuální otázkou. Modely využitě v této práci, jsou jedny z těch poměrně dosti využívaných. Jako přínosnější pro účel této bakalářské práce se jeví model HydroCad, který dokáže lépe zohlednit aplikaci navrhovaných opatření.

Z dosažených výsledků je patrný pozitivní vliv přerušovacích pásů a setí/sázení po vrstevnici na snížení povrchového odtoku a zvýšení retence území. Nejlepšího výsledku dle očekávání dosáhl scénář č. 4, který je kombinací obou opatření.

Využitá metoda SCS-CN se jeví pro účely této práce jako vhodná, ale vzhledem ke značným zjednodušením se nedá přesně říci, zda dosažené výsledky odpovídají skutečnosti, a proto je vhodné ji kombinovat s dalšími metodami pro zpřesnění výsledků. Proto bych se této problematice chtěl věnovat i ve své diplomové práci a využít i další dostupné metody.

## 7. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AEO EAFRD	European agricultural fund for rural development (Evropský zemědělský fond pro rozvoj venkova)
BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
CC	Cross Compliance (tzv. křížový soulad)
DPB	Díl půdního bloku
EU	Evropská unie
LPIS	Veřejný registr půdy
MEO	Mírně erozně ohrožené půdy
MZE	Ministerstvo zemědělství
PB	Půdní blok
PP	Přerušovací pás
PŘ	Přímé řádkování

SEO	Silně erozně ohrožené půdy
SMR	Statutory management requirements (Zákonné požadavky na hospodaření)
SPS	Single Payment Scheme (Jednotné schéma plateb)
SZIF	Státní zemědělský intervenční fond
VŘ	Vrstevnicové řádkování
VÚMOP, v.v.i.	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

## 8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BLANCO, H., LAL, R. *Principles of soil conservation and management*. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2008, 601 s.
- [2] CABLÍK, J., JŮVA, K. *Protierozní ochrana půdy*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1963, 324 s.
- [3] ČSN 736530. *Vodní hospodářství. Názvosloví hydrologie*. 1983.
- [4] DAŇHELKA, J., KREJČÍ, J., ŠÁLEK, M., ŠERCL, P., ZEZULÁK, J. *Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR*. Praha: ČZU, 2003, 214 s.
- [5] DAŇHELKA, J. *Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědi*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 104 s.
- [6] DOLEŽAL, F., ČMELÍK, M., KULHAVÝ, Z., KVÍTEK, T., PILNÁ, E., SOUKUP, M., TIPPL, M., 2002: *Základní charakteristika pokusných povodí*. In: F. Doležal (ed.): *Pokusná zemědělsko-lesní povodí VÚMOP ve středočeském krystaliniku. Srovnání základních souborů dat*. Sborník z workshopu, Nové Hrady, 16. října 2001. Praha: VÚMOP Praha., 2002, s. 5-12
- [7] DÝROVÁ, E., SOUKALOVÁ, E. *Ochrana a organizace povodí*. Brno: VUT, 1978, 285 s.
- [8] HANNA, H.M., MELVIN, S.W., POPE, R.O. *Tillage implement operational effects on residue cover*. *Applied Engineering in Agriculture*, 1995, roč. 2, č. 11, s. 205-210
- [9] HLAVÁČKOVÁ, V., *Eroze půdy a protierozní ochrana půdy*. Sborník z workshopu. Praha: Institut vzdělávání v zemědělství o.p.s., 2011, 51 s.
- [10] HOLÝ, M. *Protierozní ochrana*. Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1978, 269 s.
- [11] HOLÝ, M. *Eroze a životní prostředí*. Praha: ČVUT, 1994, 383 s.
- [12] HŮLA, J. *Půdochranné technologie zakládání porostů plodin: technika v půdochranných technologiích: studijní zpráva = Soil-protective technologies of crop stand establishment: mechanization for the soil-protective technologies : review*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2000, 46 s.

