

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza srážko-odtokových poměrů a erozních
charakteristik vybraného povodí při různém
uspořádání krajiny

Vedoucí práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.

Autor: Bc. Lenka Vančurová

České Budějovice, 2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lenka VANČUROVÁ**
Osobní číslo: **Z17074**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Analýza srážko-odtokových procesů a erozních charakteristik
vybraného povodí při různém uspořádání krajiny**
Zadávající katedra: **Katedra krajinného managementu**

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

Práce se bude týkat srážko-odtokových epizod, přímého odtoku vody z povodí a navazujících erozních procesů. S využitím DMT a příslušných vrstev GIS podkladů v daném povodí bude modelově vyhodnocen vliv uspořádání krajiny na erozní a odtokové poměry. Analýzy erozních a odtokových poměrů budou provedeny pro různé varianty navržených opatření ve vybraném povodí.

Rámcový obsah DP:

Rešerše na dané téma.

Výběr vhodného povodí pro řešenou analýzu a jeho popis.

Výběr vhodných metod výpočtu přímého odtoku a eroze.

Zpracování konkrétních dat a podkladů v příslušných softwarech.


Modelové vyhodnocení vlivu různých scénářů (charakteristik povodí) na odtok vody z povodí a odnos půdy erozí.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 50 stran textu
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

Brutsaert, W. Hydrology: An introduction. Cambridge University Press, 2005, 605 s.
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.
Davie, T. Fundamentals of hydrology. Routledge, New York, 2008, 200 s.
Doležal, P., Pavlík, M., Střítecký, L., Dumbrovský, M., Martének, J. 2010. Metodický návod k provádění pozemkových úprav. Praha: Ministerstvo zemědělství - Ústřední pozemkový úřad. 173 s.
Janeček, M. Ochrana zemědělské půdy před erozí (Agricultural land protection against erosion). Prague: ISV nakladatelství; 2002, 254 p.
Kovář, P. Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích. ČZU Praha, Praha, 2000, 136 s.
Maidment, D.R. (ed.). Handbook of hydrology. McGraw-Hill, New York, 1993, 1424 s.
Manuály programů pro hydrologické modelování
časopisy: Hydrological processes, Journal of hydrology, Physics and chemistry of the earth, Hydrological studies, Soil and water research, atd.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.
Katedra krajinného managementu

Datum zadání diplomové práce: 19. března 2018
Termín odevzdání diplomové práce: 15. dubna 2019


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan


JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentůvská 1668, 370 05 České Budějovice


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 19. března 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě - v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných zemědělskou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb., zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích

.....

Bc. Lenka Vančurová

Poděkování

Ráda bych tímto způsobem poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Václavu Bystřickému Ph.D., za pomoc při jejím zpracování, za odborné vedení, cenné rady, připomínky a za čas strávený při mých konzultacích.

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na analýzu srážko-odtokových procesů a erozních charakteristik vybraného povodí při různém uspořádání krajiny. Tato analýza byla řešena na povodí Lukaveckého potoka, které se nachází v okrese Pelhřimov, kraj Vysočina.

Teoretická část diplomové práce popisuje srážko-odtokový proces a následně se více zaměřuje na jednotlivé děje. Také zde charakterizuje vodní erozi, její důsledky, formy a protierozní opatření. Na konci teoretické části jsou popsány metody výpočtu odtoku vody a vodní eroze.

Praktická část popisuje povodí Lukaveckého potoka, jeho charakteristiky přírodních podmínek a ohroženost vodní erozí. Dále je vypsán postup zpracování podkladů a dat v programu ArcGIS. Následně obsahuje vyhodnocení různých variant opatření a změn druhu pozemků na odtok vody z povodí a erozní ohroženost.

Klíčová slova: srážko-odtokový proces, odtok vody, vodní eroze, CN křivky, USLE, Lukavecký potok

Abstract

The diploma thesis focuses on the analysis of rainfall-runoff processes and erosion characteristics of selected catchment in different landscape management. This analysis was solved at the Lukavecký brook catchment, which is located in the Pelhřimov district in Vysočina region.

The theoretical part of the thesis describes the rainfall-runoff process and then focuses more on individual processes. It also characterizes water erosion, its consequences, forms and erosion control. At the end of the theoretical part are described methods of calculation of water runoff and water erosion.

The practical part describes the catchment of the Lukavecký brook, its characteristics of natural conditions and the threat of water erosion. Then there is a procedure for processing of bases and data in the program ArcGIS. Subsequently, it includes an assessment of the different measures and changes in the type of land to drain water from the catchment and erosion threat.

Key words: rainfall-runoff process, water runoff, water erosion, CN-curves, USLE, the Lukavecký brook

Obsah

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------|----|
| 1 | Úvod | 9 |
| 2 | Literární rešerše | 10 |
| 2.1 | Voda v přírodě a její oběh | 10 |
| 2.2 | Srážko-odtokový proces | 12 |
| 2.2.1 | Průběh srážko-odtokového procesu | 12 |
| 2.2.2 | Retence | 14 |
| 2.2.3 | Výpar | 14 |
| 2.2.4 | Intercepce | 15 |
| 2.2.5 | Infiltrace | 17 |
| 2.2.6 | Odtok | 18 |
| 2.2.7 | Faktory ovlivňující odtok | 19 |
| 2.3 | Vodní eroze | 21 |
| 2.3.1 | Faktory ovlivňující vodní erozi | 21 |
| 2.3.2 | Důsledky vodní eroze | 22 |
| 2.3.3 | Formy vodní eroze | 23 |
| 2.3.4 | Protierozní opatření | 24 |
| 2.4 | Metody výpočtů odtoku a vodní eroze | 26 |
| 2.4.1 | Metoda odtokových křivek (CN) | 26 |
| 2.4.2 | Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) | 28 |
| 3 | Materiál | 30 |
| 3.1 | Popis vybraného území | 30 |
| 3.2 | Charakteristika přírodních podmínek | 30 |
| 3.3 | Ohrožení vodní erozí | 38 |
| 4 | Metody | 40 |
| 4.1 | Postup výpočtu přímého odtoku - metoda CN křivek | 40 |
| 4.2 | Postup výpočtu erozní ohroženosti - USLE | 43 |

| | | |
|-------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 | Popis modelových situací..... | 45 |
| 4.3.1 | Současný stav | 46 |
| 4.3.2 | Agrotechnické opatření – protierozní osevní postup | 46 |
| 4.3.3 | Agrotechnické opatření – vrstevnicové obdělávání..... | 46 |
| 4.3.4 | Technické opatření – protierozní příkop..... | 47 |
| 4.3.5 | Technické opatření – zatravnění údolnic | 48 |
| 4.3.6 | Ochranné zatravnění | 48 |
| 5 | Výsledky..... | 49 |
| 5.1 | Současný stav | 49 |
| 5.2 | Agrotechnické opatření – protierozní osevní postup | 52 |
| 5.3 | Agrotechnické opatření – vrstevnicové obdělávání..... | 55 |
| 5.4 | Technické opatření – protierozní příkop..... | 57 |
| 5.5 | Technické opatření – zatravnění údolnice..... | 61 |
| 5.6 | Ochranné zatravnění | 68 |
| 5.7 | Analýza navržených situací podle odtoku vody a erozního ohrožení | 72 |
| 6 | Diskuze | 75 |
| 7 | Závěr..... | 77 |
| 8 | Přehled použité literatury a internetových zdrojů | 79 |

1 Úvod

Voda je nejdůležitější složkou přírodního prostředí planety Země. Objevuje se zde ve všech možných formách, skupenstvích na povrchu, pod povrchem, atmosféře a putuje po celé planetě v nekonečném oběhu. Do oběhu je zahrnuto mnoho různorodých procesů, změny skupenství, přenosů energie a chemických reakcí, ale také sem patří pohyb hmoty a její přeměna. Celkově celý oběh vody zajišťuje fungování klimatického systému Země. Ale i voda má své omezené množství (NĚMEC a HLADNÝ, 2006).

Už od počátku se lidé snaží porozumět procesům, kterým voda podléhá a celkově pochopit zákony v přírodě. Takovýto postupný rozvoj vygradoval v napodobování přírodních jevů, využívání ve svůj vlastní prospěch, předvídání a předcházení přírodním katastrofám. Vývoj technologií se také promítl do této problematiky a umožnil environmentální průzkumy, které do té doby nebyly možné nebo moc pracné (TUČEK, 1998). V ruku v ruce jde s vývojem i ochrana přírody a krajiny, protože člověk je závislý na životních podmínkách v krajině, kde žije. Lidé si neuvědomují, že některými svými činnostmi mohou narušit, přeměnit nebo i ničit naše přírodní bohatství a krajinu.

Právě vodní režim krajiny je úzce spojen s jejím uspořádáním. V důsledku její přeměny, ztráty přirozené členitosti a různorodosti, jako jsou např.: velké bloky orné půdy, narovnání trasy toků, vysoušení mokřadů, zánik niv vodních toků, rozšiřování zástavby a nepropustných ploch mohou nastat situace, kdy mají nepříznivý dopad. Mezi nepříznivé dopady patří povodňové situace a jejich intenzita, vznik eroze, zanášení vodních toků a nádrží, eutrofizace vod, degradace zemědělského půdního fondu, škody na majetku a ztráty na lidských životech. Další problém s vodou v krajině je pokles zásob podzemních vod, který je momentálně velmi aktuální, protože se více vyskytují suché roky a sucho celkově. Proto se lidé začínají více zajímat o hospodaření s vodou a jak jí co nejvíce zadržet v krajině (NĚMEC a HLADNÝ, 2006).

Cílem této práce je analyzovat srážko-odtokové poměry a erozní charakteristiky při různém uspořádání krajiny v povodí Lukaveckého potoka, který se nachází v okrese Pelhřimov. Na základě digitálního modelu terénu v programu ArcGIS byly vypracovány různé varianty uspořádání krajiny a následně byl vyhodnocen jejich vliv na odtokové a erozní charakteristiky.

2 Literární rešerše

2.1 Voda v přírodě a její oběh

Na Zemi je přibližně 1 400 km³ vody a objevuje se především ve čtyřech prostředích: v mořích a oceánech, v pevnině, v atmosféře a v živých organismech. Největší zásobárnu vody představují oceány a moře, které dohromady tvoří světový oceán a ten zaujímá 360,7 milionů km² z celkové plochy 510,1 milionů km². Svým objemem se podílí přibližně 97,25% z celkového objemu hydrosféry a nachází se v něm veškerá slaná voda. Moře a oceány mají důležitou globální termoregulační funkci pro planetu. Zbylé necelé 3% objemu spadají do sladké vody, z toho 2,05% jsou vázány ve formě sněhu a ledu a necelé 1% je využitelná voda pro život (0,6% voda podpovrchová, 0,015% vodní nádrže, vodní toky, voda dostupná pro organismy, 0,001% vodní páry) (KRAVČÍK et al, 2007). V tabulce 1 se nachází rozdělení zásob vody na Zemi.

Tabulka 1: Rozdělení zásob vody na Zemi

| Zdroj vody | Objem vody (km ³) | Procenta z celkového počtu |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Oceány a moře | 1370 | 97,25 |
| Ledovce a kry | 29 | 2,05 |
| Podzemní voda | 9,5 | 0,68 |
| Jezera | 0,125 | 0,01 |
| Půdní vlhkost | 0,065 | 0,005 |
| Atmosféra | 0,013 | 0,001 |
| Řeky | 0,0017 | 0,0001 |
| Biosféra (v organismech) | 0,0006 | 0,00004 |
| Celková světová zásobárna vody | 1408,7053 | 100 |

Zdroj: KRAVČÍK et al, 2007

V přírodě se voda objevuje ve všech fyzikálních skupenstvích: plynné, kapalné, pevné a je to jedna z mála hmot, která se takto na Zemi vyskytuje. Neustále přechází z jednoho skupenství do druhého a to v nepřetržitém oběhu. Tento oběh je uzavřený a označuje se jako hydrologický cyklus, kdy zdrojem energie pro oběh

vody je Slunce a Země. Díky sluneční energii přechází pevné a kapalné skupenství do plynného. Také díky působením gravitaci dochází k přesunu hmot v kapalném a pevném skupenství z míst s vyšší nadmořskou výškou do míst s nižší nadmořskou výškou (ŠILAR, 1996).

Existují dva hydrologické cykly. První je tzv. velký oběh, ve kterém probíhá výměna vody mezi oceánem a pevninou a právě tento oběh zajišťuje vyrovnaní teplotních rozdílů na planetě. Dochází při něm ke složité a mnohokrát opakované výměně vody, ale nakonec vede k návratu do světového oceánu (NĚMEC a HLADNÝ, 2006). Úplným počátkem je přeměna vody na hladině oceánů z kapalného skupenství na plynné skupenství. Následně je vodní pára přenesena vzdušným prouděním nad kontinenty, kde spadne ve formě kapalných nebo pevných srážek, anebo zkondenzuje na povrchu objektů v podobě rosy nebo jinovatky. Tato voda se buď vypaří, nebo je spotřebovaná rostlinami. Kapalné nebo pevné srážky (déšť, mlha, kroupy, sníh) se zachytí na povrchu rostlin nebo předmětů, odkud se také mohou rovnou vypařit, anebo dopadnou na zemský povrch. Díky gravitaci se v podobě povrchového nebo podpovrchového odtoku vrací zpět do oceánu, nebo se díky vsaku stanou součástí podzemních vod (ŠILAR, 1996). Druhý cyklus se nazývá malý oběh, který probíhá jen v rámci oceánů nebo pevniny. Nalézá se především v krajině, kde má termoregulační význam – místní výpar z přehřátých ploch zvyšuje vlhkost vzduchu a následně se přenesou do míst v chladnějších polohách, kde spadne ve formě srážek (NĚMEC a HLADNÝ, 2006). Obrázek 1 znázorňuje oba dva hydrologické cykly.

Oběh vody na Zemi lze vyjádřit jednoduchými rovnicemi, které představují matematický model jeho bilance:

$$V_o = S_o + P$$

Roční objem vody V_o , který se vypařil z oceánů, je roven ročnímu objemu srážek S_o , které nad nimi spadly, zvětšenému o roční objem vody P , který přitekla z pevniny.

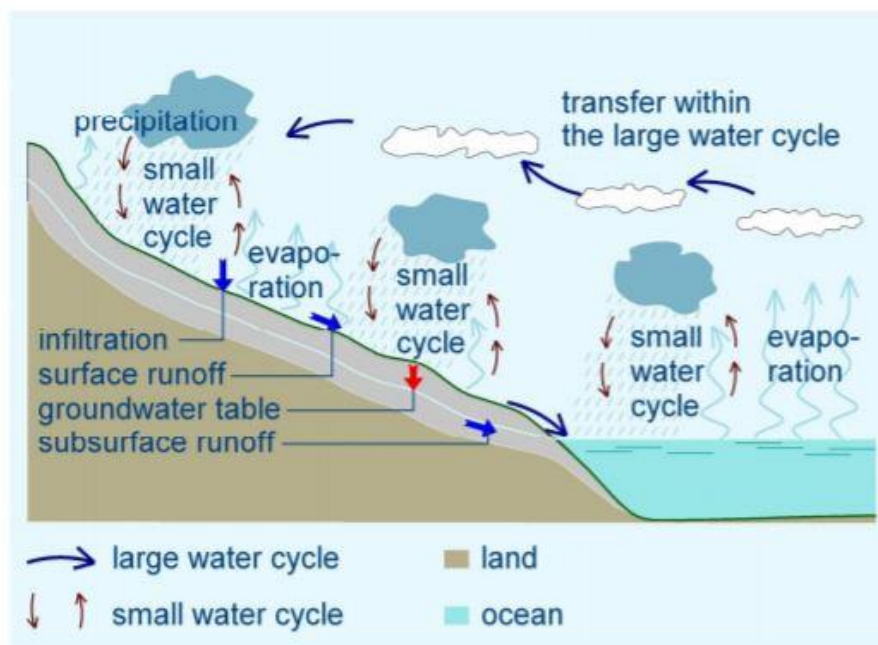
$$V_p = S_p - P$$

Průměrný roční objem výparu z pevniny V_p je roven objemu vody ze spadlých srážek S_p zmenšenému o objem odtoku do moří P

$$V_o + V_p = S_o + S_p$$

Vyjádřením P z obou rovnic a jejich porovnáním se dosáhne této výsledné rovnice (STARÝ, 2005).

Vzájemný vztah bilančních prvků a odtokový proces se zjišťuje na povodí, které je základní hydrologickou oblastí. Je to území vztažené k určitému profilu na toku, které je omezené rozvodnicí. Rozvodnice znamená pomyslná čára, které je vedena na povrchu terénu a rozděluje povrchový odtok do sousedních povodí. Určuje se jako ortogonální čára k vrstevnicím, která probíhá po nejvyšších obvodových místech a odděluje sousední povodí (HUBAČÍKOVÁ, 2009)



Obrázek 1: Schéma oběhu vody

Zdroj: KRAVČÍK et al, 2007

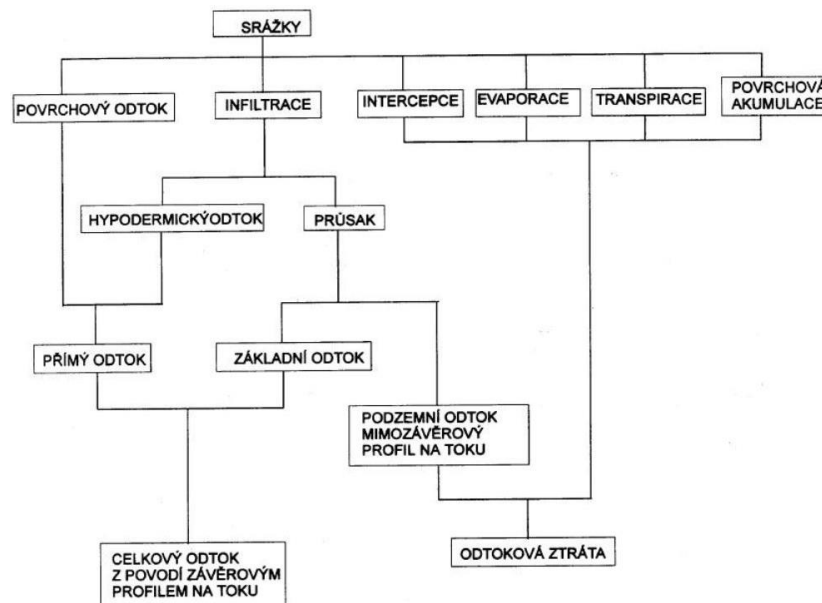
2.2 Srážko-odtokový proces

2.2.1 Průběh srážko-odtokového procesu

Vstupem do srážko-odtokového procesu jsou atmosférické srážky v různých skupenstvích (déšť, sníh, kroupy, rosa). Ty dopadají na zemský povrch, kde se mohou akumulovat (retence) a dále se vypařit do ovzduší (evaporace), nebo se zadržet na povrchu vegetace a objektů (intercepce), anebo se vsáknout do půdy (infiltrace). Z půdy se voda dostane buď hypodermickým nebo podzemním odtokem do vodního toku, nebo se stane součástí organické hmoty rostlin a organismů, z nichž se může uvolnit dýcháním (transpirace) (PAVELKOVÁ CHMELOVÁ a FRAJER, 2013). Pokud se půda nasatí vodou ze srážky, nebo je intenzita srážek vyšší než

intenzita vsaku, popř. při tání sněhu, se voda shromažďuje do souvislé vrstvy jako plošný odtok – nesoustředěný povrchový odtok. Následně se rozděluje do stružek, jimiž odtéká do bystřin, potoků, řek a tato část se nazývá soustředěný povrchový odtok (MATOUŠEK, 2010). Tedy srážko-odtokový proces znamená postupné přetváření srážky, která dopadá na plochu povodí, až po odtok vody závěrovým profilem povodí. Na obrázku 2 je znázorněno rozdělení atmosférické srážky, která spade na povrch.

Na celý proces působí mnoho činitelů. Mezi hlavní činitele patří především klimatický, do kterých náleží časový a prostorový průběh spadlých srážek, vlhkost ovzduší, výpar, teplota ovzduší, rychlost a směr větru, atmosférický tlak apod. Tato skupina také mimo srážek popisuje meteorologické veličiny, které mají vliv na celkový výpar vody. Další skupinou jsou geografické činitele, které zobrazují prostředí procesu a určují přenosové vlastnosti povodí (plocha, velikost, nadmořská výška, tvar, reliéf, říční síť, hydrogeologické poměry, vegetační pokryv apod.) (STARÝ, 2005).



Obrázek 2: Schéma odtokového procesu uzavřeného povodí

Zdroj: ČSN 73 6530 – Názvosloví hydrologie

2.2.2 Retence

Dle Kvítka (2005) retence znamená přirozené nebo umělé dočasné zadržení vody v krajině. Voda může být zachycena na povrchu lesního porostu, travního porostu, křovin, na povrchu půdy a půdním krytu (nadložní humus a přízemní vegetace). Dále může být zachycena v půdním profilu, v korytě vodního toku, ve vodní nebo suché nádrži, záchytném průlehu a příkopu aj. Tento úsek srážko-odtokového procesu je významný pro zachycení srážek v krajině, ale také pro transformování průtokových nebo povodňových vln. V rámci České republiky je retence vody velmi nepříznivá pro velkou část území. Na více než 60 % území se nacházejí krystalické horniny, především ve vrchovinách, pahorkatinách a hornatinách, kde se střídají úzká údolí podél vodních toků se svahy s převýšením od 150 do 450 m. Pokryvem tohoto horninového podloží jsou většinou kambizemě s malou až střední infiltrační rychlostí, s celkovou retenční schopností do 120 mm srážek, a to u středně hlubokých půd.

2.2.3 Výpar

Velmi důležitým členem ve vodní bilanci je výpar. V České republice se výpar podílí z celkového srážkového množství průměrně tak z 70%. Výpar se dělí na: výpar z vodní hladiny, výpar ze sněhu a ledu, výpar z půdy a výpar z povrchu vegetace (KREŠL, 2001). Ale jinak rozlišujeme dvě základní části výparu: evaporace (fyzikální výpar) a transpirace (fyziologický výpar). Spojením těchto dvou částí vzniká evapotranspirace.

Evaporace je proces, který mění vodu z pevného nebo kapalného skupenství na vodní páru. Lze ho definovat jako množství vody nebo výška vrstvy vody vypařená za určitý časový interval z určité plochy, vyjadřuje se tedy v mm. Aby k tomuto procesu došlo, je nutná přítomnost energie buď ze slunce (sluneční záření), nebo z atmosféry (vítr) (PAVELKOVÁ CHMELOVÁ a FRAJER, 2013). Právě díky důležitosti přítomné energie dochází v zimním období k menšímu výparu, ale to se mění v letním období, kdy dochází ke zvýšení výparu. Stává se tak významnou částí ve srážko-odtokovém procesu, ale záleží na množství dostupné vody.

Transpirace odvádí vodu z povrchu rostliny neboli z listu. U každého druhu rostliny je míra transpirace jiná, protože záleží na otevírání průduchů a pohybu vody v rostlině, ale u všech se transpirace stává součástí průběhu fotosyntézy nebo dýchání. Zásadní pro transpiraci je množství dostupné vody, schopnost rostliny

přenést vodu z půdy na její listy a schopnost atmosféry absorbovat přeměněnou vodu (DAVIE, 2008).

Evapotranspirace tedy znamená celkový výpar, který se vztahuje na určitou plochu. Rozlišuje se evapotranspirace aktuální a potencionální. Aktuální evapotranspirace zohledňuje aktuální množství vody, které se odpaří a odehrává se v reálných přírodních podmínkách. Potencionální evapotranspirace určuje maximálně možný výpar, který lze v určitých stanovištních podmínkách a za určitých klimatických podmínek dosáhnout (HONSOVÁ, 2007). Dle Daňhelky (2007) určují potencionální evapotranspiraci především atmosférické podmínky. Z nejdůležitějších podmínek je to především sluneční záření (přísun energie pro změnu skupenství), teplota vzduchu (vyšší teplota představuje vyšší potenciál výparu), vlhkost vzduchu (vysoká vlhkost vzduchu omezuje přijímání vody z výparu), rychlost větru (ovlivňuje výměnu vzduchu nad povrchem) a tlak vzduchu (nízký tlak omezuje potencionální evapotranspiraci). Také vegetační kryt ovlivňuje potencionální evapotranspiraci a tím hlavním je druhová skladba vegetace. Lesní ekosystémy oproti travním porostům mají větší potencionální evapotranspiraci. Důležitým faktorem se také jeví, v jaké vegetační fázi se právě vegetace nachází. To je důležité u zemědělských rostlin, kdy největší potencionální evapotranspirace nastává při růstu nebo kvetení, tedy v největším fenologickém rozvoji. Aktuální evapotranspiraci ovlivňuje především dostupnost vody, protože při nedostatku je výrazně nižší než potencionální. Převážně je nižší nebo rovna potencionální evapotranspiraci.

2.2.4 Intercepce

Intercepce znázorňuje část srážkové vody, která se dočasně zadrží na různých plochách a to především na vegetaci. Spadá voda se neinfiltuje ani neodteče povrchovým odtokem, ale většina se vypaří do atmosféry a se tak vytvoří intercepční ztráta (BRUTSAERT, 2005). Pokud jsou srážky delšího trvání, může dojít k překročení hranice maximální zadržené vody, což znamená, že dešťové kapky stékají a odkapávají z listů, nebo se přímo dostávají po větvích a kmeni k půdě (KREŠL, 2001). Voda, která zůstane částečně zachycená na povrchu stromů, se nazývá jako skropná voda. V důsledku přítomnosti vegetačního krytu se může tedy srážková voda rozdělit na: vodu zadržanou na vegetaci, která se následně vypaří, vodu, která steče

po stoncích, větvích či kmenech rostlin na povrch a vodu, která buď po styku, nebo beze styku s vegetací spadne na povrch (BRUTSAERT, 2005).

Velikost intercepce závisí na charakteru srážek (délka, intenzita, druh) (PENKA, 1985). Dále také záleží na ročním období, zeměpisné šířce a nadmořské výšce. Celkově u druhů vegetačního krytu záleží na jeho vzrůstu, stáří, hustotě a zakmenění u lesních porostů (KREŠL, 2001). Například listnaté stromy v zimním období zachycují méně srážek než v jiném období, naproti tomu jehličnaté stromy mají ustálenou intercepci (UNUCKA, 2007). Právě jehličnaté stromy mají největší intercepční schopnost, díky tomu, že v zimním období neopadávají. Tabulka 2 ukazuje hodnoty intercepce u různých typů dřevin. Zemědělské plodiny se také významně podílí na intercepci, např.: hrachoviny a jeteloviny, které se mohou použít při ochraně proti erozi (PAVELKOVÁ CHMELOVÁ a FRAJER, 2013).

Tabulka 2: Hodnoty intercepce jednotlivých dřevin

| Typ dřeviny | Množství zadržených srážek v koruně (%) | Množství srážek stékající po kmeni (%) | Celková intercepce (%) |
|-----------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|
| Smrk | 43,5 | 2,3 | 41,1 |
| Borovice | 24,5 | 0,7 | 27,8 |
| Javor | 29,5 | 8 | 22,5 |
| Dub | 26,4 | 5,7 | 20,7 |
| Buk | 36,3 | 16,8 | 19,5 |

Zdroj: PAVELKOVÁ CHMELOVÁ a FRAJER, 2013

Voda zadržaná a následně vypařená v intercepci se uplatňuje také jako neproduktivní složka evapotranspirace. Výparem se spotřebuje určitá část tepelné energie, která je určena pro evapotranspiraci a tím se zmenší rychlost evaporace půdy a transpirace rostlin. Zpomaluje se tím tedy vysoušení půdy (PENKA, 1985).

Podle Gerritsové (2010) existují další možnosti pro zachycení srážky. Jednou z takových možností je zachycení na zemědělských plodinách, které se od zachycení ostatní vegetací moc neliší, ale záleží zde, v jakém cyklu fenologického rozvoje se plodiny nachází. Dalším zvláštním případem je zachycení mlhy. Vegetace může nejen zachytit déšť, ale také vlhkost (ve formě malých vodních kapiček) ze vzduchu. Mlha se může vyskytovat v důsledku různých procesů. Tato intercepce je důležitá zejména v tropických horských oblastech, ale může také hrát významnou roli v

polosuchých oblastech poblíž pobřeží. Na stromech mohou být zachyceny nejen srážky dešťové, ale i sněh. U něho je důležité, jakou mají stromy pevnost a tvar koruny. Zejména jehličnaté stromy mohou ukládat tolik sněhu, až se zhroutí pod svou váhou. Sněh lze odstranit z koruny pouze třemi způsoby: sublimace, mechanické odstranění a táním. Dalším případem je interpolace v urbanizovaných oblastech, kde na rozdíl od jiných prostředí mají jinou energetickou bilanci. Nacházejí se zde budovy, které zamezují chladnému nočnímu vzduchu ochlazovat povrchy, materiály jako je beton a asfalt, které mají vyšší teplotní kapacitu a také nedostatek vegetace, která by mohla transpirací ochlazovat vzduch.

2.2.5 Infiltrace

Infiltrací neboli vsakem se nazývá pronikání vody z povrchu do hlubších vrstev půdy. Množství vody, které se vsákne do půdy za jednotku času, se označuje jako intenzita vsaku neboli rychlost infiltrace. Jednotkami tohoto pojmu jsou buď mm/min nebo l/s*ha. Celkové množství vody, které se vsákne do půdy od počátku vsaku do doby t , se označuje jako velikost infiltrace (KREŠL, 2001). Kutík a kolektiv (2000) definují pojem infiltrace jako průtok vody přes topografický povrch do půdy a rychlost tohoto průtoku je totožná s rychlostí infiltrace. Průběh a intenzita infiltrace závisí dle Duba (1969) na vsakovacích vlastnostech půdy, spolu se sklonem terénu, vegetačním krytem a intenzitou srážky. Pokud klesne intenzita vsaku pod intenzitu srážek, mohou se začít tvořit kaluže a následně povrchový odtok. Toto vede k menšímu zadržení vody v půdním profilu nebo zvodnělých horizontech, a také se půda vystavuje nebezpečí vodní eroze.

Míru infiltrace ovlivňují dvě charakteristiky: infiltrační rychlost a infiltrační kapacita. Infiltrační rychlost znamená intenzita pronikání vody povrchem půdy do půdního profilu. Tato charakteristika se odvíjí od vlastností půdy (půdní druh), např.: písčité půdy mají velkou infiltrační rychlost, oproti jílovité půdy mají malou infiltrační rychlost (DAŇHELKA, 2007). Maximální rychlost na začátku procesu dosahuje řádově desetiny cm/s a postupně se během procesu několikanásobně snižuje (DUB, 1969). Infiltrační kapacita značí objem vody, který je půda schopna pojmout a zadržet. Jílovité půdy mají infiltrační kapacitu velmi velkou, naopak písčité půdy ji mají malou (DAŇHELKA, 2007).

2.2.6 Odtok

Odtok znázorňuje množství srážkové vody, která nebyla vypařena ani zachycena v půdě, ale odtekla z povodí za jednotku času. Lze ho rozdělit na: povrchový, podpovrchový (hypodermický) a základní odtok. Spojením povrchového a podpovrchového odtoku vzniká přímý odtok (BEVEN, 2012). Davie (2008) popisuje odtok, jako srážkovou vodu, která se pohybuje na povrchu, ale i pod povrchem v různých rychlostech.

Povrchový odtok Beven (2012) definuje jako vodu plošně odtékající po povrchu a obecně vzniká z důvodu překročení schopnosti krajiny pojmout vodu ze srážek. Představuje nejrychlejší část odtoku. Teorií vzniku povrchového odtoku je více, ale nejznámější koncepcí je teorie Hortona. Ta předpokládá, že na celém povodí se během deště tvoří tzv. povrchový ron, což je nesoustředěné stékání vody ze svahu. K hortonovskému odtoku začne docházet v okamžiku překročení infiltrační kapacity půdy. Vyskytuje se převážně v aridních oblastech s malou vrstvou půdy, která má nízkou infiltrační kapacitu a v oblastech s vysokou intenzitou srážek. Další teorií podle Bevena (2012) je odtok ze zóny saturace, který vzniká při dosažení stavu nasycení, kdy je prostor pro vodu ve svrchním půdním profilu zaplněn a teorie povrchového odtoku vznikající opětovanou exfiltrací vody v nižších částech svahu, kde se již jednou infiltrovaná voda vrací zpět na povrch, kde odtéká.

Podpovrchový neboli hypodermický odtok se nalézá pod povrchem terénu. Část odtoku se dostaví do povrchového toku bezprostředně po skončení deště a zbytek se dostaví do toku po určitém čase jako tzv. opožděný hypodermický odtok. (BUMERL, 2003). Stejně jako vsakování, tak ani podpovrchový odtok neprobíhá rovnoměrně v celém svrchním půdním profilu. Voda se dostává do půdy preferenčními cestami (chodby od hmyzu a červů, díry, pukliny, podloží s velkým obsahem makropórů), kde je prostředí méně ovlivněno kapilárními silami a převládá gravitace. Tento typ odtoku je pomalejší než povrchový, ale rychlejší než základní. V některých oblastech s intenzivní infiltrací a zároveň velkou svažitostí terénu, se může podpovrchový odtok stát dominantní částí. Podpovrchový odtok se vyskytuje především v oblastech s mocnou a dobře propustnou půdou s vlhkým klimatem. Posledním typem odtoku je základní odtok, jehož voda pochází z dlouhodobých zásob podzemí vody z tzv. zón saturace (nasycená vrstva podloží). Do spodních vrstev půdy se voda dostane hlubokou infiltrací (perkolace) (portal.chmi.cz).

2.2.7 Faktory ovlivňující odtok

Dle Krešla (2001) vztah mezi srážkami a odtokem ovlivňuje řada faktorů. Působí na něj fyzicko-geologické faktory a to především geologické a půdní poměry, vegetační kryt, úprava vody na větších plochách zemědělské nebo lesnické půdy, geologické podloží a jeho propustnost, tvar a velikost povodí a hustota říční sítě. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou klimatičtí činitelé a člověk. Ten svou činností ovlivňuje odtok a to především výstavbou vodních nádrží, agrotechnikou, uspořádáním cestní sítě, výstavbou měst a rozsáhlým odvodňováním. Ale také landuse vypovídá o lidské činnosti, protože podává informace o využití ploch v povodí, kolik je zastoupena orná půda, zastavěná plocha, lesy nebo pastviny (PAVELKOVÁ CHMELOVÁ a FRAJER, 2013).

Geologické poměry ovlivňují charakteristiky povodí, zejména typ a mocnost půdy, sklon a tvar povodí. Vlastní geologické podmínky se uplatňují převážně ve smyslu rozložení propustných a nepropustných území (DAŇHELKA, 2007). Podle Krešla (2001) právě geologické podloží a jeho propustnost má význam pro utváření odtoku v období bezdeští. Ovšem nepropustné vrstvy s málo mocným půdním překryvem snižují celkovou retenční kapacitu povodí a spolupůsobí při prudkém stoupání průtok při vydatných deštích. Z toho vyplývá, že geologické poměry povodí umožňují vnik velkých zásob podzemní vody (šěrky, pískovce).

Starý (2005) ukazuje na rozdílné názory na vliv vegetačního krytu na odtok. Pokud je půda pokryta vegetací, je odolnější proti vodní erozi, a proto je vegetační kryt vodohospodářsky výhodný. Tráva zdrsňuje povrch a zmenšuje tím rychlost odtoku, zvyšuje vsakování a přijímá vsáknutou vodu pro transpiraci. Ale nejdůležitějším vegetačním krytem je les. Nepochybný je vyrovnávací účinek lesních porostů na rozdělení odtoku, zejména na snížení velkých vod. Les také poskytuje velkou ochranu proti vodní erozi. Aby lesní porosty splňovaly své příznivé účinky, musí mít správnou skladbu a polohu lesa. Nejlépe působí smíšený les, ve kterém je půda chráněna dobrým zápojem porostu a dostatečnou vrstvou humusu. Nejlepší vsakovací účinek má porost dubový a lipový, střední účinek mají modřiny a břízy. Nejméně vhodný účinek na odtok má jednotný les smrkový a vůbec jehličnatý, který zatím v našich krajinách převládá.

Plocha povodí se udává v km² a je jedna z nejdůležitějších charakteristik povodí, protože ovlivňuje základní hydrologické veličiny povodí (průměrný odtok,

extrémní průtoky, specifický odtok). Dále tvar povodí při daném časovém a plošném rozdělení srážek působí na tvorbu povodňových průtoků. Zpravidla mají přirozené povodí tvar symetrického nebo nesymetrického listu a buď jsou více či méně protáhlá (STARÝ, 2005). Pavelková Chmelová a Frajer (2013) charakterizují tvar povodí poměrem plochy povodí ke čtverci délky jako koeficient tvaru povodí α :

$$\alpha = \frac{P}{L^2} \quad \text{nebo} \quad \alpha = \frac{b}{L}$$

(P – plocha povodí v km²; L – délka toku v km, b – střední šířka povodí)

Pokud α vyjde při ploše povodí do 50 km² < 0,24 je tvar povodí protáhlý, $\alpha = 0,24 - 0,26$ tvar povodí přechodný, $\alpha > 0,26$ tvar povodí vějířovitý.

Pokud α vyjde při ploše povodí nad 50 km² < 0,18 je tvar povodí protáhlý, $\alpha = 0,18 - 0,20$ tvar povodí přechodný, $\alpha > 0,20$ tvar povodí vějířovitý.

Hustota říční sítě je ukazatelem velikosti povrchového odtoku. Hubačíková (2009) uvádí, že na územích s malým povrchovým odtokem, je hustota říční sítě malá a na územích s vysokým odtokem je hustota říční sítě velká. Vyšší hustota říční sítě umožňuje krajinně efektivně odvádět vodu povrchovým odtokem, kdy vyšší efektivita znamená, že se vody rychleji dostane do nejbližšího koryta. Povodí s nižší hustotou říční sítě znamená, že půdní profil je hluboký, dobře rozvinutý a voda se snadněji vsákne, než aby se povrchovým odtokem dostala do vzdáleného koryta říční sítě.

Do nejdůležitějších klimatických faktorů patří srážky, u kterých se musí znát druh a množství, také je důležité vědět jejich časové a prostorové rozdělení. Vliv na odtok má také teplota vzduchu a půdy, výpar ve všech svých formách, vlhkost vzduchu a s ní spojený sytostní doplněk, směr a velikost větru a tlak vzduchu. Srážky a výpar bezprostředně ovlivňují vodu v povodí a určují tak celkové množství povrchového i podzemního odtoku a jeho změny během roku. Ostatní klimatické faktory působí na odtok nepřímo a projevují se nakonec jako ovlivnění srážek a výparu. V teplém období je při dešťových srážkách odtokový součinitel nižší, protože v létě je výpar vyšší a voda se může lépe vsakovat. V zimním období je tomu naopak (NĚMEC, 1965).

2.3 Vodní eroze

Vodní eroze představuje komplexní proces, který zahrnuje rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody (NOVOTNÝ et al, 2017). Při přívalových deštích dochází k působení kinetické energie dopadajících dešťových kapek k narušení povrchu půdy. Takto jsou půdy ochuzovány o nejúrodnější vrstvu – ornici, zhoršují se jim fyzikální vlastnosti, zmenšuje se mocnost profilu, zvětšuje se šterkovitost a mnoho dalších negativních změn (VÚMOP, 1995). Tento proces je přirozený a nelze jej zcela zastavit, ale lidská činnost může ovlivnit jeho rychlost. Proto se rozeznává eroze normální (geologická) a eroze zrychlená. Normální eroze neustále utváří reliéf území a probíhá postupně pomalu, že jí člověk prakticky nezpozoruje. Naopak eroze zrychlená smývá půdní částice v takové rychlosti, že se nestačí obnovovat půdotvornými procesy (NOVOTNÝ et al, 2017). Existují další druhy eroze, které se od sebe liší podle činitele, který způsobuje vznik eroze a její průběh. Je to např.: větrná, ledovcová, sněhová, zemní, abraze, říční a antropogenní (KVÍTEK et al, 2006).

Téměř polovinu území České republiky ohrožuje právě vodní eroze, nejohroženější oblastí je jihovýchodní Morava. V příloze č. 1 se nachází mapa Potencionálního ohrožení zemědělské půdy vodní erozí na území České republiky. V lokálních oblastech také působí větrná eroze a to přibližně na 10% zemědělské půdy. Mezi nejohroženější oblasti patří také jihovýchodní Morava, ale i Litoměřicko a Lounsko (PROCHÁZKOVÁ a KOBZOVÁ, 2011). Celosvětově vodní eroze představuje problém většinou v humidních oblastech, kde mají dostatek srážek, ale objevuje se i v aridních oblastech, kde figuruje intenzivní déšť a půda bez vegetačního krytu (BLANCO a LAL, 2008)

2.3.1 Faktory ovlivňující vodní erozi

Morgan (2005) uvádí, že mezi faktory ovlivňující vodní erozi patří erozivita erozního činitele, erodovatelnost půdy, sklon svahu a vegetační kryt. Erozivita souvisí se schopností erozních činitelů způsobit uvolnění a transport půdních částic. Je založena na kinetické síle deště, jeho intenzitě a trvání, průměru a rychlosti dešťových kapek. Erodatelnost půdy znamená odolávání půdy proti narušení a transportu. Je spojena s fyzikálními vlastnostmi půdy (zrnatost, struktura, obsah organické hmoty, apod.) a způsobem jejího využívání, ke kterému patří organizace

půdního fondu, druh vegetačního krytu, používaná agrotechnika, atd. Sklon svahu je jeden z důležitých faktorů ovlivňující erozi, ale lze jeho vliv omezit jinými faktory. Vegetační kryt působí jako ochranná vrstva mezi atmosférou a půdou. Nadzemní části absorbují energii dešťových kapek a podzemní části přispívají k pevnosti půdy.

Kvítek a kolektiv (2006) popisují faktory ovlivňující vodní erozi jako: klimatický, topografický, půdní a geologický, vegetační a antropogenní. Do velmi důležitých klimatických faktorů patří srážky, teplota a vlhkost vzduchu, vítr a sluneční záření. Topografické faktory mohou ovlivňovat vodní erozi zejména prostřednictvím sklonu svahu, délkou svahu, tvarem svahu, expozicí svahu, tvarem a velikostí povodí. V členitém reliéfu území se erozní činnost může zvyšovat, protože podporuje soustředění povrchově stékající vody a způsobuje její rychlejší odtok. Půdní a geologické faktory ovlivňují vznik a průběh vodní eroze z hlediska infiltrace vody do půdy (zrnitost, půdní struktura, vlhkost půdy), odolnosti půdy proti destrukční činnosti vody (obsah humusu v půdě, nasycenost sorpčního komplexu), a odolnosti půdy proti transportní činnosti vody (zrnitost). Nejméně náchylné půdy na vodní erozi jsou písčité půdy, které mají velkou infiltrační schopnost a vysoký obsah těžkých půdních částic. Už méně příznivé jsou půdy jílovité a hlinité. Nejnepříznivější půdy jsou nehumózní spraše a sprašové hlíny, které obsahují málo koloidních částic a malou infiltrační schopnost. Vegetační faktory se projevují účinkem intercepce dešťových kapek nadzemními částmi rostlin, absorbcí kinetické energie dešťové kapky, retardací erozních procesů, mechanickým zpomalováním pohybu půdních částic, zlepšováním struktury a pórovitosti půdy svými kořeny a rostlinnými zbytky, zvyšováním biologické aktivity půdy a transpirací, která napomáhá ke zvýšení infiltrační schopnosti půdy. Antropogenní faktor je především lidská činnost, která ovlivňuje všechny výše zmíněné faktory a jejich účinnost, kromě klimatických.

2.3.2 Důsledky vodní eroze

Vodní eroze, zejména zrychlená, se projevuje velmi škodlivě na zemědělství, lesnictví, vodní hospodářství, technických stavbách a lidských obydlích. Její účinky jsou různorodé, ale především záleží, zda je jejich příčinou odnos půdních částic, jejich transport nebo hromadění ve formě nánosu (CABLÍK a JŮVA, 1963). Důsledky vodní eroze se mohou rozdělit do následujících skupin: hrozba pro trvalou udržitelnost úrodnosti půdy, ovlivnění kvantitativních parametrů vodních zdrojů,

ovlivnění kvalitativních charakteristik vodních zdrojů a ohrožení intravilánu měst a obcí, komunikací a další infrastruktury v krajině procesy povrchového odtoku a vodní eroze.

První skupina - hrozba pro trvalou udržitelnost úrodnosti půdy se vyznačuje kvalitativními a kvantitativními změnami díky dlouhodobému působení eroze. Kvantitativní změny spočívají ve zmenšování hloubky půdního profilu a kvalitativní změny představují přeměnu vlastností a snížení úrodnosti půd. Druhá skupina - ovlivnění kvantitativních parametrů vodních zdrojů obsahuje zanášení koryt vodních zdrojů a zanášení vodních nádrží. Transportované půdní částice se zde ukládají, u koryt snižují jeho kapacitu a zvyšují tak niveletu dna. U vodních nádrží se nejvíce splaveniny usazují na vtoku do vodní nádrže. Ve třetí skupině - ovlivnění kvalitativních charakteristik vodních zdrojů se jedná o znečištění povrchových vodních zdrojů a to znečištění fyzikální (mechanické) a chemické (biochemické). Fyzikální znečištění představuje zákal vody, který je spíše krátkodobý. Chemické znečištění zahrnuje transport chemických látek z povodí do hydrografické sítě. Do čtvrté skupiny - ohrožení intravilánu měst a obcí, komunikací a další infrastruktury v krajině procesy povrchového odtoku a vodní eroze patří škody způsobené povrchovým odtokem vody ze zemědělské půdy a transportem splavenin ze zemědělské půdy. Povrchový odtok nelze nijak eliminovat, protože je závislý na charakteru srážek, ale transport splavenin lze upravit díky různým typům opatření (NOVOTNÝ et al, 2017).

2.3.3 Formy vodní eroze

Kvítek a kolektiv (2006) vodní erozi dělí podle účinku vody na půdní povrch: plošná, rýhová, výmolová. Plošná eroze je charakterizována rozrušováním a smyvem půdní hmoty na celé ploše erodovaného území. Její první stupeň se nazývá eroze selektivní, při které povrchový odtok odnáší půdní částice spolu s vázanými chemickými látkami. Působením této eroze se mění půdní textura a obsah živin v půdě. Ochuzené půdy se stávají hrubozrnnějšími a mají snížený obsah živin, naopak obohacené půdy smyvem jsou jemnozrnnější a bohaté na živiny. Selektivní eroze probíhá pozvolna, převážně se nedá zpozorovat a nezanechává viditelné stopy. Vpozorovat lze v dolních částech svahu, kde se může objevit jemný materiál po přívalovém dešti. Pokud má povrchově stékající voda větší kinetickou energii a je nepříznivě utvářený půdní profil (střídání méně a více odolných vrstev), může

docházet ke smyvu ve vrstvách - eroze vrstevná. Projevuje se na celé ploše svahu, nebo probíhá v širokých pruzích podle reliéfu povrchu a převážně dochází ke ztrátě celé orniční vrstvy (HOLÝ, 1978).

Rýhová eroze vzniká při déle trvajících srážkách a na dlouhých svazích, kde se povrchově odtékající voda postupně soustředí a do půdního povrchu vytváří hustou síť zářezů (rýh), ve kterých dochází k transportu půdních částic. Pokud se zvýší objem a rychlost povrchově odtékající vody, rýhy se spojí a vznikne tak řidší síť s mělkými a širšími zářezy - eroze brázdová. Zářezy v půdním povrchu o různých rozměrech nelze upravit běžnou agrotechnikou operací (orba), ale opravu už lze zařadit do prací rekultivačního charakteru.

Výmolová eroze je spíše pokračování rýhové a brázdové, ale může vznikat i samostatně. Zapříčiňují ji zejména nezatravněné údolnice, nevhodně založené cesty, příkopy nebo koleje vyhloubené při jízdách zemědělské mechanizace po rozmočených pozemcích. Působením výmolové eroze vznikne erozní strž o velké hloubce a rozměrech, kdy již nelze navrátit plochu zemědělské činnosti. Jen se provede asanace strží, aby eroze dále nepokračovala (KVÍTEK et al, 2006).

2.3.4 Protierozní opatření

Zemědělskou půdu lze chránit před vodní erozí vhodnými protierozními opatřeními, které se vybírají podle jejich účinnosti, požadovanému snížení smyvu půdy, ochraně objektů a respektování zájmů vlastníka, uživatele půdy, ochrany přírody, krajiny a životního prostředí. Protierozní opatření se rozdělují na: organizační, agrotechnická a technická. Ale převážně se jedná o komplex těchto opatření, které se vzájemně doplňují (JANEČEK et al, 2012). Mezi hlavní účely opatření na ochranu před vodní erozí patří chránit půdu před účinky dopadajících kapek deště, podporovat vsak vody do půdy, zlepšovat soudržnost půdy, omezovat unášecí sílu vody a soustředěného povrchového odtoku, neškodně odvádět povrchově odtékající vodu a zachycovat smytou zeminu. Návrh protierozních opatření vychází z průzkumů, z kterých se získají podklady k posouzení hydrologických poměrů v území a stanovení jeho erozní ohroženosti, pro volbu systému protierozní ochrany a návrh jeho prvků. Průzkum současně vytváří předpoklady pro soulad protierozní ochrany s pozemkovými úpravami a ostatními vodohospodářskými a ekologickými zásahy a zájmy v krajině (JANEČEK et al, 2008). Z finančního hlediska se při návrhu převážně postupuje od finančně a i

realizačně nejjednodušších opatření organizačního nebo agrotechnického charakteru k opatřením technickým (NOVOTNÝ et al, 2017).

Organizační protierozní opatření

Základem těchto opatření je situování pozemků jejich delší stranou po směru vrstevnic, dále také zvolení vhodné velikosti a tvaru pozemku a vymezení parcel vhodných ke změně druhů pozemků. V rámci komplexních pozemkových úprav se organizační opatření navrhuje v součinnosti s ostatními protierozními opatřeními. Do organizačních opatření podle Janečka a kolektivu (2012) patří:

- tvar a velikost pozemku
- delimitace kultur a ochranné zatravnění a zalesnění
- protierozní rozmístování plodin
- pásové střídání plodin

Agrotechnická protierozní opatření

Agrotechnická protierozní opatření se používají ke zlepšení vsakovacích schopností půdy a zvýšení její protierozní odolnosti. Také se používají k vytvoření ochrany povrchu především v období největšího výskytu přívalových srážek, kdy jsou především širokořádkové plodiny nedostatečně zapojené a vzrostlé, aby chránily půdu (JANEČEK et al, 2008). Dle Kvítka a kolektivu (2006) se jedná o levnější a jednodušší opatření, která mají dočasný charakter a mohou být použita k jedné erozně náchylné plodině. Také se mohou uplatňovat jako doplněk k technickým opatřením. Novotný a kolektiv (2017) dělí agrotechnická opatření na:

- vrstevnicové obdělávání
- ochranné obdělávání
- hrázkování, důlkování
- plečkování, dlátování, podrývání

Technická protierozní opatření

Technická protierozní opatření se navrhuje jako základní prvek komplexního systému protierozních opatření zejména na pozemcích, kde nepříznivé důsledky povrchového odtoku ohrožují zastavěnou část obce. Optimální návrh prostorového a funkčního umístění opatření se promítne do snížení faktoru L – faktor délky svahu a vhodným rozčleněním svahu se vytvoří pásy pro různé plodiny a tím se může

ovlivnit faktor C – faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu, ale také i průměrné hodnoty CN křivek. Tato opatření také mají i funkci estetickou a ekologickou, především liniové protierozní prvky spolu se zelení mohou v krajině fungovat jako součást územního systému ekologické stability. Mezi technická protierozní opatření se zahrnují:

- protierozní průlehy
- protierozní příkopy
- protierozní hrázky
- protierozní meze
- stabilizace drah soustředěného odtoku
- ochranné nádrže
- terasování (JANEČEK et al, 2012)

2.4 Metody výpočtů odtoku a vodní eroze

2.4.1 Metoda odtokových křivek (CN)

Metoda CN křivek představuje empirický přístup k odhadu přímého odtoku a vyvinulo jí Ministerstvo zemědělství: Služba pro ochranu půdy v USA (USDA-SCS) (LIM et al, 2006). Je založena na reakci odtoku z přívalových dešťů na čtyři vlastnosti povodí: půdní hydrologické charakteristiky, využívání a obhospodařování půdy, vlastnosti povrchu a předchozí nasycenost povodí. Představuje model infiltrační ztráty, ale původně byla vytvořena jako celkový model pro převod výšky přívalové srážky na objem přímého odtoku. Nedostatkem tohoto modelu je, že nepopisuje prostorové a časové variability a její použitelnost je omezena na modelování ztrát při přívalových deštích (PONCE a HAWKÍNS, 1996). Umožňuje stanovit objem přímého odtoku a kulminačního průtoku na zemědělsky, lesnický i urbanisticky využívaných povodí do velikosti 10 km² při snadno zjistitelných vstupech (PAVELKOVÁ CHMELOVÁ a FRAJER, 2013). Jedním z programů, které umožňují výpočet CN křivek, je program ERCN. Tento program slouží k výpočtu hodnot potřebných pro projekci pozemkových úprav (výpočet CN křivek, erozní smyv). Byl vytvořen Výzkumných ústavem meliorací a ochrany půdy, jeho zodpovědným řešitelem je Doc. Ing. Miloslav Janeček, DrSc. a řešitelem a vedoucím projektu je Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc. (program ERCN).