- [13] HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Atlas podnebí Československé republiky*. Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1958.
- [14] IREAS. *Cross Compliance a jeho pozice v systému Společné zemědělské politiky EU*. 2005, 34 s.
- [15] JANEČEK, M., PASÁK, V., BOHUSLÁVEK, J., SOKOLOVÁ, I., TOMAN, F., FUXA, Z., ŠVEHLA, F. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe*. Praha: UVTIZ, 1992, 110 s.
- [16] JANEČEK, M., PASÁK, V., TIPPL, M., PIVCOVÁ, J., VÁŠKA, J., TOMAN, F. *Nové směry v protierozní ochraně půdy: Studijní zpráva*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1998, 55 s.
- [17] JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007, 76 s.
- [18] JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika*. Praha: ČZU, 2012, 113 s.
- [19] JOHNSON, R. R. *Soil engaging tool effects on surface residue and roughness with chiseltype implements*. Soil science Am. Journal, 1988, roč. 1, č. 52, s. 237-243
- [20] JŮVA, K., HRABAL, A., TLAPÁK, V. *Ochrana půdy, vegetace, vod a ovzduší*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1977, 177 s.
- [21] KOVÁŘ, P. *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích*. Praha: ČZU, 2000, 136 s.
- [22] KREŠL, J. *Hydrologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001, 125 s.
- [23] KVÍTEK, T., TIPPL, M. *Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2003, 47 s.
- [24] MORAVCOVÁ, J., A KOL. *Vliv zemědělského využití území na jakost vody*. Litera Skripta. České Budějovice: VŠTE, 2008, roč. 1, č. 2, s. 149.
- [25] MOCKUS, V. *National engineering handbook*. Section 4, Hydrology, 1972.
- [26] MORGAN, R. *Soil erosion and conservation*. Malden: Blackwell Pub., 2005, 304 s.



- [27] MRKVIČKA, J. *Pastvinářství*. Praha: ČZU, 1998, 81 s.
- [28] MZE. *Kontrola podmíněnosti: Průvodce zemědělce Kontrolou podmíněnosti platný pro rok 2011*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2011a, 208 s. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/132448/CC\\_2011\\_opr\\_5\\_8.small\\_1\\_.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/132448/CC_2011_opr_5_8.small_1_.pdf)
- [29] MZE. *Příručka ochrany proti vodní erozi*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2011b, 56 s. Dostupné z: [http://www.kis-vysocina.cz/UserFiles/File/Prirucka\\_ochrany\\_proti\\_vodni\\_erozi\[1\].pdf](http://www.kis-vysocina.cz/UserFiles/File/Prirucka_ochrany_proti_vodni_erozi[1].pdf)
- [30] MZE. *Standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC)*. In: *Www.eagri.cz* [online]. 2011c [cit. 2012-10-04]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/kontroly-podminenosti-cross-compliance/dobry-zemedelsky-a-environmentalni-stav>
- [31] MZE. *Vymezení půdoochranných technologií pro GAEC 2 - mírně erozně ohrožené půdy (MEO)*. In: *Www.eagri.cz* [online]. 2011d [cit. 2012-10-04]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-pudy/eroze-pudy/vymezeni-pudoochrannych-technologie-pro.html>
- [32] MZE. *Půdoochranná technologie podryvání a její využití v rámci plnění GAEC 2*. In: *Www.eagri.cz* [online]. 2012, 1. 10. 2012 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/kontroly-podminenosti-cross-compliance/aktuality/zavedeni-pudoochrane-technologie.html>
- [33] PASÁK, V, JANEČEK, M, ŠABATA, M, DÝROVÁ, E, HEJL, R, ŠVEHLA, F, TINTĚRA, J, ASINGR, J, ŠROT, R. *Ochrana půdy před erozí*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984, 158 s.
- [34] PODHRÁZSKÁ, J, UHLÍŘOVÁ, J. *Možnosti stanovení účinnosti ochrany před povodňemi retencí krajiny: Výstup etapy 06 výzkumného záměru*. Praha: VÚMOP, 2005, 29 s.
- [35] PODHRÁZSKÁ, J. *Návrh a hodnocení účinnosti systému komplexních opatření v pozemkových úpravách pro snížení škodlivých účinků povrchového odtoku: Metodický návod*. Praha: VÚMOP, 2009, 96 s.
- [36] QUITT, E. *Klimatické oblasti Československa*. Brno: Československá akademie věd, 1971, 73 s.
- [37] SCS. *Urban hydrology for small watersheds: Technical release 55*. 1986.

- [38] SOUKUP, M., HRÁDEK, F. *Optimální regulace povrchového odtoku z povodí*. Praha: VÚMOP, 1999, 98 s.
- [39] STARÝ, M. *Hydrologie: Modul 02*. Brno: VUT, 2005, 156 s.
- [40] TKÁČÍKOVÁ, J., VACULÍK, P. *Cofola: the conference proceedings*. Brno: Masarykova Univerzita, 2010, 9 s.
- [41] VÁŇA, M., HOLOUBEK, I. *Quality of the natural environment in the Czech Republic at the regional level: results of the Košetice Observatory*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2001, 189 s.
- [42] VOPRAVIL, J, KHEL, T, VRABCOVÁ, T, HAVELKOVÁ, L, PROCHÁZKOVÁ, E, NOVOTNÝ, I, NOVÁK, P, FUČÍK, P, DUFFKOVÁ, R, JACKO, K, TYLOVÁ, J, HODEK, T. *Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2010, 75 s.
- [43] VÚMOP. *Voda v krajině: Nové technologie v ochraně půdy před vodní erozí*. Praha: Mze, 1995, 52 s.
- [44] VÚMOP. *Metodika stanovení ohroženosti vodní erozí - pomocí maximální přípustné hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace (Cp)*. In: *SOWAC GIS: vodní a větrná eroze půd ČR* [online]. 2011, 14. 2. 2011 [cit. 2012-11-09]. Dostupné z: [http://ms.sowac-gis.cz/mapserv/dhtml\\_eroze/index.php?project=dhtml\\_eroze&](http://ms.sowac-gis.cz/mapserv/dhtml_eroze/index.php?project=dhtml_eroze&)
- [45] WINPENNY, J. *Values for the Environment*. Londýn: Overseas Development Institute, 1991, 277 s.
- [46] ZEMAN, E. *Hydroinformatika a hydrologické modely: Habilitační práce*. Praha: ČVUT, 1994, 90 s.