Dle Janečka a kolektivu (2012) základním vstupem do modelu je srážkový úhrn návrhového deště zvolené doby opakování za předpokladu jeho rovnoměrného rozdělení po ploše povodí. Objem (výška) srážek je transformován na objem (výšku) odtoku pomocí čísel odtokových křivek (CN).

Čísla odtokových křivek (CN) se určují podle:

: hydrologických vlastností půd - 4 skupiny: A, B, C, D, které se určují na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém nasycení; v tabulce 3 se nachází jejich rozdělení

: vlhkosti půdy - určované na základě 5-ti denního úhrnu předcházejících srážek (index předchozích srážek IPS) ve třech stupních

- IPS I = minimální obsah vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání
- IPS II = střední nasycení půdy vodou
- IPS III = půda přesycena vodou z předcházejících dešťů

: využití půdy – vegetační pokryv, způsob obdělávání a uplatnění protierozních opatření

Tabulka 3: Hydrologické skupiny půd

| Hydrologická skupina | Charakteristika hydrologických vlastností půd |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | Půdy s vysokou infiltrací (>0,12 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrné odvodněné písky nebo šterky |
| B | Půdy se střední rychlostí infiltrace (0,06 – 0,12 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité |
| C | Půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,02 – 0,06 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité |
| D | Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace (<0,02 mm/min) |

| | |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké nad téměř nepropustnými podložím |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Zdroj: JANEČEK et al, 2012

2.4.2 Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE)

Pro určení ohroženosti zemědělských půd vodní erozí a pro zhodnocení účinnosti navrhovaných protierozních opatření se v České republice nejvíce používá tzv. Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí – USLE dle Wischmeiera a Smithe, která vychází z principu přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku, jehož parametry jsou definovány a odvozeny z rozměrů standartních elementárních odtokových ploch o délce 22,13 m a sklonu 9 %, jejichž povrch je po každém přívalovém dešti mechanicky kypřen ve směru sklonu svahu jako úhor bez vegetace (JANEČEK et al, 2012). Novotný a kolektiv (2017) definuje USLE takto:

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

kde:

G = průměrná dlouhodobá ztráta půdy [t . ha⁻¹ . rok⁻¹]

R = faktor erozní účinnosti deště - vyjádřený v závislosti na četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii deště [MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹]

K = faktor erodovatelnosti půdy - vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a zrnitosti [t.h.MJ⁻¹.cm⁻¹.rok⁻¹]

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 [-]

C = faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu - vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice [-]

P = faktor účinnosti protierozních opatření [-]

Hodnota přípustné ztráty půdy slouží ke stanovení míry erozního ohrožení pozemku a definuje se jako maximální velikost eroze půdy, která dovoluje dlouhodobě a ekonomicky dostupně udržovat dostatečnou úroveň úrodnosti půdy. Půdy mělké (hloubka do 30 cm), které mají nízkou produkční schopnost, by se neměly využívat pro polní výrobu a doporučuje se u nich zatravnění nebo zalesnění. U půd středně hlubokých a hlubokých (hloubku nad 30 cm) se doporučuje maximální přípustná ztráta půdy do $4 \text{ t. ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Hodnoty průměrné dlouhodobé ztráty půdy lze rozdělit do stupňů erozí ohroženosti podle násobku přípustné ztráty půdy. Toto rozdělení se nachází v tabulce 4 (JANEČEK et al, 2012).

Tabulka 4: Stupně erozní ohroženosti

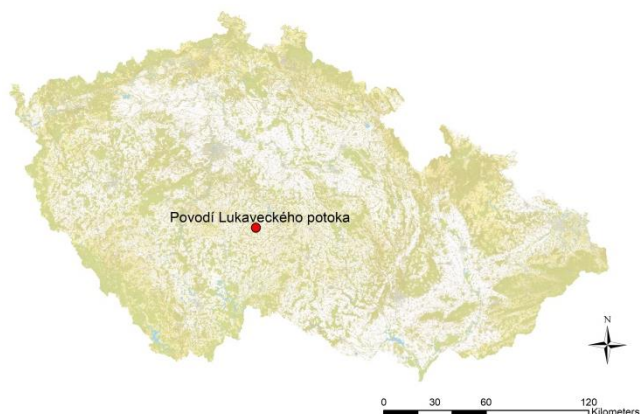
| Stupeň erozní ohroženosti | | Násobek G_b |
|---------------------------|-------------------|---------------|
| 1 | eroze nepatrná | $\leq 1x$ |
| 2 | eroze střední | $\leq 2x$ |
| 3 | eroze silná | $\leq 3x$ |
| 4 | eroze velmi silná | >3 |

Zdroj: JANEČEK et al, 2012

3 Materiál

3.1 Popis vybraného území

Pro zpracování této diplomové práce bylo vybráno povodí Lukaveckého potoka. Nachází se v kraji Vysočina, okres Pelhřimov u města Pacov, které je vzdáleno přibližně 13 km. Na obrázku 3 je zobrazena poloha povodí vůči České republice. Přímou v povodí se nachází obec Lukavec a Kateřinky. Jedná se o povodí IV.



Obrázek 3: Orientální mapa

Zdroj: vlastní zpracování

řádu a jeho číslo hydrologického pořadí je 1-09-02-0770-0-00. Celková plocha povodí činí 11,26 km². Hlavním vodním tokem v povodí je Lukavecký potok, jehož celková délka je 6,31 km. Pramení na kopci Strážišťe, teče po levé části povodí z jihu na severovýchod, přes obec Lukavec a vlévá se do Martinického potoka jako jeho pravostranný přítok. Dominantou v území je právě kopec Strážišťe s nadmořskou výškou 744,2 m. n. m. a nachází se v jižní části území, kde se nadmořské výšky pohybují okolo 700 m. n. m. až do východní části. Směrem na sever k uzávěrovému profilu nadmořská výška klesá do hodnot 540 – 520 m. n. m. V povodí se nachází maloplošné zvláště chráněné území přírodní památka Údolí potoka u Dolské myslivny.

3.2 Charakteristika přírodních podmínek

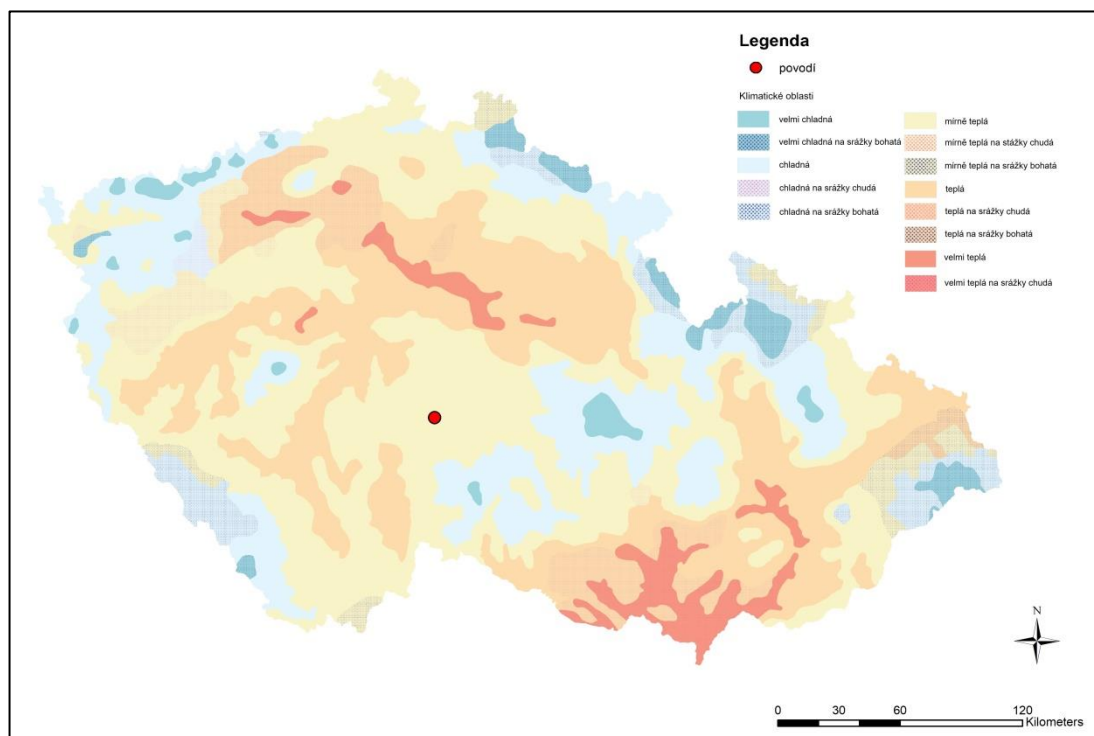
Klimatické poměry

Zájmové území se podle Quitta (1971) nachází v klimatické oblasti MT4 – mírně teplé oblasti. V takovéto oblasti bývá mírné, suché až mírně suché a krátké léto, krátké přechodné období s mírným jarem a mírným podzimem, zima je normálně dlouhá, mírně teplá a suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Tabulka 5 obsahuje klimatické charakteristiky mírně teplé oblasti a obrázek 4 vyznačuje povodí na mapě klimatických oblastí.

Tabulka 5: Klimatické charakteristiky mírně teplé oblasti MT4

| Parametr | MT4 |
|---------------------------------------------|-----------|
| Počet letních dní | 20 – 30 |
| Počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více | 140 – 160 |
| Počet dní s mrazem | 110 – 130 |
| Počet ledových dní | 40 – 50 |
| Průměrná lednová teplota | -2 - -3 |
| Průměrná dubnová teplota | 6 – 7 |
| Průměrná červencová teplota | 16 – 17 |
| Průměrná říjnová teplota | 6 – 7 |
| Průměrný počet dní se srážkami 1mm a více | 110 – 120 |
| Suma srážek ve vegetačním období | 350 - 450 |
| Suma srážek v zimním období | 250 – 300 |
| Počet dní se sněhovou pokrývkou | 60 – 80 |
| Počet zatažených dní | 150 -160 |
| Počet jasných dní | 40 – 50 |

Zdroj: TOLASZ et al, 2007



Obrázek 4: Mapa klimatických oblastí České republiky

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.gov.cz

Srážkové poměry

Roční úhrn srážek: 657 mm

Průměrný úhrn srážek za vegetační období IV. – IX. měsíce: 413 mm

Průměrný počet dnů s bouřkou (přívalové srážky): 25 dní

Hodnoty jsou brány z klimatické stanice Pacov (okr. Pelhřimov) (Atlas podnebí Československé republiky, 1958)

Tabulka 6: Průměrné roční rozdělení srážek

| Měsíc | I. | II. | III. | IV. | V. | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|-------|----|-----|------|-----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|
| mm | 42 | 34 | 40 | 48 | 66 | 75 | 88 | 86 | 50 | 40 | 50 | 38 |

Zdroj: Atlas podnebí Československé republiky, 1958

Teplotní poměry

Průměrná roční teplota vzduchu: 6,8 °C

Průměrná teplota vzduchu ve vegetačním období: 13,1 °C

Průměrný počet mrazových dnů v roce: 35 dní

Hodnoty jsou brány z klimatické stanice Pacov (okr. Pelhřimov) (Atlas podnebí Československé republiky, 1958)

Tabulka 7: Průměrné roční rozdělení teplot

| Měsíc | I. | II. | III. | IV. | V. | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|-------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| °C | -3,1 | -1,8 | 2,0 | 6,6 | 12,1 | 15,0 | 16,7 | 15,8 | 12,2 | 6,8 | 1,6 | -1,7 |

Zdroj: Atlas podnebí Československé republiky, 1958

Hydrologické poměry

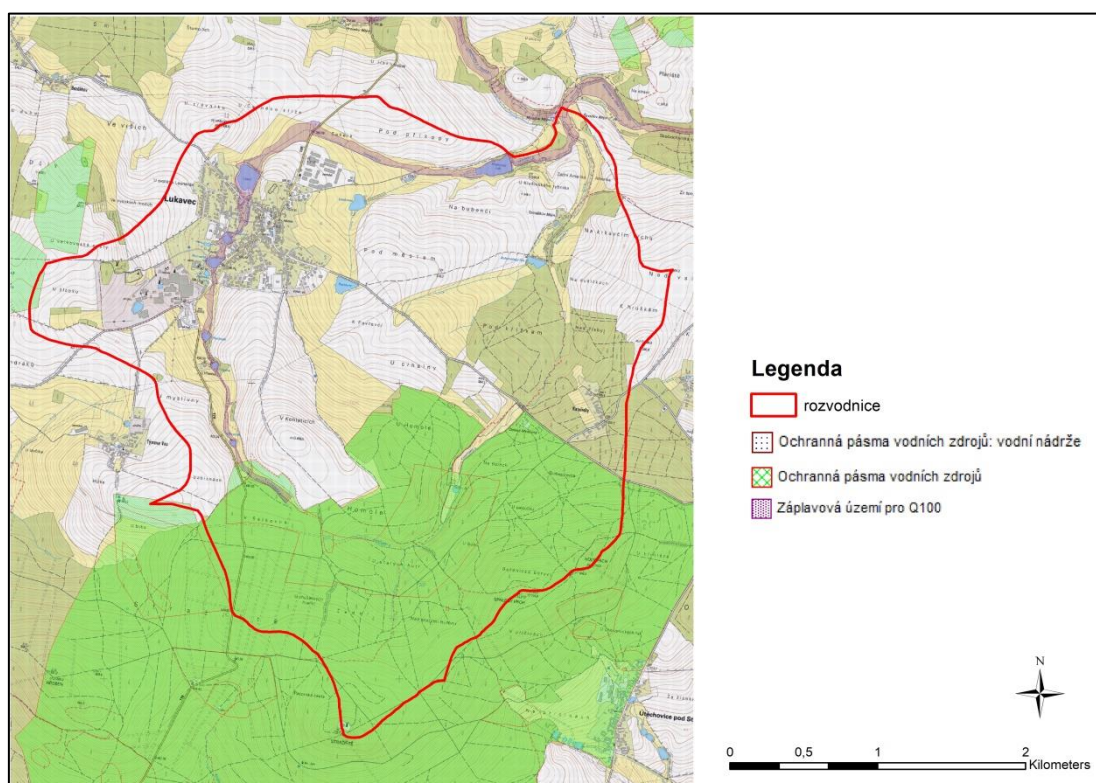
Zájmové území spadá do povodí I. řád Labe, dílčího povodí Dolní Vltavy 1-09, povodí III. řádu Želivky 1-09-02. Do Lukaveckého potoka přitéká Kateřinský potok (ID 10274720), bezejmenný tok (ID 10241516), bezejmenný tok (ID 10255023) a bezejmenný tok (ID 10271364). V povodí se nachází 13 vodních nádrží, z toho 5 vodních nádrží leží v intravilánu obce Lukavce. Vodní toky v povodí spravuje Povodí Vltavy, státní podnik. V místech, kde protéká Lukavecký potok intravilánem Lukavce, se nalézá záplavové území 100-leté vody. Celé zájmové území spadá do ochranného pásma vodních zdrojů: vodní nádrže Švihov a lesní

porosty v jižní části území náleží do ochranného pásma vodního zdroje (obrázek 6).
Na obrázku 5 jsou vidět soutoky vodních toků v povodí.



Obrázek 5: Soutok Lukaveckého potoka s Martinickým (vlevo) a soutok Kateřinského potoka a Lukaveckého potoka (vpravo)

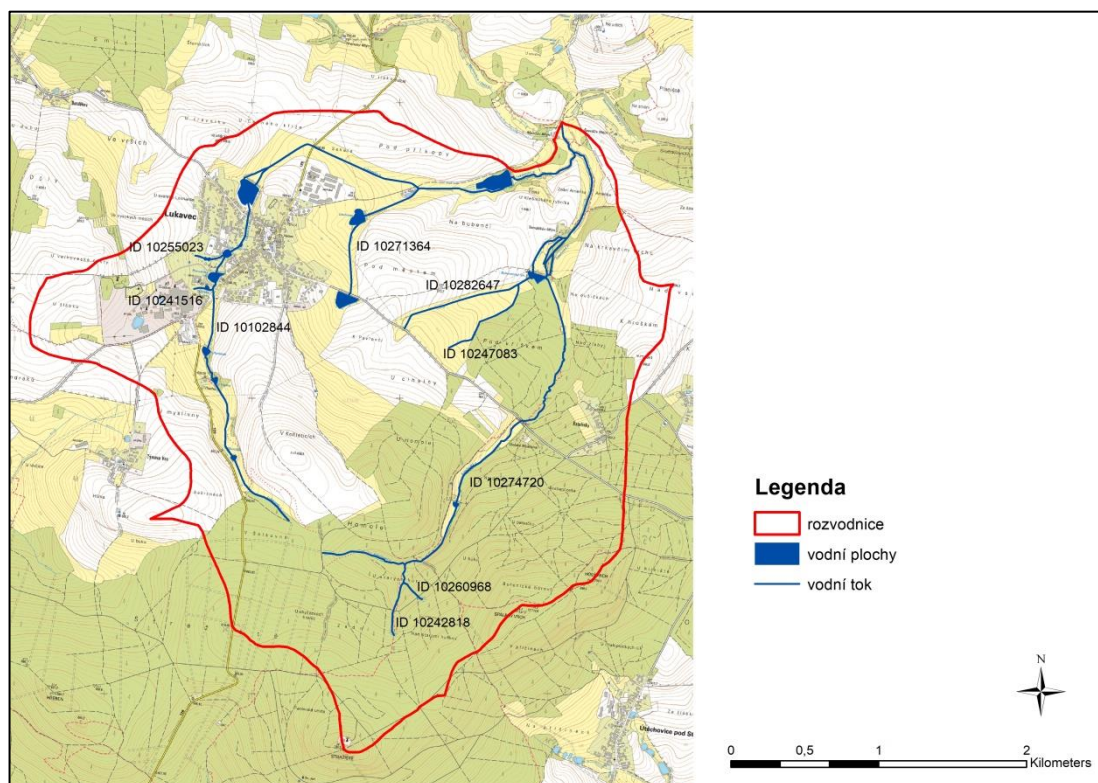
Zdroj: vlastní foto



Obrázek 6: Mapa ochranných pásem a záplavového území pro Q100

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - heis.vuv.cz

V intravilánu se nachází rybník Lázeň (1,72 ha), Kuchyňský rybník (0,24 ha), Pivovarský rybník (0,47 ha), Dvorský rybník (0,09 ha) a rybník s místním názvem Osmička (0,12 ha). V zájmovém území se jinak nachází Křešínský rybník (1,96 ha), Bubenečský rybník (0,5 ha), Pavlovec (1,01 ha), Louhovec (0,81 ha), U Vlacha (0,14 ha), Obcizňák (0,12). Na území se také nalézají dvě umělé vodní nádrže - Pazderák (0,24 ha) a bezejmenná nádrž (0,11 ha). Obrázek 7 zobrazuje hydrologické poměry v povodí.

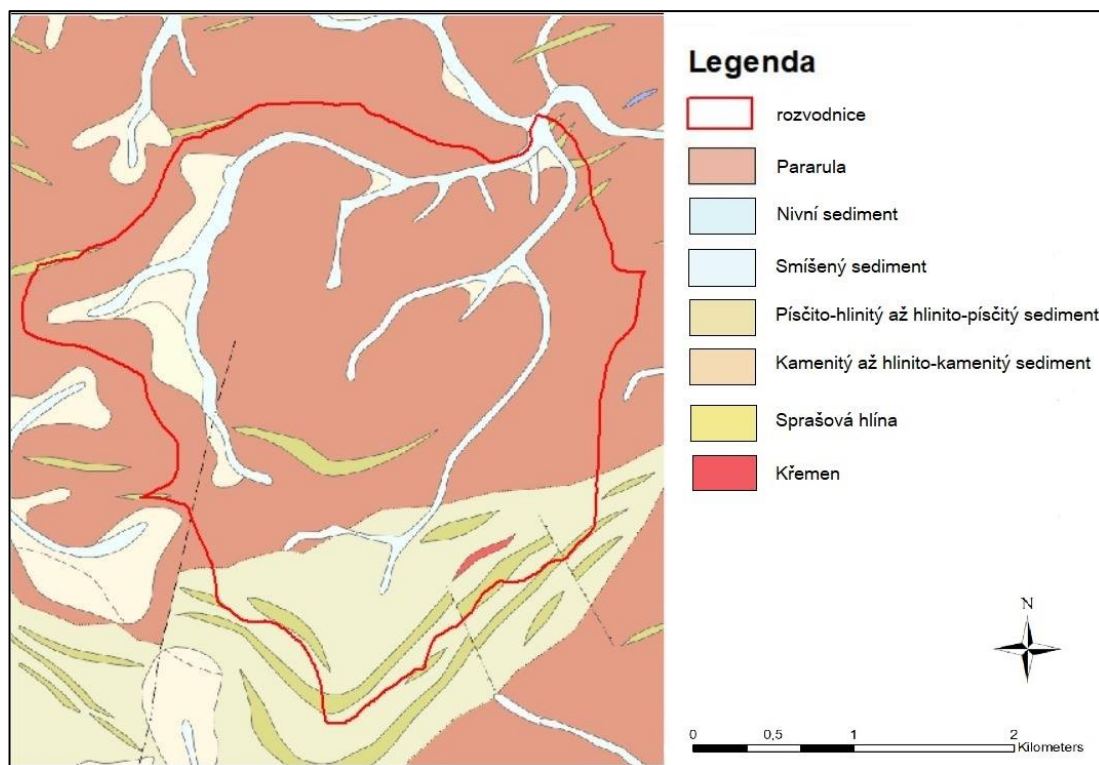


Obrázek 7: Mapa hydrologických poměrů v povodí

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

Geologické poměry

Celé území spadá do moldanubické oblasti Šumavy a jižních Čech s převládající horninou pararuly, v oblasti vodotečí se vyskytuje nivní sediment (písek, štěrk a hlína), v severozápadní a jihozápadní části intravilánu se vyskytuje kamenitý až hlinito-kamenitý sediment a výjimečně se zde také objevují linie horniny kvarcitu. Na obrázku 8 je zobrazena mapa geologických poměrů v povodí.



Obrázek 8: Mapa geologických poměrů

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.gov.cz

Geomorfologické poměry

Podle geomorfologického členění ČR spadá zájmové území do:

- systému Hercynský
- provincie Česká Vysočina
 - subprovincie Česko-moravská soustava
 - oblasti Českomoravská vrchovina
 - celku Křemešnická vrchovina
 - podcelku Pacovská pahorkatina a Želivská pahorkatina
 - okrsku Říšnická vrchovina a Čechtická pahorkatina

Půdní poměry

Na území se objevují tři půdní typy, převažujícím půdním typem jsou kambizemě, především kambizem dystrická. Dalšími půdními typy jsou pseudogleje a gleje, které se objevují v okolí vodních toků. Převážná většina pozemků má sklon 3 - 7° (mírný sklon), v menším zastoupení mají pozemky sklon 0 - 3° (rovina) a většina má všestrannou expozici. Obsah skeletu v půdě je do 25 % (bezskeletovitá až slabě skeletovitá), výjimečně 25 - 50 % (středně skeletovitá) a hloubka půdy po celém území činí do 30 cm (hluboká, až středně hluboká). Příloha 2 obsahuje všechny BPEJ, které se vyskytují v povodí.