## 9. PŘÍLOHOVÁ ČÁST

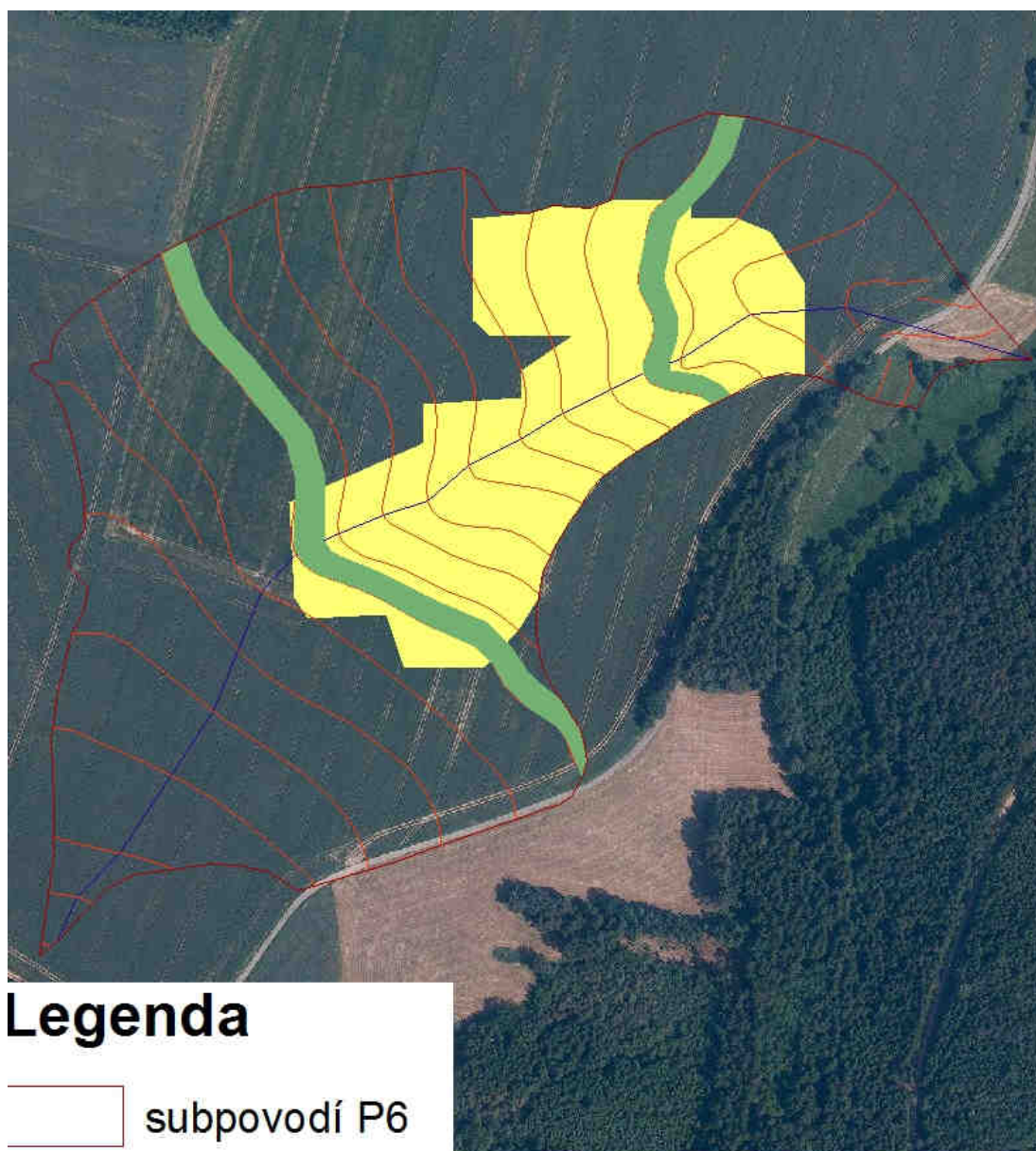
### 9.1 Příloha č. 1

Povodí Kopaninského toku








## 9.2 Příloha č. 2

### Povodí P6



### Legenda

-  subpovodí P6
-  přerušovací pás
-  vrstevnice
-  odtoková linie
-  MEO

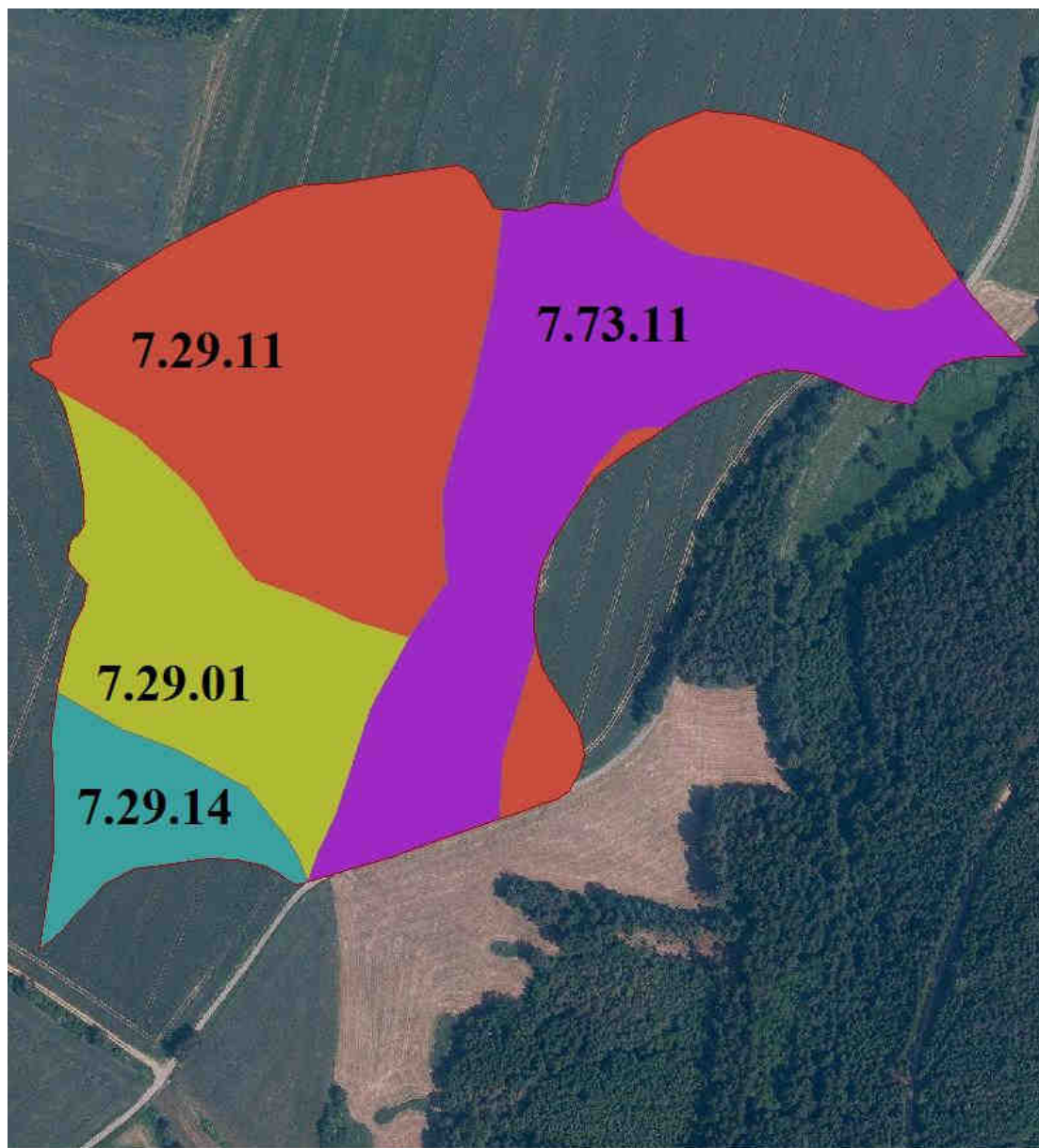
 Metrů  
0 45 90 180






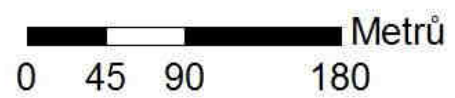
### 9.3 Příloha č. 3

Mapa BPEJ



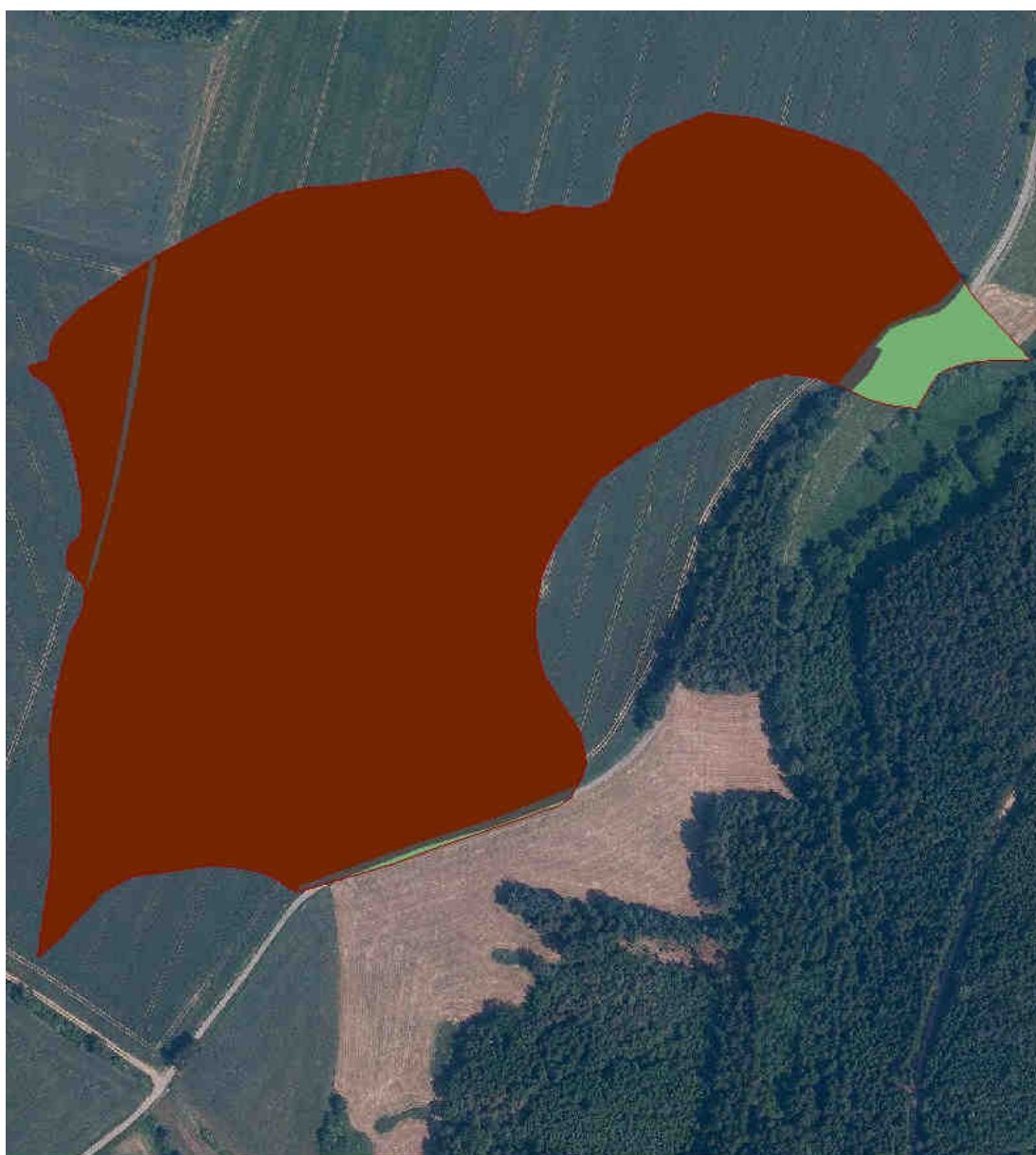
#### Přehled BPEJ

 subpovodí P6








## 9.4 Příloha č. 4

### Využití půdy v subpovodí P6



#### LAND USE

-  subpovodí P6
-  orná půda (15 ha)
-  TTP (0,4 ha)
-  Ostatní plocha (0,3 ha)

 Metrů  
0 45 90 180



## 9.5 Příloha č. 5

Průměrné čísla odtokových křivek pro zemědělské pozemky (Zdroj: JANEČEK A KOL., 1992)