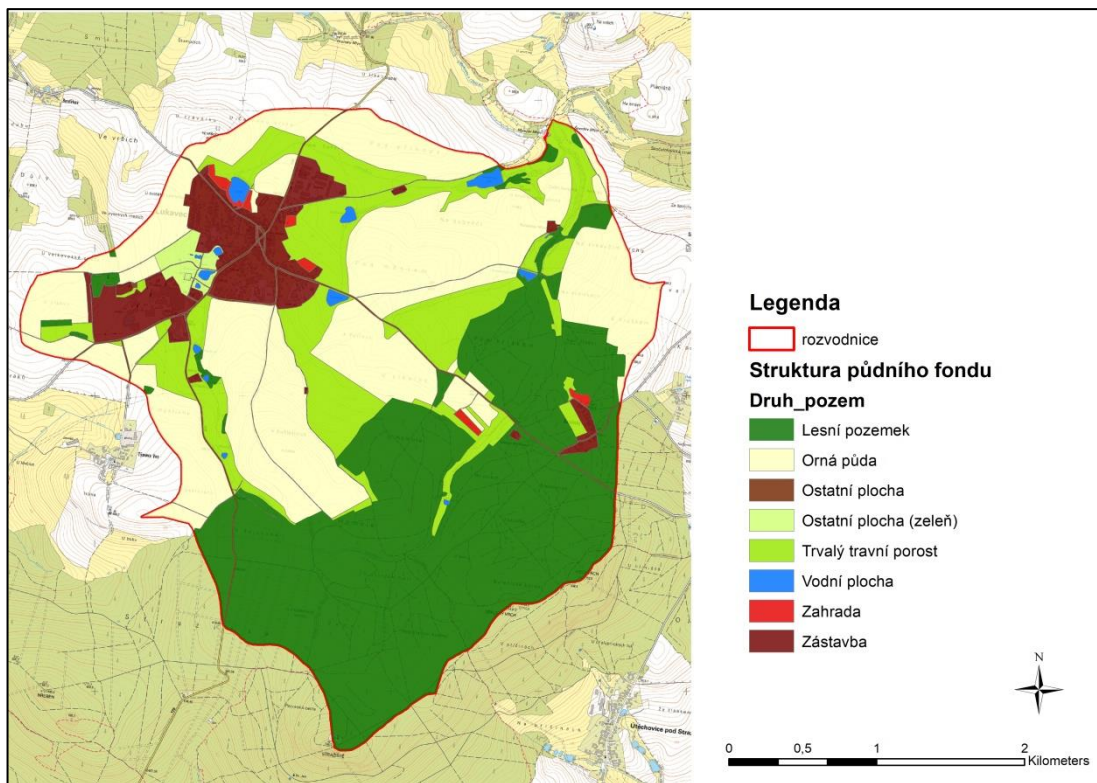
Struktura půdního fondu

Nejvíce zastoupenou kulturou na území jsou lesní porosty s výměrou 478,8 ha, dále je orná půda s výměrou 367,2 ha. Trvalé travní porosty (TTP) zaujímají 124,9 ha. Dále zástavba je zastoupena v povodí o výměře 92,9 ha a zahrady 32,2 ha. Ostatní plochy jako komunikace mají výměru 13,6 ha a ostatní plochy jako zeleň mají výměru 10 ha. Zbylé vodní plochy zaujímají 7,3 ha (www.nahlizenidokn.cuzk.cz). V tabulce 8 je rozdělena struktura půdního fondu, obrázek 9 vyjadřuje grafické rozdělení struktury půdního fondu a obrázek 10 obsahuje graf s procentuálním rozdělením půdního fondu v povodí.

Tabulka 8: Struktura půdního fondu v povodí Lukaveckého potoka

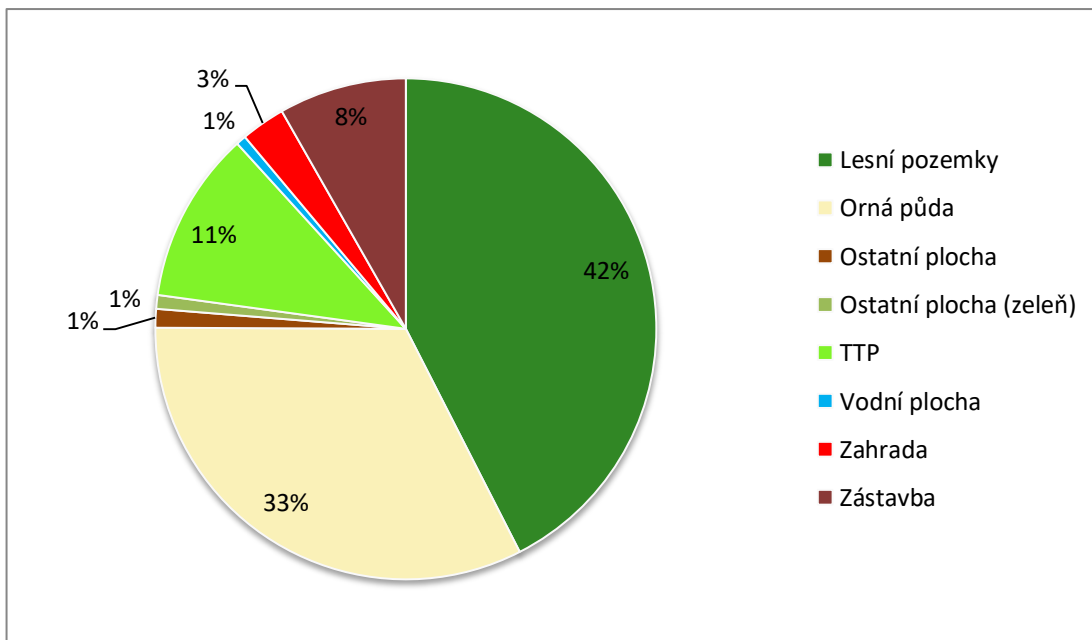
| Kultura | Výměra [ha] | Vyjádření výměry kultury v % k celkové výměře |
|-------------------------------|----------------|--------------------------------------------------|
| Lesní pozemky | 478,8 | 42 |
| Orná půda | 367,2 | 33 |
| Ostatní plocha | 13,6 | 1 |
| Ostatní plocha (zeleň) | 10 | 1 |
| TTP | 124,9 | 11 |
| Vodní plocha | 7,3 | 1 |
| Zahrada | 32,2 | 3 |
| Zástavba | 92,9 | 8 |

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 9: Struktura půdního fondu

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz



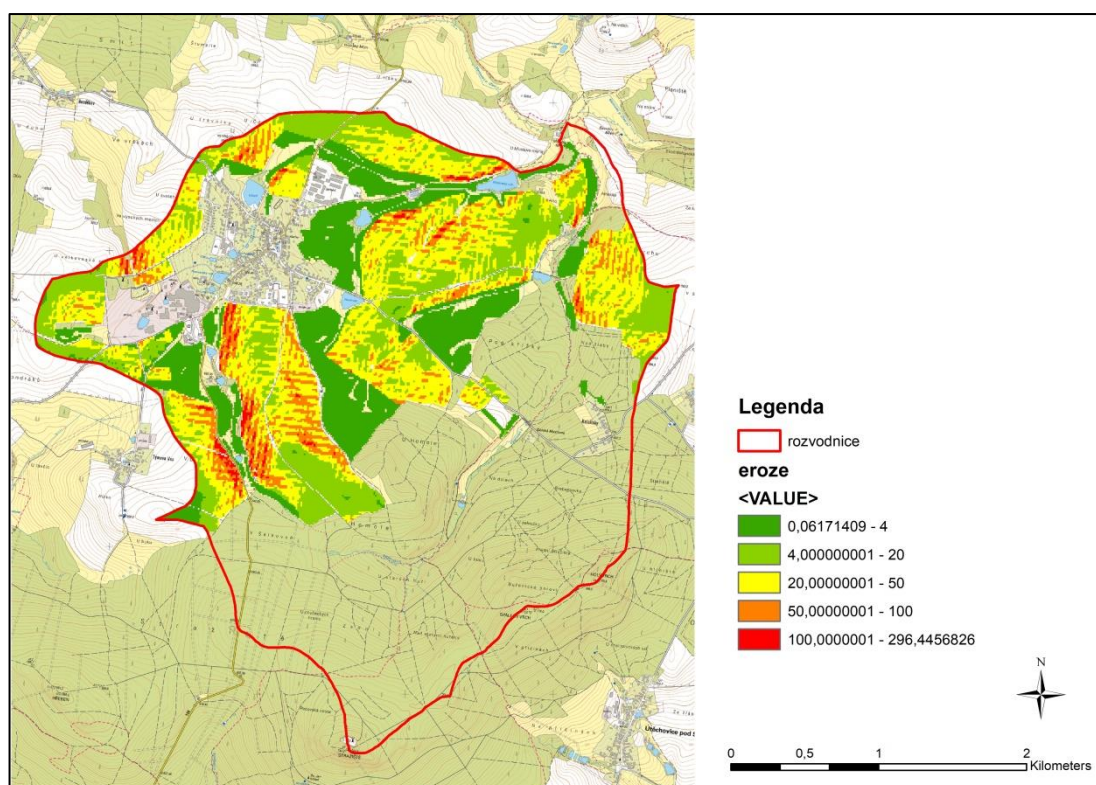
Obrázek 10: Graf struktury půdního fondu

Zdroj: vlastní zpracování

3.3 Ohrožení vodní erozí

Zájmové území se nachází v bramborářsko-ovesné výrobní oblasti B3. Zemědělskou výrobu na tomto území vykazují především dva hlavní činitelé. Prvním činitelem je Zemědělské družstvo Lukavec ležící v severní části intravilánu obce Lukavec. Toto družstvo užívá převážnou většinu orné půdy v povodí. Z jejich 90 % rostlinné výroby se stává krmivo pro živočišnou výrobu (skot a prasata), zbylá procenta rostlinné výroby se prodají. Zemědělské družstvo obhospodařuje převážně velké půdní bloky orné půdy. Dalším činitelem zemědělské výroby je podnikatel Václav Veleta, který vlastní menší podíl orné půdy o menších rozměrech a také provozuje rostlinný výzkumný ústav. Oba uživatelé orné půdy v povodí nepoužívají při práci žádná protierozní opatření.

Celý postup výpočtu erozní ohroženosti současného stavu je popsán v kapitole 4.2 Postup výpočtu erozní ohroženosti – USLE. Výslednou míru erozního ohrožení znázorňuje obrázek 11.



Obrázek 11: Míra erozního ohrožení - současný stav

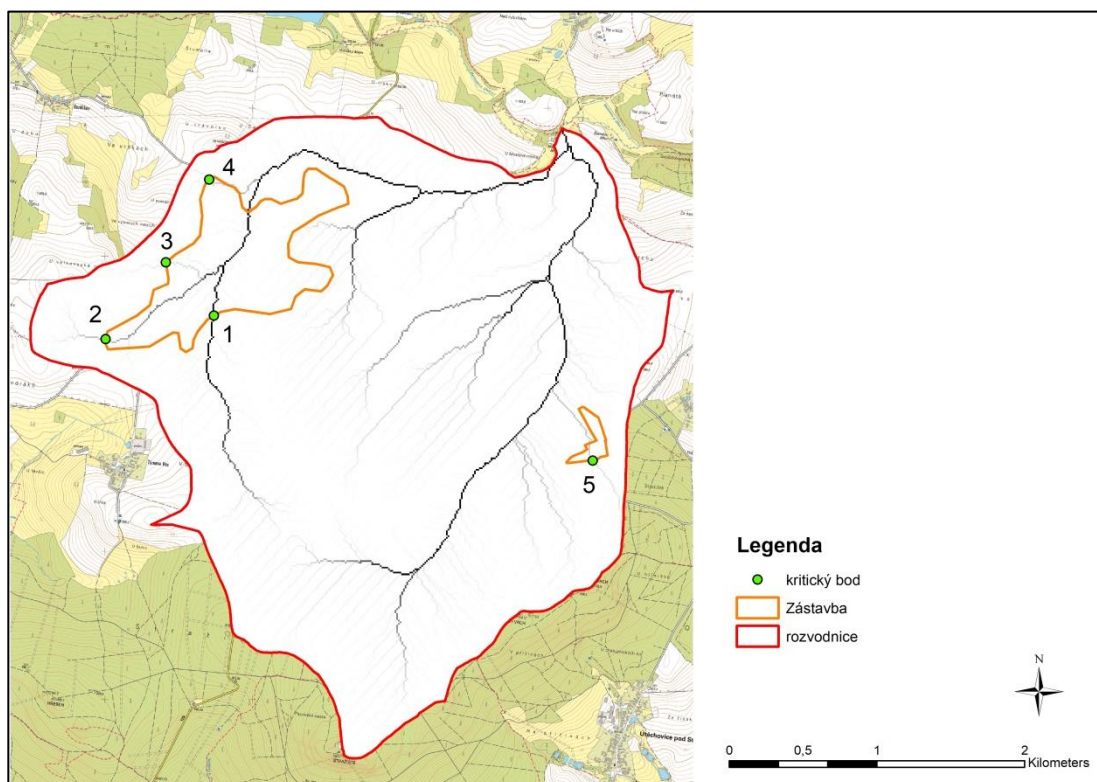
Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

Dráhy soustředěného odtoku, znázorněné na obrázku 13, zasahují v pěti bodech do intravilánu obce a vznikají tak kritické body. U těchto bodů se musí zvýšit pozornost, protože by se při vyšších srážkách mohla transportovaná půdní hmota dostat do intravilánu obce. Právě tato skutečnost se stala u kritického bodu č. 1 při letním přívalovém dešti minulého roku, který trval cca 3 hod, a spadlo přes 40 mm srážek. Dále byly zanesené 2 rybníky a u půdních bloků, kde byla čerstvě zasetá řepka ozimá, se vytvořila erozní událost. Obrázek 12 obsahuje fotografie z míst, kde proběhla erozní událost.



Obrázek 12: Erozní událost po přívalovém dešti

Zdroj: vlastní foto



Obrázek 13: Dráhy soustředěného odtoku a kritické body v povodí

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

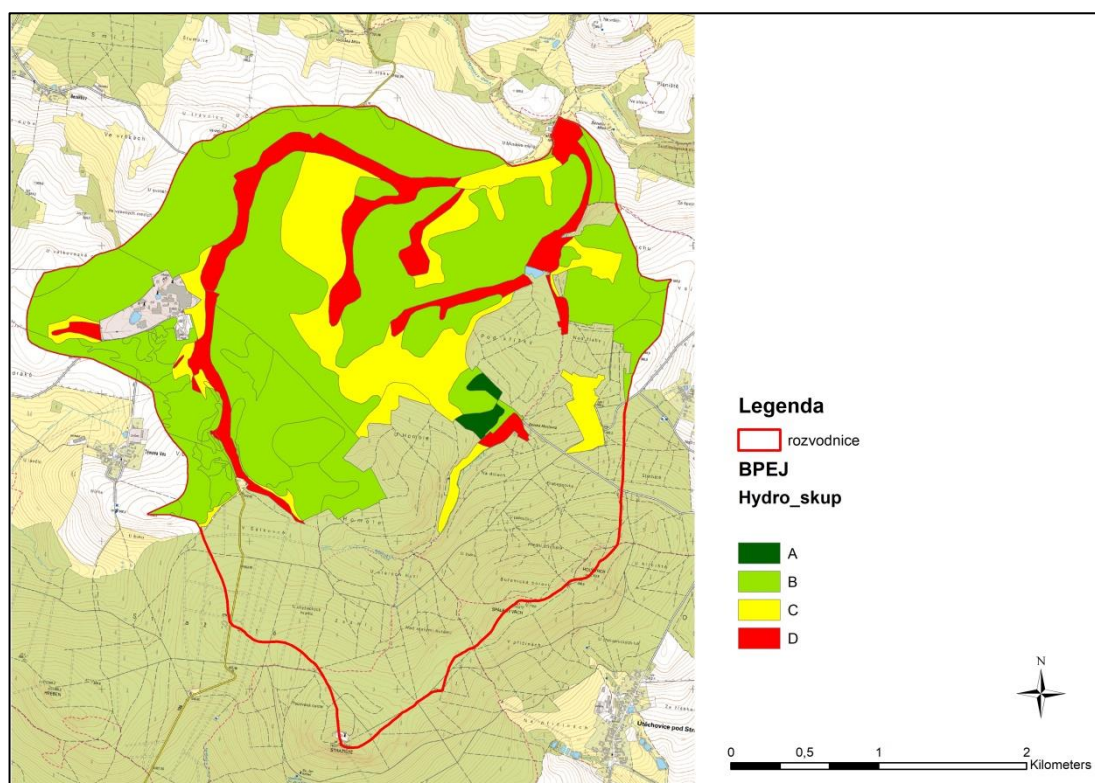
4 Metody

4.1 Postup výpočtu přímého odtoku - metoda CN křivek

Tato metoda je založena na reakci odtoku z přívalových dešťů na čtyři vlastnosti povodí: půdní hydrologické charakteristiky, využívání a obhospodařování půdy, vlastnosti povrchu a předchozí nasycenost povodí. V následujících kapitolách jsou popsány kroky výpočtu.

Určení hydrologických skupin půd

V programu ArcGIS byla použita vrstva BPEJ (bonitované půdně ekologická jednotka), která byla oříznutá funkcí Clip podle rozvodnice povodí a do její atributové tabulky se přidal sloupec s označením hydrologické skupiny půd (obrázek 14). Ty se určily podle převodu hodnot druhé a třetí číslice – hlavní půdní jednotky (HPJ) z kódu BPEJ na hydrologickou skupinu půd (Příloha č. 3: Hydrologické skupiny zemědělských půd podle BPEJ reps. HPJ).

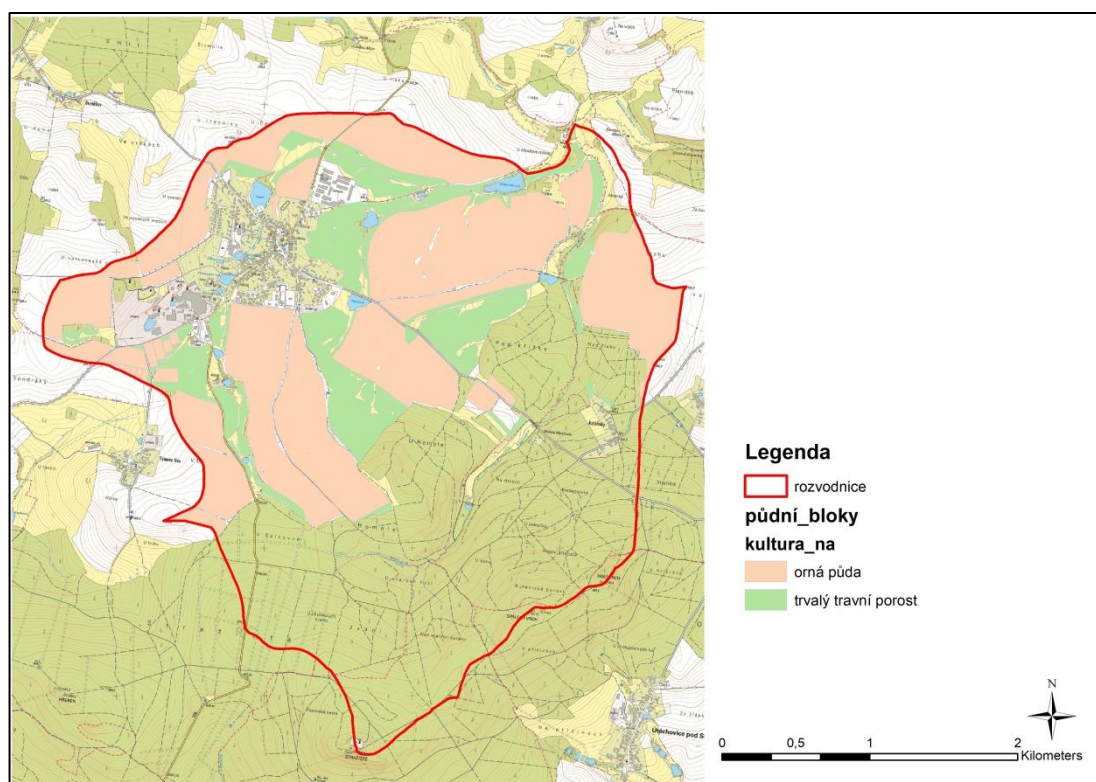


Obrázek 14: Mapa hydrologických skupin půd

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

Využití území

V následujícím kroku byla použita vrstva s půdními bloky z Veřejného registru půdy (LPIS), který je dostupný na stránkách <http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/>. Tato vrstva obsahuje půdní bloky (PB) orné půdy a TTP. Právě na těchto půdních blocích se provedla metoda CN křivek. Mapa půdních bloků se nalézá na obrázku 15. Detailnější mapa půdních bloků a jejich očíslování se nachází v příloze č. 5.



Obrázek 15: Mapa půdních bloků v povodí

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

Průměrné hodnoty CN křivek

V tomto kroku se vytvořila nová vrstva pomocí funkce *Union*, která přerýla mapu hydrologických skupin půd a mapu využití území. Vznikly nové polygony, které se pomocí funkce *Dissolve* sloučily dohromady, pokud měly stejnou hydrologickou skupinu půd a využití území. Následně se k těmto polygonům přiřadily průměrné hodnoty čísel CN křivek (Příloha č. 4: Průměrná čísla odtokových křivek – CN pro IPS II).

Po přiřazení průměrných čísel odtokových křivek se vypočítala průměrná hodnota CN křivek pro všechny zemědělské pozemky (půdní bloky) v povodí. Ta byla vypočítána pomocí vzorce:

$$CN_{\emptyset} = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i * S_{Pi})}{S_p}$$

kde:

CN_{\emptyset} = průměrná hodnota čísla odtokových křivek

CN_i = specifické číslo odtokové křivky CN pro jednotlivou plochu

S_{pi} = rozloha plochy CN_i

S_p = celková rozloha půdních bloků v povodí

Po dosažení průměrné hodnoty čísla odtokových křivek pro půdní bloky v povodí, se tato hodnota dosadila do výpočtu potenciální retence, která se vypočítá tímto vzorcem:

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

kde:

A = potenciální retence

CN = průměrná hodnota čísla odtokových křivek pro půdní bloky v povodí

Dále se po zjištění těchto dvou hodnot přešlo k výpočtu výšky přímého odtoku. K tomuto určení byla třeba znalost maximálních denních úhrnů srážek s pravděpodobností 2, 10, 20, 50 a 100 let. Hodnoty byly použity z programu ERCN ze srážkoměrné stanice Pelhřimov a jsou vypsány v tabulce 9.

Tabulka 9: Hodnoty ze srážkoměrné stanice Pelhřimov

| Srážkoměrná stanice | Pravděpodobnost opakování za N let | | | | |
|---------------------|------------------------------------|------|------|------|------|
| | 2 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| Pelhřimov | 35,5 | 63,3 | 74,8 | 88,8 | 99,8 |

Zdroj: program ERCN

Jelikož bylo potřeba znát pět maximálních denních úhrnů srážek, proto se výpočet výšky přímého odtoku opakoval pětkrát pro různé doby opakování. Tvar vzorce pro výpočet výšky přímého odtoku je:

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

kde:

H_o = výška přímého odtoku

H_s = maximální denní úhrn srážek s opakování za N let

A = potenciální retence

Všech pět výsledků výšek přímého odtoku bylo následně vkládáno do pěti vzorců objemu přímého odtoku:

$$O_{pH} = H_o * P_p * 1000 \quad (m^3)$$

kde:

O_{pH} = objem přímého odtoku

H_o = výška přímého odtoku

P_p = celková rozloha půdních bloků v povodí

4.2 Postup výpočtu erozní ohroženosti - USLE

Jedním ze vstupních údajů pro výpočet erozní ohroženosti byl digitální model terénu (DMT), který poskytla společnost CzechGlobe (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, veřejně výzkumná instituce). DMT Lukaveckého potoka disponuje přesností pixelu 10 x 10 m. Dalším vstupním údajem byla vrstva s půdními bloky, která byla použita při výpočtu CN křivek. Výpočet erozní ohroženosti proběhl v programu ArcGIS.

Faktor erozní účinnosti deště - R

Pro celou Českou republiku je stanovena průměrná hodnota faktoru R 40 MJ.ha.cm/hod.rok⁻¹, která je určena na základě dlouhodobé řady pozorování srážek

ve stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (PODHRÁZSKÁ a DUFKOVÁ, 2005).

Faktor erodovatelnosti půdy – K

Hodnoty faktoru K se stanovily pomocí HPJ z kódu BPEJ a následně byly přeneseny do atributové tabulky nové vrstvy obsahující půdní bloky. Převod hodnot faktoru K z HPJ byl proveden dle Janečka a kolektivu (2012). Poté se vytvořil rastr faktoru K funkcí *Polygon to Raster*, podle přiřazených hodnot v atributové tabulce.

Faktor délky a sklonu svahu - LS

Pro výpočet LS faktoru se použil DMT, který byl nejdříve vyhlazen funkcí *Fill*. Z takto upraveného DMT se vyhotovil rastr směrů odtokových linií funkcí *Flow Direction*. Poté se z tohoto rastru vytvořil rastr délky odtokových linií – faktor L pomocí funkce *Flow Length*. Z předchozího upraveného DMT se funkcí *Slope* vyhotovil rastr sklonu – faktor S.

Faktor LS vyjadřuje poměr ztráty půdy z šetřeného svahu ke ztrátě půdy z jednotkového pozemku (délka 22,13 m a sklon 9%). Hodnota topografického faktoru LS pro přímé svahy se vypočítá ze vztahu:

$$LS = l_d^{0.5} \cdot (0.0138 + 0.0097 \cdot s + 0.00138 \cdot s^2)$$

kde:

l_d = neporušená délka svahu

s = sklon svahu (GREŠOVÁ et al, 2013)

Tento výpočet se provedl funkcí *Raster Calculator* a výstupem byl rastr LS faktoru.

Faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu – C

Pro stanovení faktoru C bylo potřeba stanovit osevňovací postup, z kterého se následně vypočítalo číslo faktoru C. Z internetových stránek www.kalkulacka.vumop.cz byl vybrán nejvíce odpovídající osevňovací postup pro hospodaření na orné půdě v povodí. Skládá se z 8 plodin, u kterých se používá klasická agrotechnika (Obrázek 16). Takto získané číslo 0,248 bylo zapsáno do atributové tabulky půdních bloků orné půdy a k půdním blokům TTP bylo přiřazeno číslo 0,005. Pomocí funkce *Polygon to Raster* byl vytvořen rastr faktoru C.

| Plodiny osevního postupu | | Agrotechnika | Termíny agrotechnických operací | | | | faktor C | |
|--------------------------|----------------|--------------|----------------------------------------------------------|-------------|-----------|---------------|-----------|-------|
| Plodina | Zařazení | | Příprava pů... | Setí/sázení | Sklizeň | Podmítka/Orba | | |
| 1 | Jetel plazivý | hl. plodina | podsev do předplodiny | 28.3.2019 | 7.4.2019 | 14.9.2020 | 19.9.2020 | 0,045 |
| 2 | Pšenice ozimá | hl. plodina | setí do zorané půdy, sláma sklizena | 21.9.2020 | 5.10.2020 | 4.8.2021 | 9.8.2021 | 0,061 |
| 3 | Kukuřice siláž | hl. plodina | setí do zorané půdy, sláma sklizena | 16.4.2022 | 27.4.2022 | 5.9.2022 | 12.9.2022 | 0,653 |
| 4 | Ječmen jarní | hl. plodina | setí do zorané půdy, sláma sklizena | 28.3.2023 | 7.4.2023 | 31.7.2023 | 7.8.2023 | 0,174 |
| 5 | Řepka ozimá | hl. plodina | setí do zorané půdy, sláma sklizena | 10.8.2023 | 11.8.2023 | 26.7.2024 | 2.8.2024 | 0,253 |
| 6 | Pšenice ozimá | hl. plodina | setí do zorané půdy, sláma sklizena | 21.9.2024 | 5.10.2024 | 4.8.2025 | 9.8.2025 | 0,282 |
| 7 | Brambory | hl. plodina | v přímých řádcích libovolného směru, včetně odkameňování | 9.4.2026 | 26.4.2026 | 1.9.2026 | 8.9.2026 | 0,583 |
| 8 | Ječmen jarní | hl. plodina | setí do zorané půdy, sláma sklizena | 28.3.2027 | 7.4.2027 | 31.7.2027 | 7.8.2027 | 0,181 |
| Č: 0,248 | | | | | | | | |

Obrázek 16: Klasický osevní postup pro bramborářskou oblast

Zdroj: <https://kalkulacka.vumop.cz/app/>?