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydr ologic ké podm ínky	Čísla odtokových křivek- CN Hydrologické skupiny půd			
			A	B	C	D
Úhor	Čerstvě zkeypřený		77	86	91	94
	Pz Šp		76	85	90	93
	Pz Db		74	83	88	90
Širokořádkové plodiny (okopaniny)	Př	Šp	72	81	88	91
	Př	Db	67	78	85	89
	Př+Pz	Šp	71	80	87	90
	Př+Pz	Db	64	75	82	85
	Vř	Šp	70	79	84	88
	Vř	Db	65	75	82	86
	Vř+Pz	Šp	69	78	83	87
	Vř+Pz	Db	64	74	81	85
	Vř+Pr	Šp	66	74	80	82
	Vř+Pr	Db	62	71	78	81
	Vř+Pr+Pz	Šp	65	73	79	81
	Vř+Pr+Pz	Db	61	70	77	80
Úzkořádkové plodiny (obilniny)	Př	Šp	65	76	84	88
	Př	Db	63	75	83	87
	Př+Pz	Šp	64	75	83	86
	Př+Pz	Db	60	72	80	84
	Vř	Šp	63	74	82	85
	Vř	Db	61	73	81	84
	Vř+Pz	Šp	62	73	81	84
	Vř+Pz	Db	60	72	80	83
	Vř+Pr	Šp	61	72	79	82
	Vř+Pr	Db	59	70	78	81
	Vř+Pr+Pz	Šp	60	71	78	81
	Vř+Pr+Pz	Db	58	69	77	81