Faktor účinnosti protierozních opatření – P

Jelikož na pozemcích se neuplatňují protierozní opatření, ani se nedodržují podmínky maximálních délek a počtu pásů, nelze vyjádřit jinak, než jako hodnota faktoru $P = 1$ (JANEČEK et al, 2012).

4.3 Popis modelových situací

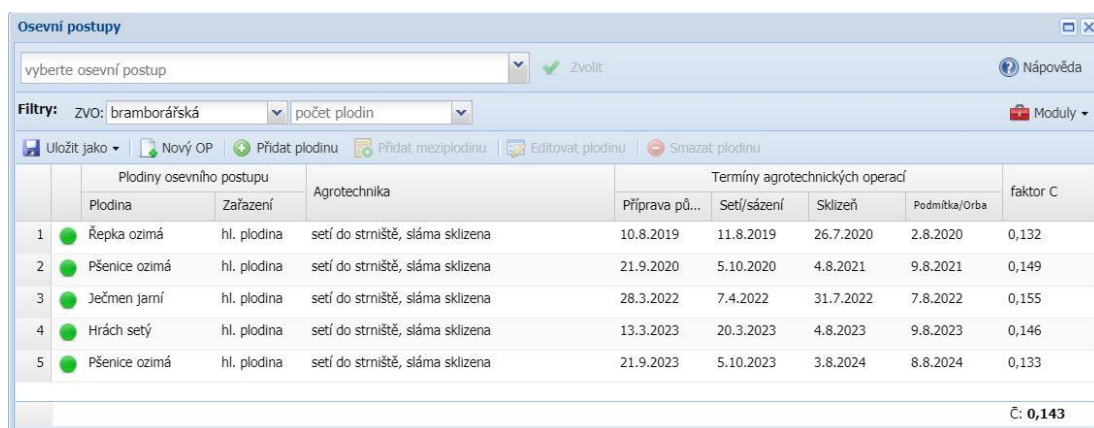
V této kapitole jsou popsány použité modelové situace, u kterých byly zhodnoceny odtokové poměry a erozní charakteristiky v povodí Lukaveckého potoka (okr. Pelhřimov). Modelové situace byly vybrány a postupně na sebe navázány tak, aby zmírnily ohrožení vodní erozí až k jejímu minimu. Nejdříve byl popsán současný stav, který poukazuje na aktuální stav. V další modelové situaci se upravil osevní postup, aby se v něm neobjevovaly erozně nebezpečné plodiny. Další situací bylo upraveno hospodaření na orné půdě pomocí vrstevnicového obdělávání. V následujících dvou situacích byla navržena lokální opatření pomocí protierozního příkopu a zatravnění údolnic. V poslední situaci bylo použito ochranné zatravnění na nejneprůzračnějších místech v území. První dvě situace mění vlastnosti celého povodí a následující dvě se spíše zaměřují na změnu daného PB. V poslední situaci byly změněny části převážně všech PB, ale také i dva PB se celé zatravnily. V příloze č. 5 se nachází mapa půdních bloků a jejich očíslování.

4.3.1 Současný stav

V první řadě byl vyhodnocen současný stav krajiny v povodí. Ukazuje na aktuální situaci odtokových poměrů a erozní ohroženosti v zemědělsky využívané krajině. Rozdělení kultur v povodí se nachází v kapitole 3.2 Charakteristika přírodních hodnot – Struktura půdního fondu, kde je napsána jejich výměra, procentuální rozdělení, mapa a graf. V kapitole 3.3 Ohrožení vodní erozí se nachází popis hospodaření v zájmovém území.

4.3.2 Agrotechnické opatření – protierozní osevní postup

V této situaci byl upraven osevní postup tak, že se z něj odstranily erozně nebezpečné plodiny (okopaniny, kukuřice – širokořádkové plodiny) – obrázek 17. Tímto krokem se změnilo číslo faktoru C pro ornou půdu na 0,143. Ve výpočtu CN křivek se změnila čísla průměrných hodnot pro ornou půdu (úzkořádkové plodiny).



| | Plodiny osevního postupu | | Agrotechnika | Termíny agrotechnických operací | | | | faktor C |
|---|--------------------------|-------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------|-----------|---------------|----------|
| | Plodina | Zařazení | | Příprava pů... | Setí/sázení | Skizeň | Podmítka/Orba | |
| 1 | Řepka ozimá | hl. plodina | setí do strniště, sláma sklizena | 10.8.2019 | 11.8.2019 | 26.7.2020 | 2.8.2020 | 0,132 |
| 2 | Pšenice ozimá | hl. plodina | setí do strniště, sláma sklizena | 21.9.2020 | 5.10.2020 | 4.8.2021 | 9.8.2021 | 0,149 |
| 3 | Ječmen jarní | hl. plodina | setí do strniště, sláma sklizena | 28.3.2022 | 7.4.2022 | 31.7.2022 | 7.8.2022 | 0,155 |
| 4 | Hrách setý | hl. plodina | setí do strniště, sláma sklizena | 13.3.2023 | 20.3.2023 | 4.8.2023 | 9.8.2023 | 0,146 |
| 5 | Pšenice ozimá | hl. plodina | setí do strniště, sláma sklizena | 21.9.2023 | 5.10.2023 | 3.8.2024 | 8.8.2024 | 0,133 |

Obrázek 17: Protierozní osevní postup

Zdroj: : <https://kalkulacka.vumop.cz/app/>

4.3.3 Agrotechnické opatření – vrstevnicové obdělávání

Při použití vrstevnicového obdělávání byl změněn faktor P podle sklonu svahu půdních bloků orné půdy. K půdním blokům, které mají sklon svahu do 7 %, bylo přiřazeno číslo 0,6 a k půdním blokům se sklonem 7 – 12 % bylo přiřazeno 0,7. Určení těchto hodnot k půdním blokům obsahuje tabulka 10.

Tabulka 10: Přiřazení hodnot faktoru P k půdním blokům

| PB | Sklon svahu do 7% | Sklon svahu 7 – 12% | PB | Sklon svahu do 7% | Sklon svahu 7 – 12% |
|-----------|----------------------|------------------------|-----------|----------------------|------------------------|
| 1 | 0,6 | - | 29 | - | 0,7 |
| 2 | 0,6 | - | 31 | - | 0,7 |
| 4 | 0,6 | - | 32 | - | 0,7 |
| 6 | - | 0,7 | 35 | - | 0,7 |
| 9 | - | 0,7 | 36 | - | 0,7 |
| 10 | 0,6 | - | 42 | - | 0,7 |
| 12 | 0,6 | - | 46 | - | 0,7 |
| 13 | 0,6 | - | 53 | - | 0,7 |
| 15 | 0,6 | - | 54 | 0,6 | |
| 17 | - | 0,7 | 55 | - | 0,7 |
| 18 | 0,6 | - | 58 | - | 0,7 |
| 19 | 0,6 | - | 59 | - | 0,7 |
| 20 | 0,6 | - | 61 | - | 0,7 |
| 21 | 0,6 | - | 63 | - | 0,7 |
| 24 | 0,6 | - | 64 | 0,6 | - |
| 25 | 0,6 | - | 65 | - | 0,7 |
| 27 | 0,6 | - | 70 | - | 0,7 |

Zdroj: vlastní zpracování

4.3.4 Technické opatření – protierozní příkop

Na PB č. 63 byl navržen sběrný příkop, který slouží k přerušení povrchového odtoku. Jeho parametry byly navrženy na kulminační průtok Q_{pH} z návrhové srážky k místu, kde je příkop situován. Hodnota návrhového průtoku byla stanovena pomocí metody CN křivek a programem ERCN. Jako stabilizace svahů příkopu bylo navrženo zatravnění a stabilizace dna příkopu po určitých vzdálenostech stabilizačními prahy. Tento příkop byl zaústěn do příkopu u hlavní polní cesty. Po návrhu příkopu se upravil rastr faktoru LS a faktor C byl změněn pro příkop na 0,005.

4.3.5 Technické opatření – zatravnění údolnic

Na PB č. 29 a 55 byla zatravněna údolnice pro bezpečné odvedení povrchového odtoku v době příválových dešťů nebo při jarním tání, kdy se voda soustřeďuje na povrchu a způsobuje erozní rýhy. Jako u protierozních příkopů se parametry zatravněné údolnice určují podle kulminačního průtoku Q_{pH} z návrhové srážky. Návrhový průtok byl vypočítán metodou CN křivek a programem ERCN. Toto opatření v příčném profilu má tvar paraboly s malou hloubkou. Jedná se o jeden z nejběžnějších tvarů, který nejvíce odpovídá přírodně vymodelovaným vodním cestám. Vegetační kryt v údolnici ovlivňuje rychlost pohybu vody v ní, kdy především kořenový systém tlumí kinetickou energii, snižuje rychlost, její vymílací a transportní schopnost. Ve výpočtu USLE byl upraven faktor C, ve kterém se dané PB upravily a v místech zatravněné údolnice byla zapsána hodnota 0,005.

4.3.6 Ochranné zatravnění

Ochranné zatravnění má podobu optimálně zapojeného porostu, který je z pohledu protierozní ochrany nejlepším opatřením. Pro kvalitní vegetační kryt jsou preferovány trávy výběžkaté tvořící pevný drn. Jako poslední opatření bylo použito zatravnění na částech PB č. 9, 17, 29, 35, 36, 42, 53, 58, 61, 63, 65 a 70. K zatravnění celého PB došlo na PB č. 31 a 59. Toto opatření se projevilo na faktoru C, jehož hodnoty se změnilly na 0,005.

5 Výsledky

5.1 Současný stav

Výpočet přímého odtoku metodou CN křivek

Stanovení průměrných čísel odtokových křivek: tabulka 11

Tabulka 11: Průměrná čísla odtokových křivek – současný stav

| Využití území | Hydrologické skupiny půd | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|----|-------|----|
| | A | B | C | D |
| Orná půda (širokořádkové plodiny) | 67 | 78 | 85 | 89 |
| Louky | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Vážený $\bar{\sigma}$ | | | 75,82 | |

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet potenciální retence A:

$$A = 25,4 * \left(\frac{1000}{75,82} - 10 \right) = 81 \text{ mm}$$

Výpočet výšky přímého odtoku H_o :

: pro 2-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(35,5 - 0,2 * 81)^2}{35,5 + 0,8 * 81} = 3,71 \text{ mm}$$

: pro 10-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(63,3 - 0,2 * 81)^2}{63,3 + 0,8 * 81} = 17,31 \text{ mm}$$

: pro 20-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(74,8 - 0,2 * 81)^2}{74,8 + 0,8 * 81} = 24,59 \text{ mm}$$

: pro 50-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(88,8 - 0,2 * 81)^2}{88,8 + 0,8 * 81} = 34,31 \text{ mm}$$

: pro 100-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(99,8 - 0,2 * 81)^2}{99,8 + 0,8 * 81} = 42,46 \text{ mm}$$

Výpočet objemu přímého odtoku O_{pH} :

: pro 2-letý úhrn srážek

$$OpH = 3,71 * 4,92 * 1000 = 18\,253,2\,m^3$$

: pro 10-letý úhrn srážek

$$OpH = 17,31 * 4,92 * 1000 = 85\,165,2\,m^3$$

: pro 20-letý úhrn srážek

$$OpH = 24,59 * 4,92 * 1000 = 120\,982,8\,m^3$$

: pro 50-letý úhrn srážek

$$OpH = 34,31 * 4,92 * 1000 = 168\,805,2\,m^3$$

: pro 100-letý úhrn srážek

$$OpH = 42,46 * 4,92 * 1000 = 208\,903,2\,m^3$$

Konečné shrnutí výpočtů se nalézá v tabulce 12.

Tabulka 12: Výsledky výpočtu přímého odtoku – současný stav

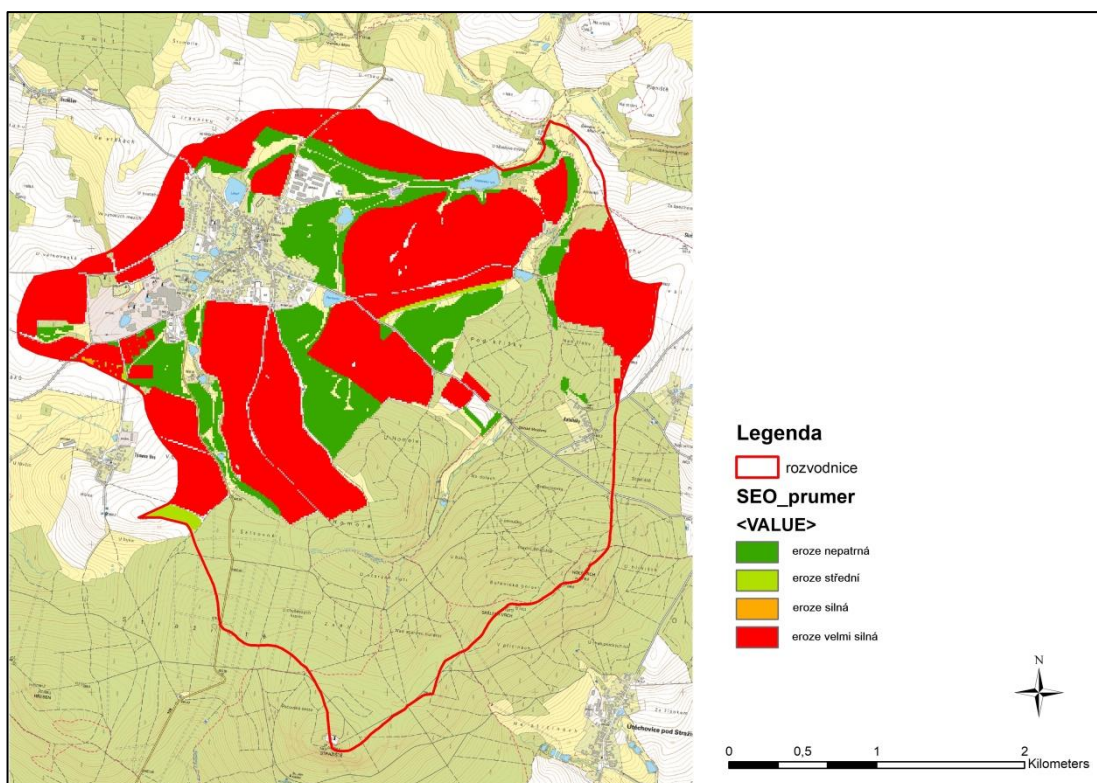
| | Pravděpodobnost opakování N let | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| Výška přímého odtoků H_o [mm] | 3,71 | 17,31 | 24,59 | 34,31 | 42,46 |
| Objem přímého odtoků O_{pH} [m³] | 18 253,2 | 85 165,2 | 120 982,8 | 168 805,2 | 208 903,2 |
| Koeficient odtoků [%] | 10,45 | 27,35 | 32,87 | 38,64 | 42,55 |

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet erozní ohroženosti

Výsledná mapa míry erozního ohrožení současného stavu se nachází v kapitole 3.2 Ohrožení vodní erozí. Nejvyšší hodnoty eroze (200 – 296,44 t. ha⁻¹. rok⁻¹) se objevují na půdních blocích č. 9, 17, 35, 63 a průměrný odnos půdních částic činí 22,86 t. ha⁻¹. rok⁻¹.

Na obrázku 18 jsou znázorněny PB a jejich stupně erozní ohroženosti. Skoro většina PB orné půdy spadají podle klasifikace stupňů erozní ohroženosti do kategorie eroze velmi silná (mimo PB č. 8, 20 a 60 – kategorie eroze střední, PB č. 2 a 18 kategorie eroze silná). V současném stavu vyhovují všechny PB TTP (mimo PB č. 38), jelikož spadají do kategorie eroze nepatrná a splňují přípustnou hodnotu G. Tyto půdní bloky už nebyly v následujících situacích upravovány.



Obrázek 18: Stupně erozní ohroženosti - současný stav

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů – geoportal.cuzk.cz

5.2 Agrotechnické opatření – protierozní oseední postup

Výpočet přímého odtoku metodou CN křivek

Stanovení průměrných čísel odtokových křivek: tabulka 13

Tabulka 13: Průměrná čísla odtokových křivek – protierozní oseední postup

| Využití území | Hydrologické skupiny půd | | | |
|-------------------------------------------|--------------------------|----|-------|----|
| | A | B | C | D |
| Orná půda (úžkořádkové plodiny) | 60 | 72 | 80 | 84 |
| Louky | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Vážený $\bar{\sigma}$ | | | 71,43 | |

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet potenciální retence A:

$$A = 25,4 * \left(\frac{1000}{71,43} - 10 \right) = 101,6 \text{ mm}$$

Výpočet výšky přímého odtoku H_o :

: pro 2-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(35,5 - 0,2 * 101,6)^2}{35,5 + 0,8 * 101,6} = 1,97 \text{ mm}$$

: pro 10-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(63,3 - 0,2 * 101,6)^2}{63,3 + 0,8 * 101,6} = 12,78 \text{ mm}$$

: pro 20-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(74,8 - 0,2 * 101,6)^2}{74,8 + 0,8 * 101,6} = 19,02 \text{ mm}$$

: pro 50-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(88,8 - 0,2 * 101,6)^2}{88,8 + 0,8 * 101,6} = 27,57 \text{ mm}$$

: pro 100-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(99,8 - 0,2 * 101,6)^2}{99,8 + 0,8 * 101,6} = 34,89 \text{ mm}$$

Výpočet objemu přímého odtoku O_{pH} :

: pro 2-letý úhrn srážek

$$OpH = 1,97 * 4,92 * 1000 = 9\,692,4\,m^3$$

: pro 10-letý úhrn srážek

$$OpH = 12,78 * 4,92 * 1000 = 62\,877,6\,m^3$$

: pro 20-letý úhrn srážek

$$OpH = 19,02 * 4,92 * 1000 = 93\,578,4\,m^3$$

: pro 50-letý úhrn srážek

$$OpH = 27,57 * 4,92 * 1000 = 135\,644,4\,m^3$$

: pro 100-letý úhrn srážek

$$OpH = 34,98 * 4,92 * 1000 = 172\,101,6\,m^3$$

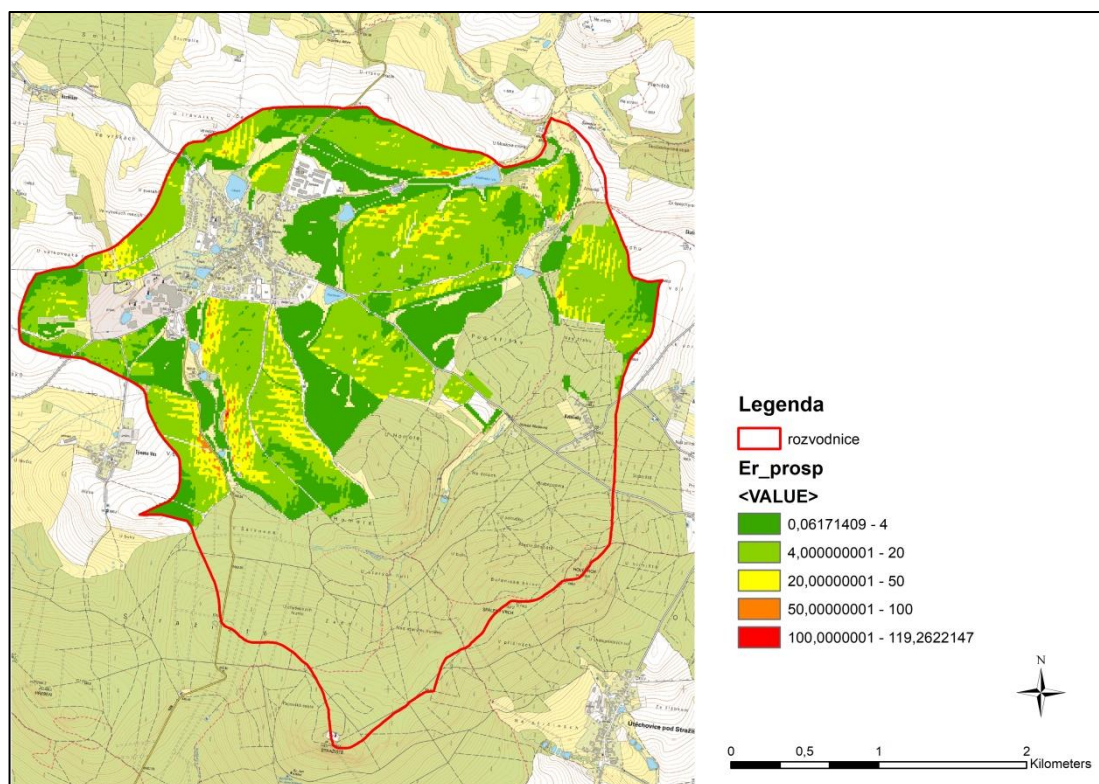
Konečné shrnutí výpočtů se nalézá v tabulce 14.

Tabulka 14: Výsledky výpočtu přímého odtoku – protierozní osevní postup

| | Pravděpodobnost opakování N let | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| | 2 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| Výška přímého odtoku H_0 [mm] | 1,97 | 12,78 | 19,02 | 27,57 | 34,98 |
| Objem přímého odtoku O_{pH} [m³] | 9 692,4 | 62 877,6 | 93 578,4 | 135 644,4 | 172 101,6 |
| Koeficient odtoku [%] | 5,55 | 20,19 | 25,43 | 31,05 | 34,96 |

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet erozní ohroženosti



Obrázek 19: Míra erozní ohroženosti – protierozní osevní postup

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů – geoportal.cuzk.cz

Vyjmutím erozně nebezpečných plodin z osevního postupu se míra erozního ohrožení snížila z 292,44 t. ha⁻¹. rok⁻¹ na 119,26 t. ha⁻¹. rok⁻¹ a průměrný odnos půdních částic činí 9,3 t. ha⁻¹. rok⁻¹. Aplikováním tohoto opatření došlo k zlepšení stavu na PB č. 2, 4, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 27, 38, a 60, že jejich hodnoty spadly pod přípustnou hodnotu G a dále s nimi nebylo počítáno. Celkový stav míry erozního ohrožení znázorňuje obrázek 19.

5.3 Agrotechnické opatření – vrstevnicové obdělávání

Výpočet přímého odtoku metodou CN křivek

Stanovení průměrných čísel odtokových křivek: tabulka 15

Tabulka 15: Průměrná čísla odtokových křivek – vrstevnicové obdělávání

| Využití území | Hydrologické skupiny půd | | | |
|-------------------------------------------|--------------------------|----|-------|----|
| | A | B | C | D |
| Orná půda (úžkořádkové plodiny) | 60 | 72 | 80 | 83 |
| Louky | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Vážený $\bar{\sigma}$ | | | 71,42 | |

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet potenciální retence A:

$$A = 25,4 * \left(\frac{1000}{71,42} - 10 \right) = 101,64 \text{ mm}$$

Výpočet výšky přímého odtoku H_o :

: pro 2-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(35,5 - 0,2 * 101,64)^2}{35,5 + 0,8 * 101,64} = 1,97 \text{ mm}$$

: pro 10-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(63,3 - 0,2 * 101,64)^2}{63,3 + 0,8 * 101,64} = 12,77 \text{ mm}$$

: pro 20-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(74,8 - 0,2 * 101,64)^2}{74,8 + 0,8 * 101,64} = 19,00 \text{ mm}$$

: pro 50-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(88,8 - 0,2 * 101,6)^2}{88,8 + 0,8 * 101,6} = 27,56 \text{ mm}$$

: pro 100-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(99,8 - 0,2 * 101,6)^2}{99,8 + 0,8 * 101,6} = 34,87 \text{ mm}$$

Výpočet objemu přímého odtoku O_{pH} :

: pro 2-letý úhrn srážek

$$OpH = 1,97 * 4,92 * 1000 = 9\,692,4\,m^3$$

: pro 10-letý úhrn srážek

$$OpH = 12,77 * 4,92 * 1000 = 62\,828,4\,m^3$$

: pro 20-letý úhrn srážek

$$OpH = 19,00 * 4,92 * 1000 = 93\,480\,m^3$$

: pro 50-letý úhrn srážek

$$OpH = 27,56 * 4,92 * 1000 = 135\,595,2\,m^3$$

: pro 100-letý úhrn srážek

$$OpH = 34,87 * 4,92 * 1000 = 171\,560,4\,m^3$$

Konečné shrnutí výpočtů se nalézá v tabulce 16.

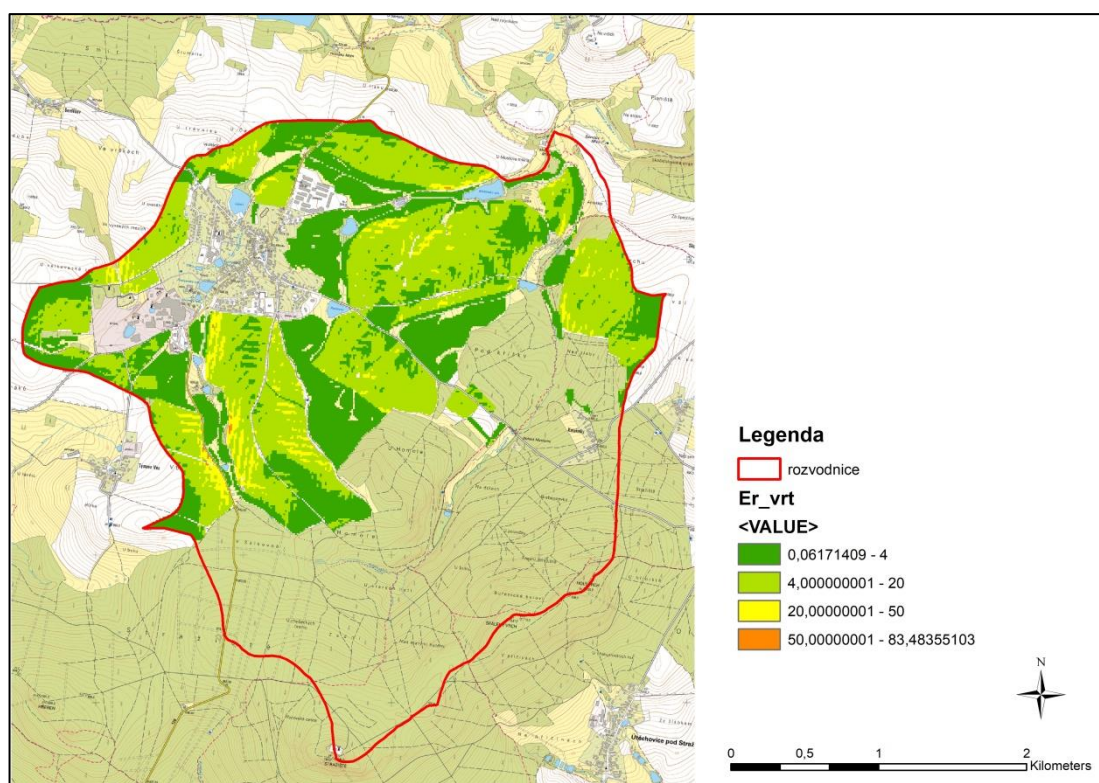
Tabulka 16: Výsledky výpočtu přímého odtoku – vrstevnicové obdělávání

| | Pravděpodobnost opakování N let | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------|--------|-----------|-----------|
| | 2 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| Výška přímého odtoků H_0 [mm] | 1,97 | 12,77 | 19 | 27,56 | 34,87 |
| Objem přímého odtoků O_{pH} [m³] | 9 692,4 | 62 828,4 | 93 480 | 135 595,2 | 171 560,4 |
| Koeficient odtoků [%] | 5,55 | 20,17 | 25,4 | 31,04 | 34,94 |

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet erozní ohroženosti

Při aplikování protierozního osevního postupu spolu s vrstevnicovým obděláváním se míra erozní ohroženosti snížila na maximální hodnotu 83,48 t. ha⁻¹. rok⁻¹ a průměrná hodnota klesla na 6,52 t. ha⁻¹. rok⁻¹. U tohoto opatření nedošlo k takovému zlepšení, takže ani jeden půdní blok z doposud řešených půdních bloků neklesl pod přípustnou hodnotu G. Mapa míry erozního ohrožení při vrstevnicovém obdělávání se nachází na obrázku 20.



Obrázek 20: Míra erozního ohrožení – vrstevnicové obdělávání

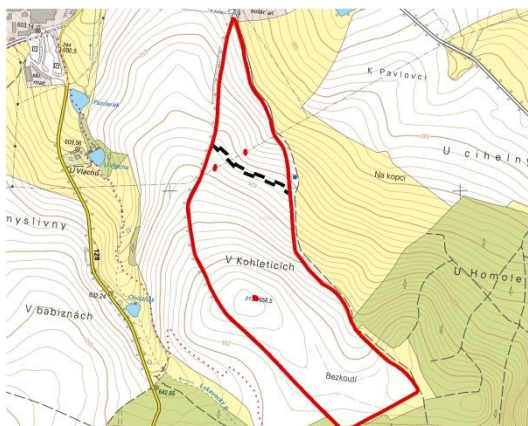
Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

5.4 Technické opatření – protierozní příkop

Návrh kulminačního průtoku Q_{pH}

Návrhový průtok Q_{pH} byl stanoven z 10-leté srážky, jelikož se jedná o zemědělský pozemek v extravilánu. Hodnoty této srážky byly brány ze srážkoměrné stanice v Pelhřimově. Pro výpočet bylo bráno číslo CN křivky 72, jelikož se jedná o ornou půdu a hydrologickou skupinu půd B. Plocha subpovodí byla stanovena na 13,77 ha. Obrázek 22 znázorňuje celý výpočet a stanovuje výsledný kulminační

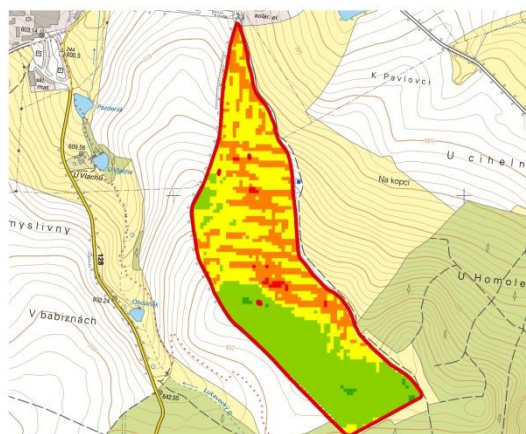
průtok $Q_{PH} = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}$. Výkres příčného profilu se nachází v příloze č. 6. Detailní řešení PB č. 63 se nalézá na obrázku 21.



PB č. 63

Legenda

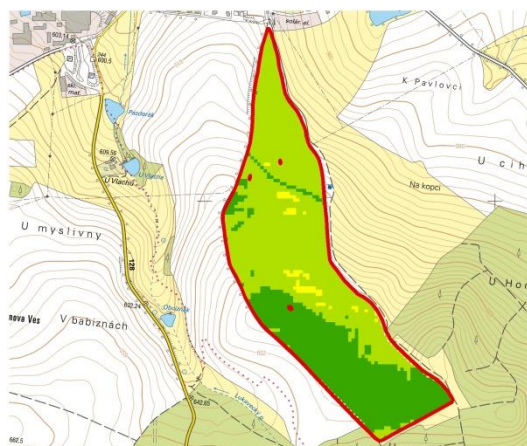
- PB_63_clip
- protierozní příkop



Míra erozního ohrožení na PB č. 63 - současný stav

Legenda

- PB_63_clip
- Clip_eroze**
- <VALUE>**
- 0,06171409 - 4
- 4,000000001 - 20
- 20,000000001 - 50
- 50,000000001 - 100
- 100,000000001 - 296,4456826



Míra erozního ohrožení na PB č. 63 - výsledný stav

Legenda

- PB_63_clip
- Clip_Er_pprik**
- <VALUE>**
- 0 - 4
- 4,000000001 - 20
- 20,000000001 - 50
- 50,000000001 - 83,48355103



Obrázek 21: Detailní řešení PB č. 63

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

Obrázek 22: Výpočet kulminačního průtoku – protierozní příkop

Zdroj: program ERCN

Dimenzování parametrů sběrného příkopu

$$b = 0,3 \text{ m}$$

$$h = 0,6 \text{ m}$$

$$m = 1,5$$

$$I = 0,0009$$

$$n = 0,025$$

$$S = h * (b + m * h) = 0,6 * (0,3 + 1,5 * 0,6) = 0,72 \text{ m}^2$$

$$O = b + 2 * h\sqrt{1 + m^2} = 0,3 + 2 * 0,6\sqrt{1 + 1,5^2} = 2,463 \text{ m}$$

$$R = \frac{S}{O} = \frac{0,72}{2,463} = 0,292$$

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,025} * 0,292^{\frac{1}{6}} = 32,58$$

$$v = C * \sqrt{R * I} = 32,58 * \sqrt{0,292 * 0,0009} = 0,528$$

$$Q = S * v = 0,72 * 0,528 = 0,38 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{pH} < Q$$

$$0,29 < 0,38$$

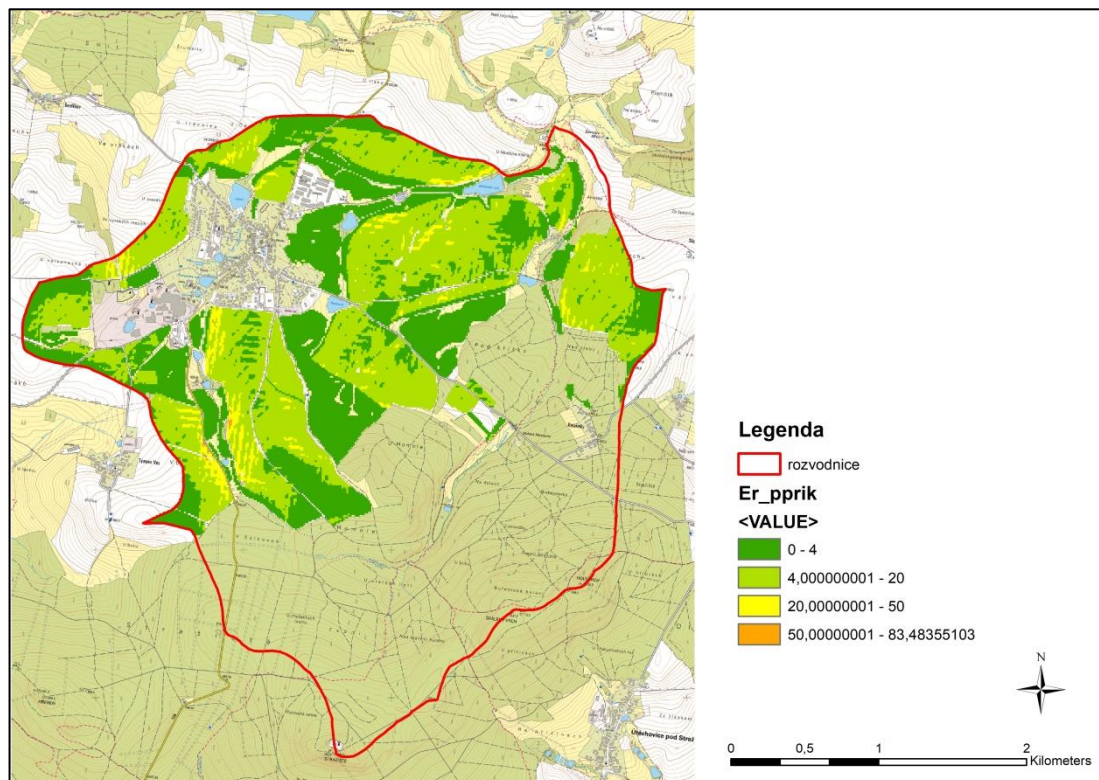
Výše navržené parametry protierozního příkopu jsou schopny pojmout a odvést množství vody z návrhového průtoku.

Výpočet přímého odtoku metodou CN křivek

Při použití protierozního příkopu se odtok vody z půdních bloků nemění a zůstává stejný viz. tabulka 16.

Výpočet erozní ohroženosti

Na obrázku 23 je mapa s mírou erozního ohrožení s maximální ztrátou půdy 83,48 t. ha⁻¹. rok⁻¹, která se nezměnila oproti vrstevnicovému obdělávání. Ale byla změněna průměrná ztráta půdy na 6,32 t. ha⁻¹. rok⁻¹, jelikož na daném PB se zmírnilo ohrožení erozí.



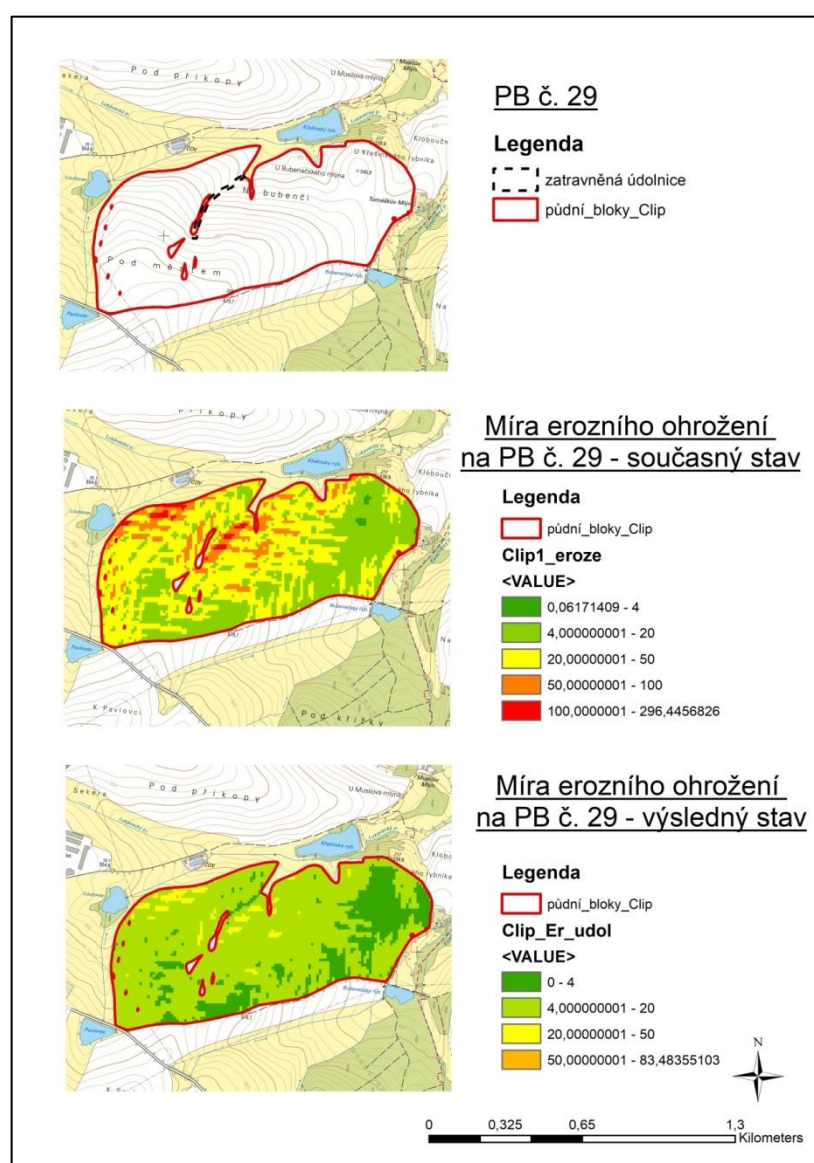
Obrázek 23: Míra erozního ohrožení – protierozní příkop

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

5.5 Technické opatření – zatravnění údolnice

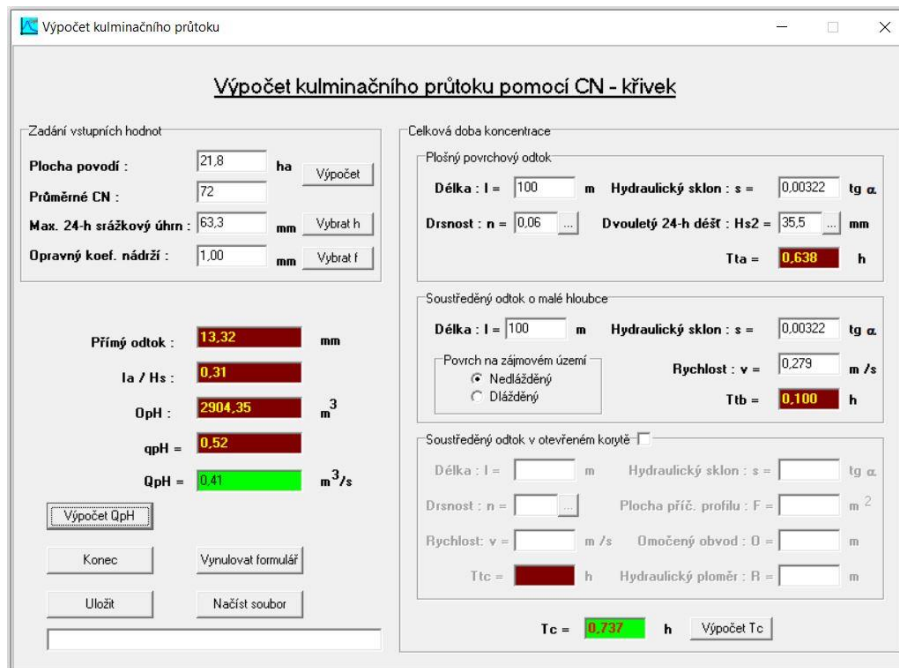
PB č. 29 - Návrh kulminačního průtoku Q_{pH}

Také u tohoto výpočtu byla použita hodnota pro 10-letou srážku ze srážkoměrné stanice v Pelhřimově. Číslo CN křivek bylo vypočítáno na hodnotu 72, jelikož se jedná o ornou půdu a hydrologickou skupinu půd B. Obrázek 25 obsahuje celý výpočet návrhového průtoku na plochu subpovodí, která činí 21,8 ha. Návrhový průtok Q_{pH} , který byl počítán v programu ERCN, byl stanoven na $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$. Výkres příčného profilu se nachází v příloze č. 7. Detailní přehled PB č. 29 se nalází na obrázku 24.



Obrázek 24: Detailní přehled PB č. 29

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz



Obrázek 25: Výpočet kulminační průtoku – zatravněná údolnice PB č. 29

Zdroj: program ERCN

PB č. 29 - Dimenzování parametrů zatravněné údolnice

$$B = 5 \text{ m}$$

$$h = 0,4 \text{ m}$$

$$S = \frac{2}{3} * B * h = \frac{2}{3} * 5 * 0,4 = 1,3 \text{ m}^2$$

$$R = \frac{S}{B} = \frac{1,3}{5} = 0,26 \text{ m}$$

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,025} * 0,26^{\frac{1}{6}} = 31,96$$

$$v = C * \sqrt{R * I} = 31,96 * \sqrt{0,26 * 0,0032} = 0,921$$

$$Q = S * v = 1,3 * 0,921 = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

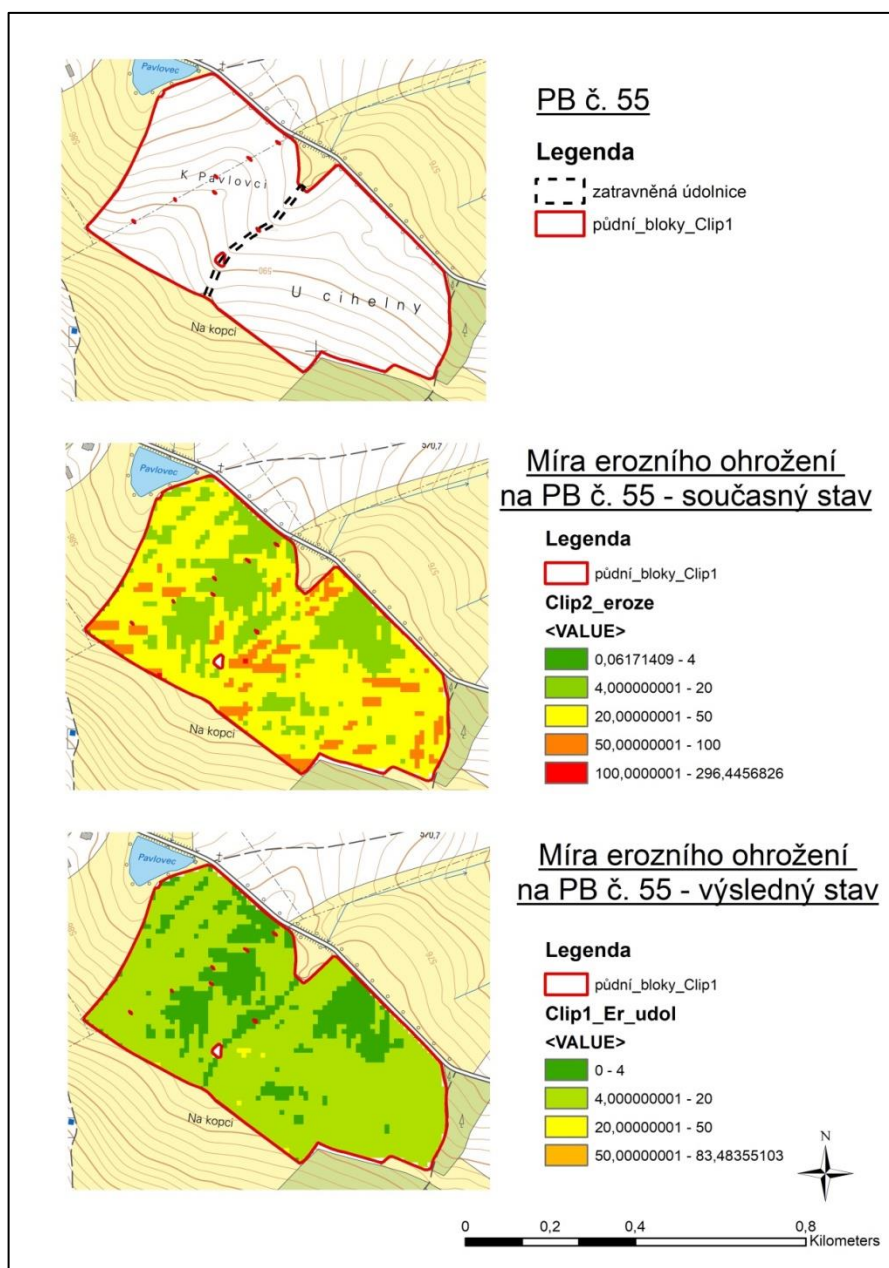
$$Q_{pH} < Q$$

$$0,41 < 1,2$$

Takto navržené parametry zatravněné údolnice jsou schopny pojmout a odvést množství vody z návrhového průtoku.

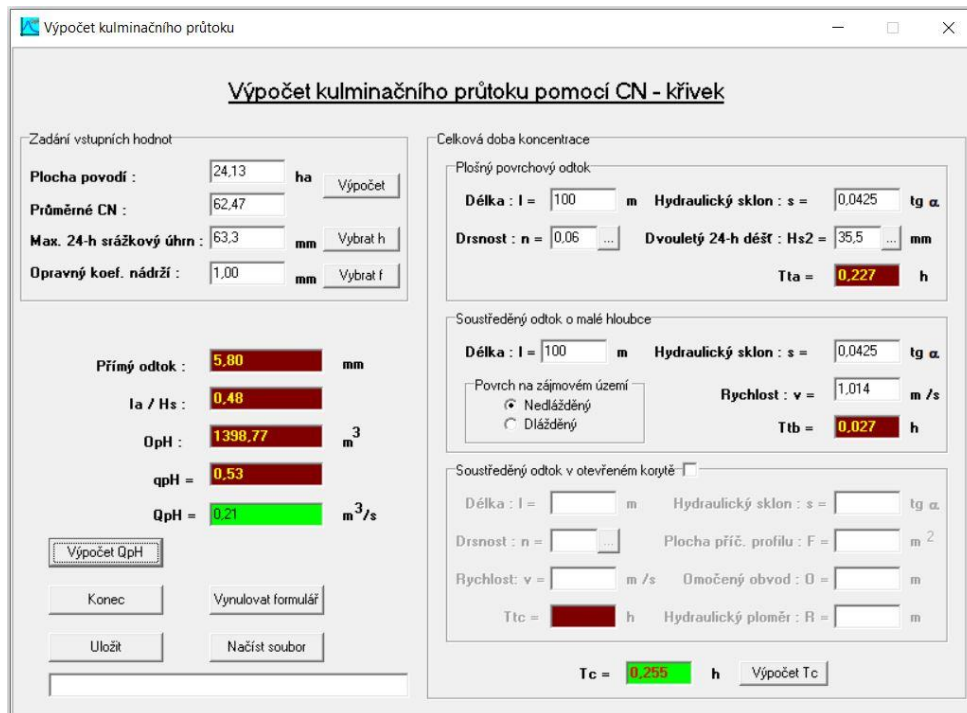
PB č. 55 - Návrh kulminačního průtoku Q_{pH}

Dimenzování zatravněné údolnice bylo vypočítáno na 10-letou srážku ze srážkoměrné stanice Pelhřimov. Hodnoty CN křivek byly stanoveny na 62,47, jelikož se v subpovodí nachází orná půda s hydrologickou skupinou B a C a také TTP s hydrologickou skupinou B. Plocha subpovodí byla stanovena na 24,13 ha. Na obrázku 27 je znázorněn výpočet návrhového průtoku, který činí $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$. Výkres příčného profilu se nachází v příloze č. 7. Detailní přehled PB č. 55 se nachází na obrázku 26.



Obrázek 26: Detailní přehled PB č. 55

Zdroj: : vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz



Obrázek 27: Výpočet kulminačního průtoku – zatravněná údolnice PB č. 55

Zdroj: program ERCN

PB č. 55 - Dimenzování parametrů zatravněné údolnice

$$B = 5 \text{ m}$$

$$h = 0,3 \text{ m}$$

$$S = \frac{2}{3} * B * h = \frac{2}{3} * 5 * 0,3 = 1 \text{ m}^2$$

$$R = \frac{S}{B} = \frac{1,3}{5} = 0,2 \text{ m}$$

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,025} * 0,2^{\frac{1}{6}} = 30,58$$

$$v = C * \sqrt{R * I} = 30,58 * \sqrt{0,2 * 0,00407} = 0,872$$

$$Q = S * v = 1 * 0,872 = 0,872 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{pH} < Q$$

$$0,21 < 0,872$$

Takto navržené parametry zatravněné údolnice jsou schopny pojmout a odvést množství vody z návrhového průtoku.