<b>Víceleté pícniny, luštěniny</b>	Př	Šp	66	77	85	89
	Př	Db	58	72	81	85
	Vř	Šp	64	75	83	85
	Vř	Db	55	69	78	83
	Vř+Pz	Šp	63	73	80	83
	Vř+Pz	Db	51	67	76	80
<b>Pastviny s pokryvem</b>	>50%	-	68	79	86	89
	50-75%	-	49	69	79	84
	>75%	-	39	61	74	80
<b>Louky</b>	Sklízené	-	30	58	71	78

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla odtokových křivek- CN			
			Hydrologické skupiny půd			
			A	B	C	D
Křoviny s pokryvem	<50%	-	48	67	77	83
	50-75%	-	35	56	70	77
	>75%	-	30	48	65	73
Sady se mezičasím	zatravněným	Šp	57	73	82	86
		Stř.	43	65	76	85
		Db	32	58	72	79
Lesy		Šp	45	66	77	83
		Stř.	36	60	73	79
		Db	30	55	70	77
Zemědělské dvory			59	74	82	86
Komunikace s příkopy	Dlážděné, živičné		83	89	92	93
	Makadamové, štěrkové		76	85	89	91
	Nezpevněné, hliněné		72	82	87	89
Nepropustné plochy			98	98	98	98

Pozn.