Výpočet přímého odtoku metodou CN křivek

Stanovení průměrných čísel odtokových křivek: tabulka 17

Tabulka 17: Průměrná čísla odtokových křivek – zatravněné údolnice

| Využití území | Hydrologické skupiny půd | | | |
|--------------------------------------------|--------------------------|----|------|----|
| | A | B | C | D |
| Orná půda (úžkořádkové plodiny) | 60 | 72 | 80 | 83 |
| Louky | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Vážený $\bar{\sigma}$ | | | 71,4 | |

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet potenciální retence A:

$$A = 25,4 * \left(\frac{1000}{71,4} - 10 \right) = 101,74 \text{ mm}$$

Výpočet výšky přímého odtoku H_o :

: pro 2-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(35,5 - 0,2 * 101,74)^2}{35,5 + 0,8 * 101,74} = 1,96 \text{ mm}$$

: pro 10-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(63,3 - 0,2 * 101,74)^2}{63,3 + 0,8 * 101,74} = 12,75 \text{ mm}$$

: pro 20-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(74,8 - 0,2 * 101,74)^2}{74,8 + 0,8 * 101,74} = 18,98 \text{ mm}$$

: pro 50-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(88,8 - 0,2 * 101,6)^2}{88,8 + 0,8 * 101,6} = 27,53 \text{ mm}$$

: pro 100-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(99,8 - 0,2 * 101,6)^2}{99,8 + 0,8 * 101,6} = 34,84 \text{ mm}$$

Výpočet objemu přímého odtoku O_{pH} :

: pro 2-letý úhrn srážek

$$O_{pH} = 1,96 * 4,92 * 1000 = 9\,643,2 \text{ m}^3$$

: pro 10-letý úhrn srážek

$$OpH = 12,75 * 4,92 * 1000 = 62\,730\, m^3$$

: pro 20-letý úhrn srážek

$$OpH = 18,98 * 4,92 * 1000 = 93\,381,6\, m^3$$

: pro 50-letý úhrn srážek

$$OpH = 27,53 * 4,92 * 1000 = 135\,447,6\, m^3$$

: pro 100-letý úhrn srážek

$$OpH = 34,84 * 4,92 * 1000 = 171\,412,8\, m^3$$

Konečné shrnutí výpočtů se nalézá v tabulce

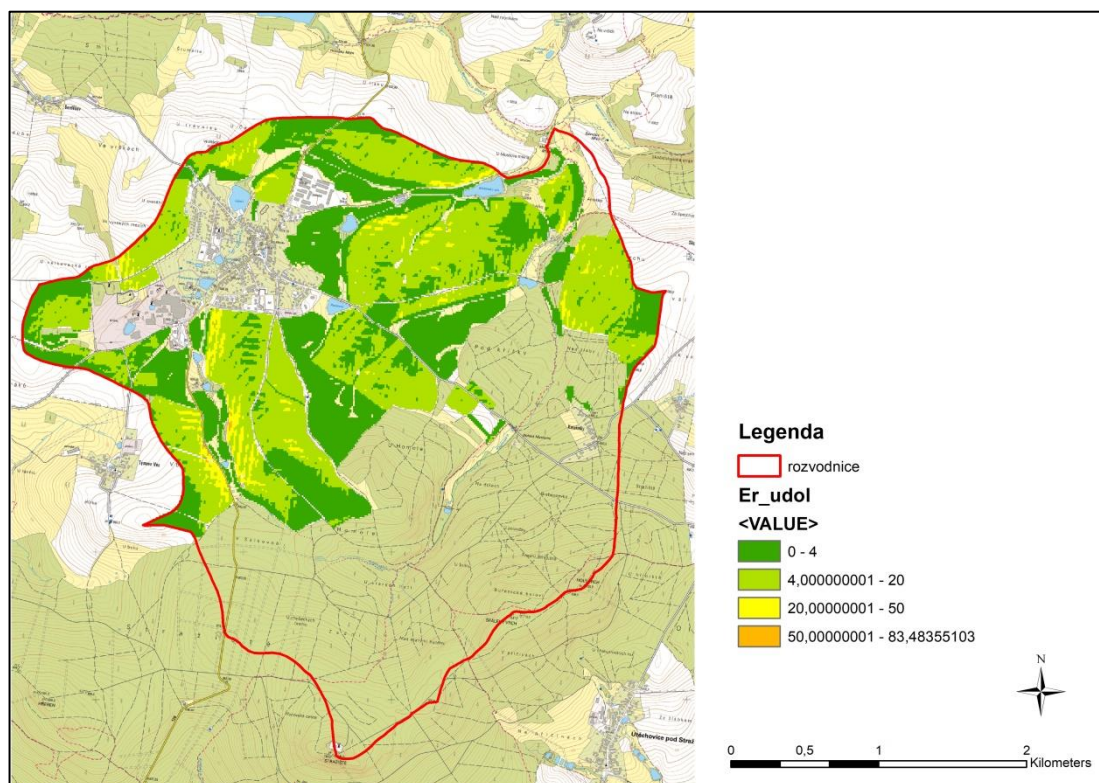
Tabulka 18: Výsledky výpočtu přímého odtoku – zatravněné údolnice

| | Pravděpodobnost opakování N let | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------|----------|-----------|-----------|
| | 2 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| Výška přímého odtoku H_0 [mm] | 1,96 | 12,75 | 18,98 | 27,53 | 34,84 |
| Objem přímého odtoku O_{pH} [m³] | 9 643,2 | 62 730 | 93 381,6 | 135 447,6 | 171 412,8 |
| Koeficient odtoku [%] | 5,52 | 20,14 | 25,37 | 31,00 | 34,91 |

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet erozní ohroženosti

Také u výpočtu se zatravněnými údolnicemi se maximální ztráta půdy nezměnila oproti vrstevnicovému obdělávání, ale průměrná hodnota ztráty klesla na $6,22 \text{ t. ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ – obrázek 28.

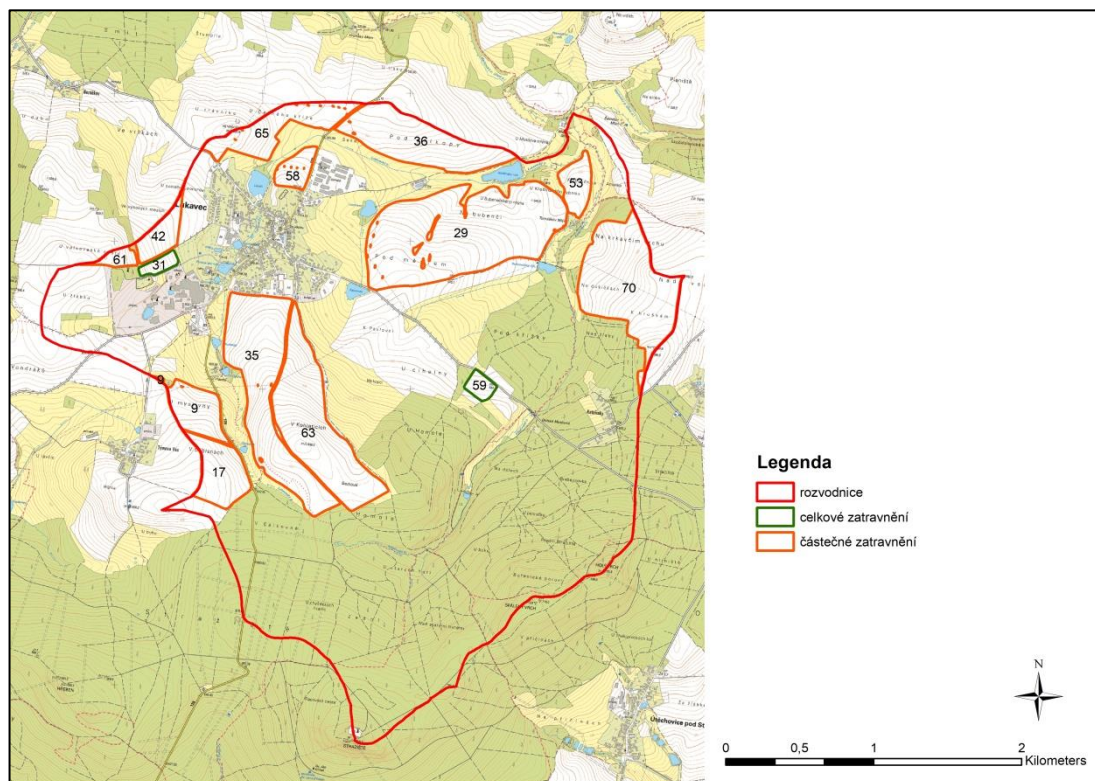


Obrázek 28: Míra erozního ohrožení – zatravnění údolnice

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

5.6 Ochranné zatravnění

Na obrázku 29 je zobrazena mapa s vyznačenými půdními bloky, u kterých došlo k částečnému nebo celkovému zatravnění.



Obrázek 29: Mapa částečně nebo celkově zatravněných PB

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

Výpočet přímého odtoku metodou CN křivek

Stanovení průměrných čísel odtokových křivek: tabulka 17

Tabulka 19: Průměrná čísla odtokových křivek – ochranné zatravnění

| Využití území | Hydrologické skupiny půd | | | |
|--------------------------------------------|--------------------------|----|----|-------|
| | A | B | C | D |
| Orná půda (úzkorádkové plodiny) | 60 | 72 | 80 | 83 |
| Louky | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Vážený $\bar{\sigma}$ | | | | 68,88 |

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet potenciální retence A:

$$A = 25,4 * \left(\frac{1000}{68,88} - 10 \right) = 114,76 \text{ mm}$$

Výpočet výšky přímého odtoku H_o :

: pro 2-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(35,5 - 0,2 * 114,76)^2}{35,5 + 0,8 * 114,76} = 1,23 \text{ mm}$$

: pro 10-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(63,3 - 0,2 * 114,76)^2}{63,3 + 0,8 * 114,76} = 10,5 \text{ mm}$$

: pro 20-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(74,8 - 0,2 * 114,76)^2}{74,8 + 0,8 * 114,76} = 16,13 \text{ mm}$$

: pro 50-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(88,8 - 0,2 * 114,76)^2}{88,8 + 0,8 * 114,76} = 24 \text{ mm}$$

: pro 100-letý úhrn srážek

$$H_o = \frac{(99,8 - 0,2 * 114,76)^2}{99,8 + 0,8 * 114,76} = 30,82 \text{ mm}$$

Výpočet objemu přímého odtoku O_{pH} :

: pro 2-letý úhrn srážek

$$O_{pH} = 1,23 * 4,92 * 1000 = 5\,682,6 \text{ m}^3$$

: pro 10-letý úhrn srážek

$$O_{pH} = 10,5 * 4,92 * 1000 = 48\,510 \text{ m}^3$$

: pro 20-letý úhrn srážek

$$O_{pH} = 16,13 * 4,92 * 1000 = 74\,520,6 \text{ m}^3$$

: pro 50-letý úhrn srážek

$$O_{pH} = 24 * 4,92 * 1000 = 110\,880 \text{ m}^3$$

: pro 100-letý úhrn srážek

$$O_{pH} = 30,82 * 4,92 * 1000 = 142\,388,4 \text{ m}^3$$

Konečné shrnutí výpočtů se nalézá v tabulce 18.

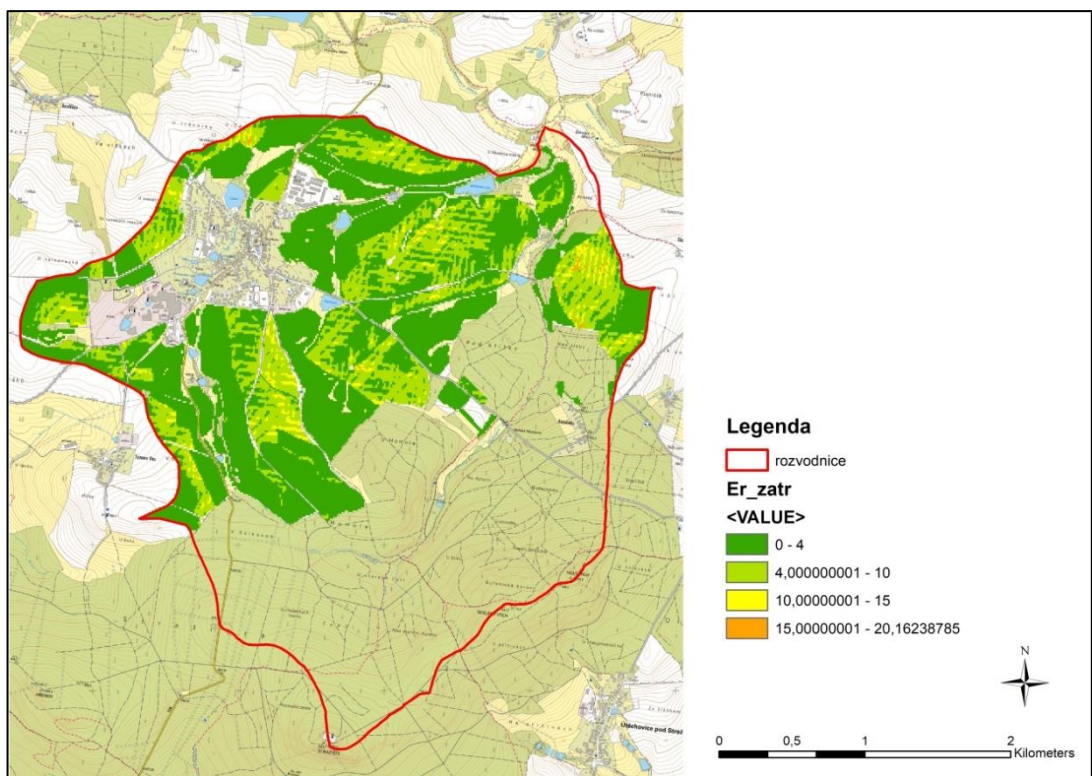
Tabulka 20: Výsledky výpočtu přímého odtoku – ochranné zatravnění

| | Pravděpodobnost opakování N let | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------|----------|---------|-----------|
| | 2 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| Výška přímého odtoku H_0 [mm] | 1,23 | 10,5 | 16,13 | 24 | 30,82 |
| Objem přímého odtoku O_{pH} [m³] | 5 682,6 | 48 510 | 74 520,6 | 110 880 | 142 388,4 |
| Koeficient odtoku [%] | 3,46 | 16,59 | 21,56 | 27,03 | 30,88 |

Zdroj: vlastní zpracování

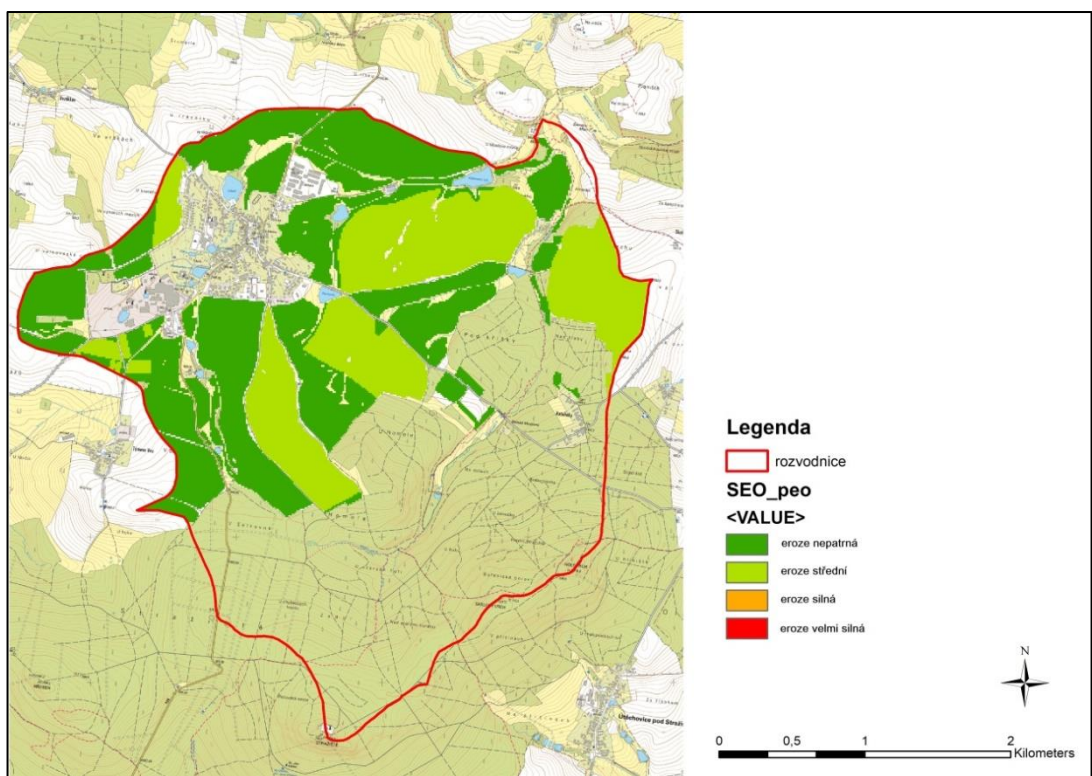
Výpočet erozní ohroženosti

Po aplikování ochranného zatravnění se snížila maximální ztráta půdy na 20,16 t. ha⁻¹. rok⁻¹ a průměrná hodnota ztráty půdy se snížila na 2,97 t. ha⁻¹. rok⁻¹. Na obrázku 30 je mapa míry erozního ohrožení při ochranném zatravnění. Obrázek 31 znázorňuje stupně erozní ohroženosti ve výsledném stavu. Převážná většina PB spadá do kategorie eroze nepatrná, tedy splňuje přípustnou hodnotu G, PB č. 1, 6, 8, 12, 13, 21, 29, 46, 55 a 70 spadají do kategorie eroze střední ($G = 4 - 8$ t. ha⁻¹. rok⁻¹).



Obrázek 30: Míra erozního ohrožení - ochranná zatravnění

Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz



Obrázek 31: Stupně erozní ohroženosti – výsledný stav

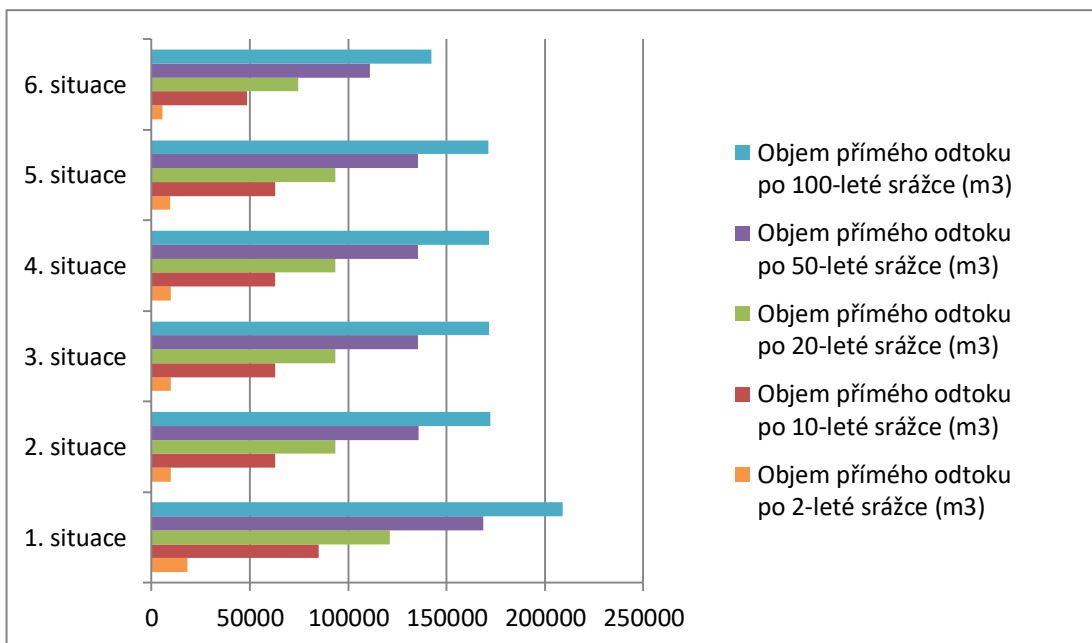
Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

5.7 Analýza navržených situací podle odtoku vody a erozního ohrožení

V této kapitole je celkové porovnání všech navržených situací podle odtoku vody a erozní ohroženosti. Modelové situace byly navrženy jako agrotechnická opatření (protierozní osevní postup – 2. situace, vrstevnicové obdělávání – 3. situace), technická opatření (protierozní příkop – 4. situace, zatravněná údolnice – 5. situace) a ochranné zatravnění (6. situace). Při výpočtu 1. situace byl použit současný stav v území.

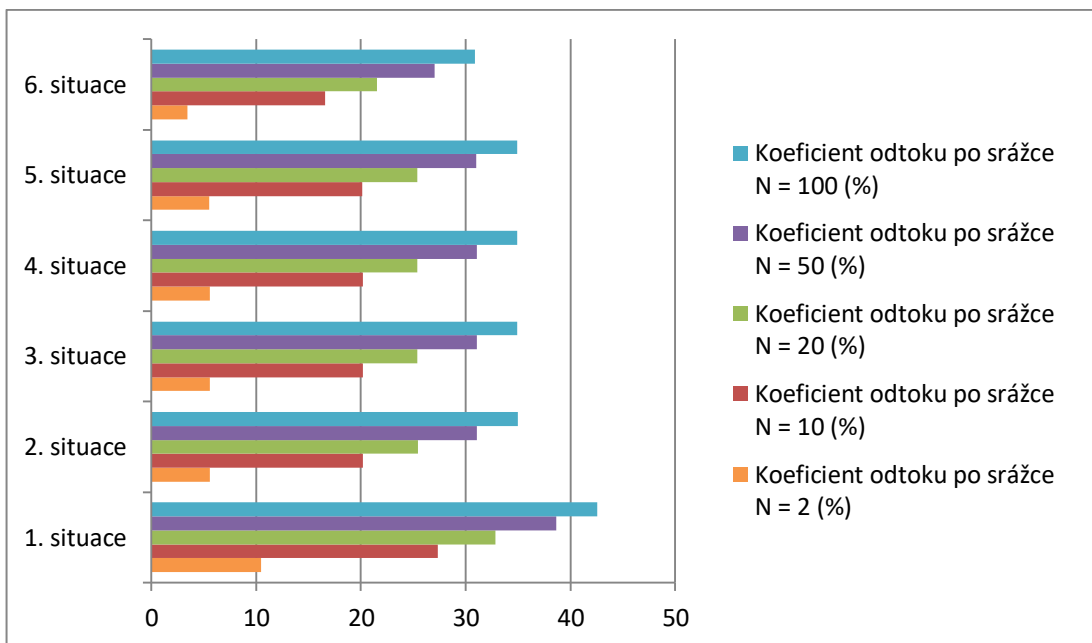
Po vypočítání CN křivek a výpočtu objemu přímého odtoku v současném stavu, se dále vypočítaly tyto hodnoty pro další modelové situace. Ve výsledné situaci byl určen objem přímého odtoku při 100-leté srážce o 31,8% méně, při 50-leté srážce o 34,3% méně, při 20-leté srážce o 38,4% méně, při 10-leté srážce o 43% méně a při 2-leté srážce o 68,8% méně oproti současnému stavu. Porovnání objemů přímých odtoků se nachází na obrázku 32. Rozdíl v koeficientu odtoku mezi současným stavem a druhou situací je při srážce s opakováním 2 let o 4,9 %, s opakováním 10 let o 7,16 %, s opakováním 20 let o 7,44 %, s opakováním 50 let o 7,59 % a s opakováním 100 let o 7,59 %. Rozdíly v koeficientech odtoků mezi druhou, třetí, čtvrtou a pátou situací jsou nepatrné. Rozdíl v koeficientu odtoku mezi pátou a šestou situací je při srážce s opakováním 2 let o 2,06 %, s opakováním 10 let o 3,55 %, s opakováním 20 let o 3,81 %, s opakováním 50 let o 9,97 % a s opakováním 100 let o 4,03 %. Grafické porovnání znázorňuje obrázek 33.

Při současném stavu bylo zjištěno, že 45,7% PB splňuje hranici přípustné hodnoty $G 4 \text{ t. ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Po použití všech modelových situací splňuje 85% PB přípustnou hranici a zbylých 15% mají hodnotu do $10 \text{ t. ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Na obrázku 34 je zobrazeno porovnání maximální ztrát půdy a průměrných hodnot ztráty půdy v modelových situacích.



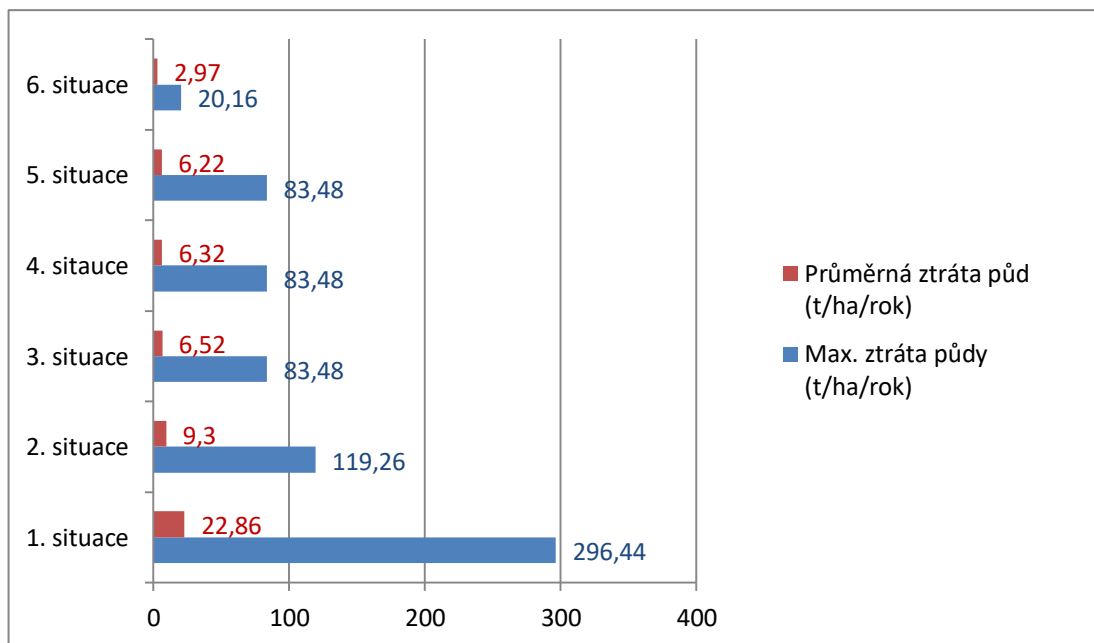
Obrázek 32: Porovnání objemů přímých odtoků navržených situací

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 33: Porovnání koeficientů odtoků v návrhových situacích

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 34: Porovnání ztráty půdy vodní erozí při navržených situacích

Zdroj: vlastní zpracování

6 Diskuze

Jako modelové situace pro tuto diplomovou práci byla vybrána protierozní opatření agrotechnického a technického charakteru. Jako první byl vypočítán současný stav z pohledu přímého odtoku a erozní ohroženosti. Při srážce s opakováním 2 let odteče z půdních bloků 10,45 % vody, s opakováním 10 let 27,35 % vody, s opakováním 20 let 32,87 % vody, s opakováním 50 let 38,64 % vody a s opakováním 100 let 42,55 % vody. Z pohledu erozní ohroženosti vyhovuje hranici 4 t. ha⁻¹. rok⁻¹ 45,7 % půdních bloků, 4,2 % půdních bloků spadá do kategorie eroze střední, 1,4 % půdních bloků spadá do kategorie eroze silná, 48,7 % půdních bloků spadá do kategorie eroze velmi silná.