Pz=posklizňové zbytky nejméně na 5% povrchu po celý rok

Př= přímé řádky vedené bez ohledu na sklon pozemku, tedy i po spádnici

Vř=vrstevnicové řádky vedené přesně ve směru vrstevnic-konturově

Pr=pásové pěstované plodiny a příčně průlehované pozemky

Šp=špatné hydrologické podmínky omezující infiltraci vody do půdy a zvyšující odtok

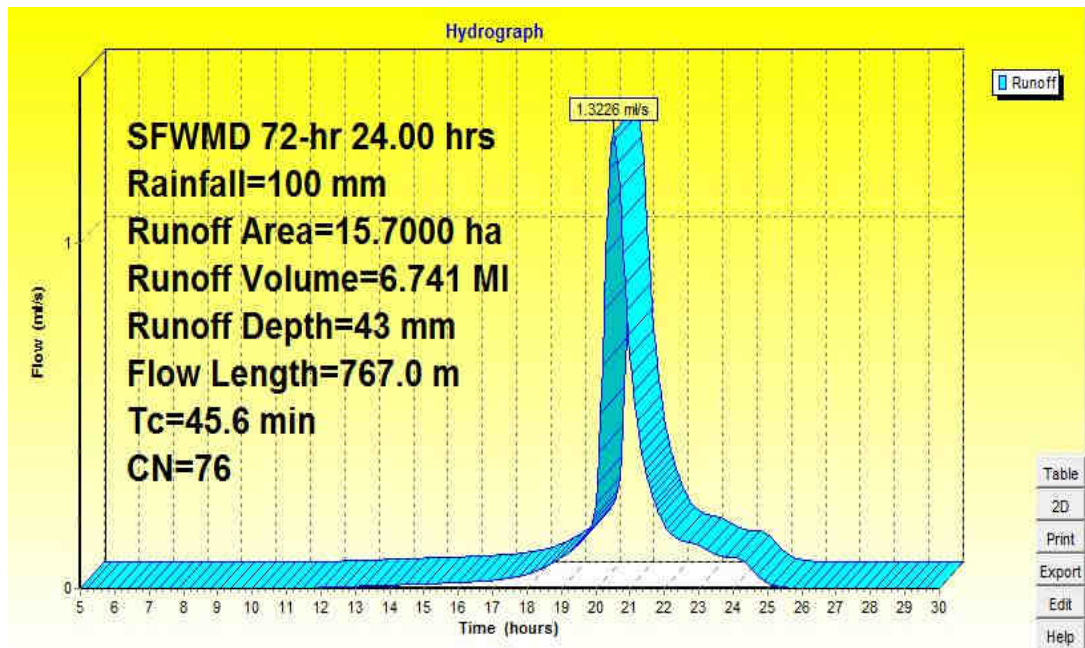
Db=dobré hydrologické podmínky zvyšující infiltraci a snižující odtok

Stř=střední hydrologické podmínky



## 9.6 Příloha č. 6

Ukázka výstupu z programu HydroCad



Ukázka výstupu z programu ERCN

### Výpočet kulminačního průtoku pomocí CN - křivky

Zadání vstupních hodnot

Plocha povodí : 15,7 ha

Průměrné CN : 77,7

Max. 24-h srážkový úhrn : 100 mm

Úpravný koef. nádrží : 1,00 mm

Přímý odtok : 46,09 mm

Ia / Hs : 0,15

QpH : 7235,86 m<sup>3</sup>

qpH = 0,93

QpH = 1,85 m<sup>3</sup>/s

Celková doba koncentrace

Plošný povrchový odtok

Délka : l = 100 m  Hydraulický sklon : s = 0,06 tg α

Drsnost : n = 0,06  Dvouletý 24-h dešť : Hs2 = 39,7 mm

Tta = 0,107 h

Soustředěný odtok o malé hloubce

Délka : l = 667 m  Hydraulický sklon : s = 0,05 tg α

Povrch na zájmovém území

Nedlážděný  Dlážděný

Rychlost : v = 1,100 m/s

Ttb = 0,168 h

Soustředěný odtok v otevřeném korytě

Délka : l =  m  Hydraulický sklon : s =  tg α

Drsnost : n =   Plocha příč. profilu : F =  m<sup>2</sup>

Rychlost : v =  m/s  Omezený obvod : O =  m

Ttc =  h  Hydraulický průměr : R =  m

Tc = 0,356 h