Snížení míry erozního ohrožení pod přípustnou hranici a také snížení odtoku vody jen za pomoci protierozního osevního postupu v praxi, dokazuje technická zpráva (HRÁČEK, GOLDMAN a VYSOUDIL, 2017). V jejich práci byl faktor C upraven na tři různé hodnoty podle složení osevního postupu (0,058, 0,101 a 0,151). Po použití těchto změn, klesly průměrné ztráty půd u půdních bloků pod hranici 4 t. ha⁻¹. rok⁻¹. V původním stavu nevyhovovalo 27 % půdních bloků. Odtok vody zde byl snížen pomocí snížení hodnot CN křivek – úprava osevního postupu (střídání úzkořádkových plodin a víceletých píceň).

U vrstevnicového obdělávání Sanetrník a Filip (1991) tvrdí, že má toto opatření velký význam na pozemky s menšími sklony (cca do 10 %), projevuje se to především v období hrubé brázdy (ochrana proti erozi z tajícího sněhu). U větších sklonů dochází k problémům s aplikováním vrstevnicové orby. Jinak toto opatření spočívá v respektování morfologie terénu a obdělávání pozemků rovnoběžně s vrstevnicemi. Nejsou tak vytvářeny preferenční cesty pro povrchový odtok během srážky jako při obdělávání po spádnici a je podpořena infiltrace vody.

Řeháček (2014) ve své práci doporučuje navrhovat protierozní sběrný příkop v rámci ochrany zemědělského pozemku s cílem zkrátit volnou délku povrchového odtoku tak, aby nedocházelo k překročení přípustné ztráty půdy. Cihlář (2018) popisuje protierozní příkop jako menší umělé otevřené koryto, sloužící dočasně k zadržení i odvádění povrchové vody i smyté půdy. Základním cílem návrhu a realizace protierozních příkopů je vyřešit neškodné odvedení vody při ochraně intravilánů, ochranných pásem či jiných významných území a objektů a

zamezit přítoku cizí vody na pozemek. Obě tato tvrzení potvrzují změnu na PB č. 63, na kterém se zmírnila průměrná ztráta půdy o 25,68 t. ha⁻¹. rok⁻¹.

Zatravněné údolnice podle Janečka a kolektivu (2012) jsou schopné bezpečně, bez projevu eroze odvést povrchový odtok, ke kterému dochází v důsledku morfologické rozmanitosti krajiny, v době přívalových dešťů nebo jarního tání, kdy soustředěně po povrchu odtékající voda v těchto místech zpravidla způsobuje erozní rýhy. Optimální ochranou těchto exponovaných míst je vegetační kryt, nejlépe zatravnění. Toto tvrzení potvrzuje práce Rožnovského (2014), ve které se hodnota G snížila o cca 20 %.

Dle Novotného a kolektivu (2017) ochranné zatravnění je vhodné navrhovat na silně erozně ohrožených plochách, pásech podél břehů vodních toků a nádrží, drahách soustředěného povrchového odtoku, profilech průlehů, mělkých půdách apod. Ochranné travní porosty zvyšují drsnost povrchu, přispívají k zachycení smyté zeminy a zpomalení rychlosti povrchového odtoku, rovněž mohou mít funkci sedimentačních a zasakovacích pásů umístěných přímo na půdních blocích nebo jejich dílech. Rožnovský (2014) tento fakt potvrzuje svými výpočty, ve kterých došlo ke snížení hodnoty G až o 97,6 %. V této práci došlo ke snížení hodnoty G o 93,2 %.

7 Závěr

V diplomové práci byl zhodnocen vliv různých na sebe navazujících variant využití zemědělských půdních bloků (při současném použití některých protierozních opatření) na velikost erozních a odtokových charakteristik u vybraného povodí Lukaveckého potoka v okrese Pelhřimov. Modelové situace byly posuzovány podle přímého odtoku vody a podle erozní ohroženosti. Při analýze se vycházelo ze současného stavu, který byl označen jako první situace. Následně se změnil osevní postup vyloučením erozně nebezpečných plodin (druhá situace), bylo upraveno hospodaření na půdních blocích – vrstevnicové obdělávání (třetí situace), na PB č. 63 byl navrhnout protierozní příkop (čtvrtá situace), na PB č. 29 a 55 byly navrhnuty zatravněné údolnice (pátá situace) a poslední šestá situace byla navrhnutá jako ochranné zatravnění.

Výpočet výšky a objemu přímého odtoku na půdních blocích byl proveden pomocí metody CN křivek pro srážky s opakováním 2, 10, 20, 50 a 100 let. Následně byl vypočítán i koeficient odtoku, který vyjadřuje poměr mezi výškou přímého odtoku a návrhovou srážkou. Rozdíl mezi současným stavem a výsledným stavem v koeficientu odtoku byl při 2 leté srážce 6,99 %, při 10 leté srážce 10,76 %, při 20 leté srážce 11,31 %, při 50 leté srážce 11,61 % a při 100 leté srážce 11,67 %. Rozdíl mezi současným stavem a výsledným stavem u objemů přímých odtoků při srážce s opakováním 2 let byl o 12 570,6 m³, s opakováním 10 let byl o 36 655,2 m³, s opakováním 20 let byl o 46 462,2 m³, s opakováním 50 let byl o 57 925,2 m³ a s opakováním 100 let byl o 66 514,8 m³.

Výpočty USLE ve všech modelových situacích byly provedeny pomocí programu ArcGIS, ve kterém byly vytvořeny rastry vstupních faktorů rovnice i samotná rovnice. Z výsledků je zřejmé, že už jen vynecháním erozně nebezpečných plodin klesla maximální ztráta půdy o 117,18 t. ha⁻¹. rok⁻¹ a průměrná ztráta půdy o 13,56 t. ha⁻¹. rok⁻¹. Další výrazný pokles proběhl při ochranném zatravnění. Oproti páté situaci, ve které byly započítané předchozí situace, klesla maximální ztráta půdy o 63,32 t. ha⁻¹. rok⁻¹ a průměrná ztráta půdy klesla o 3,25 t. ha⁻¹. rok⁻¹.

Závěrem lze říci, že aplikování protierozních opatření by se mělo spíše řídit ekologickým a ne ekonomickým hlediskem, jelikož se jedná o ochranu přírody a krajiny pro budoucí generace. Ale z pohledu vlastníků a uživatelů to znamená

omezování a snížení finančních výnosů, na kterých jsou závislí. Je důležité najít mezi těmito skutečnostmi rovnováhu.

8 Přehled použité literatury a internetových zdrojů

Literatura

Atlas podnebí Československé republiky. Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1958.

BEVEN, Keith. *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. 2. vyd. Chichester: WileyBlackwell, 488 s. ISBN 978-0-470-71459-1.

BLANCO, Canqui a Rattan LAL, eds. *Principes of Soil Conservation and Management*. New York: Springer, 2008, 601 s. ISBN 978-1-4020-8709-7

BRUTSAERT, Wilfried. *Hydrology: An introduction*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005, 605 s. ISBN -13 978-0-521-82479-8.

CABLÍK, Jan a Karel JÚVA. *Protierozní ochrana*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1963, 324 s.

CIHLÁŘ, Jan. *Studie odtokových poměrů včetně návrhů možných protipovodňových opatření v povodí Vodního toku Jiher*. Praha, 2018, 44 s.

DAŇHELKA, Jan. *Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí*. Praha: ČHMÚ, 2000, 104 s. ISBN 978-80-86690-48-3.

DAVIE, Tim. *Fundamentals of hydrology. Seconf edition*. New York: Routledge, 2008, 200 s. ISBN 0-203-93366-4.

DUB, Oto, Jaromír NĚMEC a kolektiv. *Hydrologie*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1969, 378 s.

GERRITS, Anna Maria Josephina. *The role of interception in the hydrological cycle*. Delft: VSSD, 2010, 126 s. ISBN 978-90-6562-248-8.

GREŠOVÁ, Lenka, Elena KONDRLOVÁ, Jozef STRED'ANSKÝ, Tomáš URBAN, Anna STRED'ANSKÁ 2013. Comparison of rill erosion modeling according USLE equation and Mitašová methodology and parameters in GIS using various crop management. *ACTA Sci. Pol., Formation Circumiectus* 12 (3), 11 – 19 s. ISSN 1644-0765.

HOLÝ, Miloš. *Protierozní ochrana*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1978, 283 s.

HRÁČEK, Daniel, Ondřej GOLDMAN, Jiří VYSOUDIL. *Základní část dokumentace PSZ v k. ú. Zahnašovice – technická zpráva*. 2017, 96 s.

HUBAČÍKOVÁ, Věra. *Hydrologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009, 43 s. ISBN 978-80-7157-638-9.

JANEČEK, Miloslav a kolektiv. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: Powerprint, 2012, 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.

JANEČEK, Miloslav a kolektiv. *Základy erodologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008, 167 s. ISBN 978-80-213-1842-7.

KRAVČÍK, Michal, Jan POKORNÝ, Juraj KOHUTIAR, Martin KOVÁČ, Eugen TÓTH. *Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm*. Žilina: Krupa Print, 2007, 94 s.

KREŠL, Jiří. *Hydrologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2001, 128 s. ISBN 80-7157-513-5.

KVÍTEK, Tomáš, Jiří GEREGEL, Pavel ONDR, Karolína ZÁMIŠOVÁ. *Zemědělská meliorace*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2006, 165 s. ISBN 80-7040-858-8.

KVÍTEK, Tomáš 2015. Povodně, sucho, eroze, jakost povrchové a podzemní vody, hladiny podzemních vod a společný ukazatel – malá retence vody v krajině. *Pozemkové úpravy* 23(4), 3 – 5s. ISSN 1214-5815.

KUTÍLEK, Miroslav, Václav KURÁŽ, Milena CÍSLEROVÁ. *Hydropedologie 10*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2000, 176 s.

LIM, Kyung Jae, Bernard A. ENGEL, Suresh MUTHUKRISHAN a Jon HARBOR, 2006. Effects of initial abstraction and urbanization on estimated runoff using CN technology. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 42 (6), 629 – 643 s. ISSN 1752-1688.

- MATOUŠEK, Václav. *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2010, 103 s. ISBN 978-80-87402-08-5.
- MORGAN, Royston Philip Charles. *Soil erosion and conservation*. Malden: Blackwell, 2005, 304 s. ISBN 1-4051-1781-8.
- NĚMEC, Jan a HLADNÝ, Josef eds. *Voda v České republice*. Praha: Consult, 2006, 253 s. ISBN 80-903482-1-1
- NĚMEC, Jan. *Hydrologie*. Prah: Státní zemědělské nakladatelství, 1965, 237 s.
- NOVOTNÝ, Ivan a kolektiv. *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 2017, 86 s. ISBN 978-80-7434-362-9.
- PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, Renata a Jindřich FRAJER. *Základy hydrologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Učební text, 2013, 131 s. ISBN 978-80-244-3843-6.
- PENKA, Miroslav. *Transpirace a spotřeba vody rostlinami*. Praha: Academia, 1985, 256 s.
- PODHRÁZSKÁ, Jana a Jana DUFKOVÁ. *Protierozní ochrana půdy*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2005, 99 s. ISBN 80-7157-856-8.
- PONCE a HAWKÍNS 1996. Runoff Curve Number: Has it reached maturity?. *Journal of Hydrologic Engineering* 1 (1), 11 -19 s. ISSN
- QUITT, Evžen. *Klimatické oblasti ČSR*. Brno: Geografický ústav ČSAV, 1971.
- ROŽNOVSKÝ, Jaroslav. *Extrémy oběhu vody v krajině: sborník abstraktů a CD s příspěvky z mezinárodní konference Mikulov 8. 4. – 9. 4. 2014*. Praha: Česká bioklimatická společnost, 2014, 55 s. ISBN 978-80-87577-30-1.
- ŘEHÁČEK, David ed. *Navrhování technických protierozních opatření – Metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2014, 100 s. ISBN 978-80-87361-29-0.

STARÝ, Miloš. *Hydrologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Učební text, 2005, 213 s.

TUČEK, Ján. *Geografické informační systémy*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 1998, 424 s. ISBN 80-7226-091-X.

SANETRŇÍK, Jan a Jiří FILIP. *Meliorace*. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1991, 177 s.

ŠILAR, Jan. *Hydrologie v životním prostředí*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 1996, 136 s. ISBN 80-7078-361-3.

UNUCKA, Jan, 2007. Modelování vlivu lesa na srážkoodtokové vztahy s pomocí GIS. *Vodní hospodářství* 58(7), 225 – 231 s. ISSN 1211-0760.

VÚMOP. *Protierozní ochrana: nové technologie v ochraně půdy před vodní erozí*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 1995, 52 s.

Internetové zdroje

BUMERL, Milan. *Hydrologie* [online]. © 2003 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: http://www.sos-veseli.cz/download/hydrologie_ucebni%20text.pdf.

Nahlížení do katastru nemovitostí [online]. © 2004 - 2019 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://nahliznidokn.cuzk.cz/>.

HONSOVÁ, Dagmar. Evapotranspirace. *Příroda.cz* [online]. 13. 06.2007 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=922>.

Odtokový proces. The COMET® Program [online]. © 2010 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff_cz/print.htm.

PROCHÁZKOVÁ, Eva a Dominika KOBZOVÁ. *Problematika eroze* [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: http://www.czba.cz/files/ceska-biopllynova-asociace/uploads/files/21_VPBPS2011_prochazkova.pdf.

Použité zkratky

BPEJ – bonitovaná půdně ekologická jednotka

CN – Runoff curve number (číslo odtokových křivek)

DMT – digitální model terénu

HPJ – hlavní půdní jednotka

IPS – index předchozích srážek

LPIS – Veřejný registr půdy

PB – půdní blok

TTP – trvalý travní porost

USLE – Universal soil loss equation (Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí)

Seznam tabulek

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabulka 1: Rozdělení zásob vody na Zemi | 10 |
| Tabulka 2: Hodnoty intercepce jednotlivých dřevin..... | 16 |
| Tabulka 3: Hydrologické skupiny půd..... | 27 |
| Tabulka 4: Stupně erozní ohroženosti..... | 29 |
| Tabulka 5: Klimatické charakteristiky mírně teplé oblasti MT4..... | 31 |
| Tabulka 6: Průměrné roční rozdělení srážek | 32 |
| Tabulka 7: Průměrné roční rozdělení teplot..... | 32 |
| Tabulka 8: Struktura půdního fondu v povodí Lukaveckého potoka | 36 |
| Tabulka 9: Hodnoty ze srážkoměrné stanice Pelhřimov..... | 42 |
| Tabulka 10: Přiřazení hodnot faktoru P k půdním blokům..... | 47 |
| Tabulka 11: Průměrná čísla odtokových křivek – současný stav..... | 49 |
| Tabulka 12: Výsledky výpočtu přímého odtoku – současný stav | 50 |
| Tabulka 13: Průměrná čísla odtokových křivek – protierozní osevní postup | 52 |
| Tabulka 14: Výsledky výpočtu přímého odtoku – protierozní osevní postup | 53 |
| Tabulka 15: Průměrná čísla odtokových křivek – vrstevnicové obdělávání..... | 55 |
| Tabulka 16: Výsledky výpočtu přímého odtoku – vrstevnicové obdělávání | 56 |
| Tabulka 17: Průměrná čísla odtokových křivek – zatravněné údolnice | 65 |
| Tabulka 18: Výsledky výpočtu přímého odtoku – zatravněné údolnice..... | 66 |
| Tabulka 19: Průměrná čísla odtokových křivek – ochranné zatravnění | 68 |
| Tabulka 20: Výsledky výpočtu přímého odtoku – ochranné zatravnění | 70 |

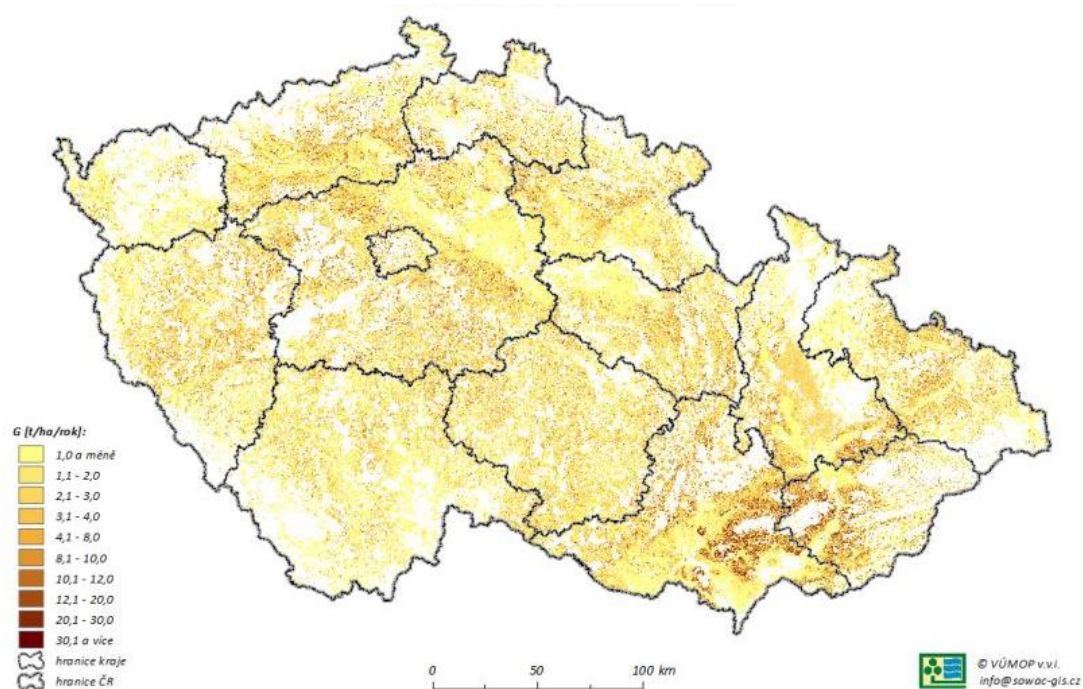
Seznam obrázků

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 1: Schéma oběhu vody | 12 |
| Obrázek 2: Schéma odtokového procesu uzavřeného povodí..... | 13 |
| Obrázek 3: Orientační mapa..... | 30 |
| Obrázek 4: Mapa klimatických oblastí České republiky | 31 |
| Obrázek 5: Soutok Lukaveckého potoka s Martinickým (vlevo) a soutok Kateřinského potoka a Lukaveckého potoka (vpravo) | 33 |
| Obrázek 6: Mapa ochranných pásem a záplavového území pro Q100..... | 33 |
| Obrázek 7: Mapa hydrologických poměrů v povodí | 34 |
| Obrázek 8: Mapa geologických poměrů | 35 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 9: Struktura půdního fondu | 37 |
| Obrázek 10: Graf struktury půdního fondu | 37 |
| Obrázek 11: Míra erozního ohrožení - současný stav..... | 38 |
| Obrázek 12: Erozní událost po přívalovém dešti..... | 39 |
| Obrázek 13: Dráhy soustředěného odtoku a kritické body v povodí..... | 39 |
| Obrázek 14: Mapa hydrologických skupin půd..... | 40 |
| Obrázek 15: Mapa půdních bloků v povodí..... | 41 |
| Obrázek 16: Klasický osevní postup pro bramborářskou oblast | 45 |
| Obrázek 17: Protierozní osevní postup | 46 |
| Obrázek 18: Stupně erozní ohroženosti - současný stav..... | 51 |
| Obrázek 19: Míra erozní ohroženosti – protierozní osevní postup..... | 54 |
| Obrázek 20: Míra erozního ohrožení – vrstevnicové obdělávání..... | 57 |
| Obrázek 21: Detailní řešení PB č. 63..... | 58 |
| Obrázek 22: Výpočet kulminačního průtoku – protierozní příkop..... | 59 |
| Obrázek 23: Míra erozního ohrožení – protierozní příkop | 60 |
| Obrázek 24: Detailní přehled PB č. 29 | 61 |
| Obrázek 25: Výpočet kulminačního průtoku – zatravněná údolnice PB č. 29 | 62 |
| Obrázek 26: Detailní přehled PB č. 55 | 63 |
| Obrázek 27: Výpočet kulminačního průtoku – zatravněná údolnice PB č. 55 | 64 |
| Obrázek 28: Míra erozního ohrožení – zatravnění údolnice | 67 |
| Obrázek 29: Mapa částečně nebo celkově zatravněných PB | 68 |
| Obrázek 30: Míra erozního ohrožení - ochranná zatravnění..... | 71 |
| Obrázek 31: Stupně erozní ohroženosti – výsledný stav | 71 |
| Obrázek 32: Porovnání objemů přímých odtoků navržených situací..... | 73 |
| Obrázek 33: Porovnání koeficientů odtoků v návrhových situacích | 73 |
| Obrázek 34: Porovnání ztráty půdy vodní erozí při navržených situacích | 74 |

Seznam příloh

Příloha č. 1: Potencionální ohrožení zemědělské půdy vodní erozí – vyjádřena dlouhodobým průměrným smyvem půdy



Zdroj: http://www.czba.cz/files/ceska-biopllynova-asociace/uploads/files/21_VPBPS2011_prochazkova.pdf [cit. 2019-03-02]

Příloha č. 2: Přehled BPEJ v povodí Lukaveckého potoka

| Kód BPEJ | Sklon | Expozice | Skeletovitost | Hloubka půdy | Hydrologická skupina půd |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
| 7.29.01 | Rovina 0 - 3 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 7.29.11 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 7.29.14 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Všesměrná | Středně skřetovitá (25 - 50 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 7.29.41 | Střední sklon 7 - 12 ° | Jih (jihozápad až jihovýchod) | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 7.32.11 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | A |
| 7.32.14 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Všesměrná | Středně skřetovitá (25 - 50 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | A |
| 7.50.01 | Rovina 0 - 3 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | C |
| 7.50.11 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | C |

| | | | | | |
|----------------|---------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|---|
| 7.50.14 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Všesměrná | Středně skřetovitá (25 - 50 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | C |
| 7.67.01 | Rovina 0 - 3 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | D |
| 7.68.11 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Všesměrná | Středně skřetovitá (25 - 50 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | D |
| 7.73.11 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Všesměrná | Středně skřetovitá (25 - 50 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | D |
| 8.34.01 | Rovina 0 - 3 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 8.34.04 | Rovina 0 - 3 ° | Všesměrná | Středně skřetovitá (25 - 50 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 8.34.21 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Jih (jihozápad až jihovýchod) | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 8.34.24 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Jih (jihozápad až jihovýchod) | Středně skřetovitá (25 - 50 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 8.34.31 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Sever (severozápad až severovýchod) | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |

| | | | | | |
|----------------|------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|---|
| 8.34.41 | Střední sklon 7 - 12 ° | Jih (jihozápad až jihovýchod) | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 8.40.67 | Výrazný sklon 12 -17 ° | Jih (jihozápad až jihovýchod) | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 8.40.77 | Výrazný sklon 12 -17 ° | Sever (severozápad až severovýchod) | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | B |
| 8.50.01 | Rovina 0 - 3 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | C |
| 8.50.11 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | C |
| 8.50.51 | Střední sklon 7 -12 ° | Sever (severozápad až severovýchod) | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | C |
| 8.67.01 | Rovina 0 - 3 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | D |
| 8.73.11 | Mírný sklon 3 - 7 ° | Všesměrná | Bezskeletovitá, slabě skřetovitá (do 25 %) | Hluboká, středně hluboká (od 30 cm) | D |

Příloha č. 3: Hydrologické skupiny zemědělských půd podle BPEJ reps. HPJ

| HPJ (2. a 3. č. BPEJ) | Hydrologická půdní skupina | HPJ (2. a 3. č. BPEJ) | Hydrologická půdní skupina | HPJ (2. a 3. č. BPEJ) | Hydrologická půdní skupina |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1 | B | 27 | B | 53 | D |
| 2 | B | 28 | B | 54 | D |
| 3 | C | 29 | B | 55 | A |
| 4 | A | 30 | B | 56 | B |
| 5 | A | 31 | A | 57 | C |
| 6 | C | 32 | A | 58 | C |
| 7 | D | 33 | B | 59 | D |
| 8 | B | 34 | B | 60 | B |
| 9 | B | 35 | B | 61 | D |
| 10 | B | 36 | B | 62 | C |
| 11 | B | 37 | B | 63 | D |
| 12 | B | 38 | B | 64 | C |
| 13 | B | 39 | C | 65 | C |
| 14 | B | 40 | B | 66 | D |
| 15 | B | 41 | B | 67 | D |
| 16 | B | 42 | B | 68 | D |
| 17 | A | 43 | B | 69 | D |
| 18 | B | 44 | C | 70 | D |
| 19 | B | 45 | C | 71 | D |
| 20 | D | 46 | C | 72 | D |
| 21 | A | 47 | C | 73 | D |
| 22 | B | 48 | C | 74 | D |
| 23 | C | 49 | D | 75 | C |
| 24 | B | 50 | C | 76 | D |
| 25 | B | 51 | C | 77 | C |
| 26 | B | 52 | C | 78 | C |

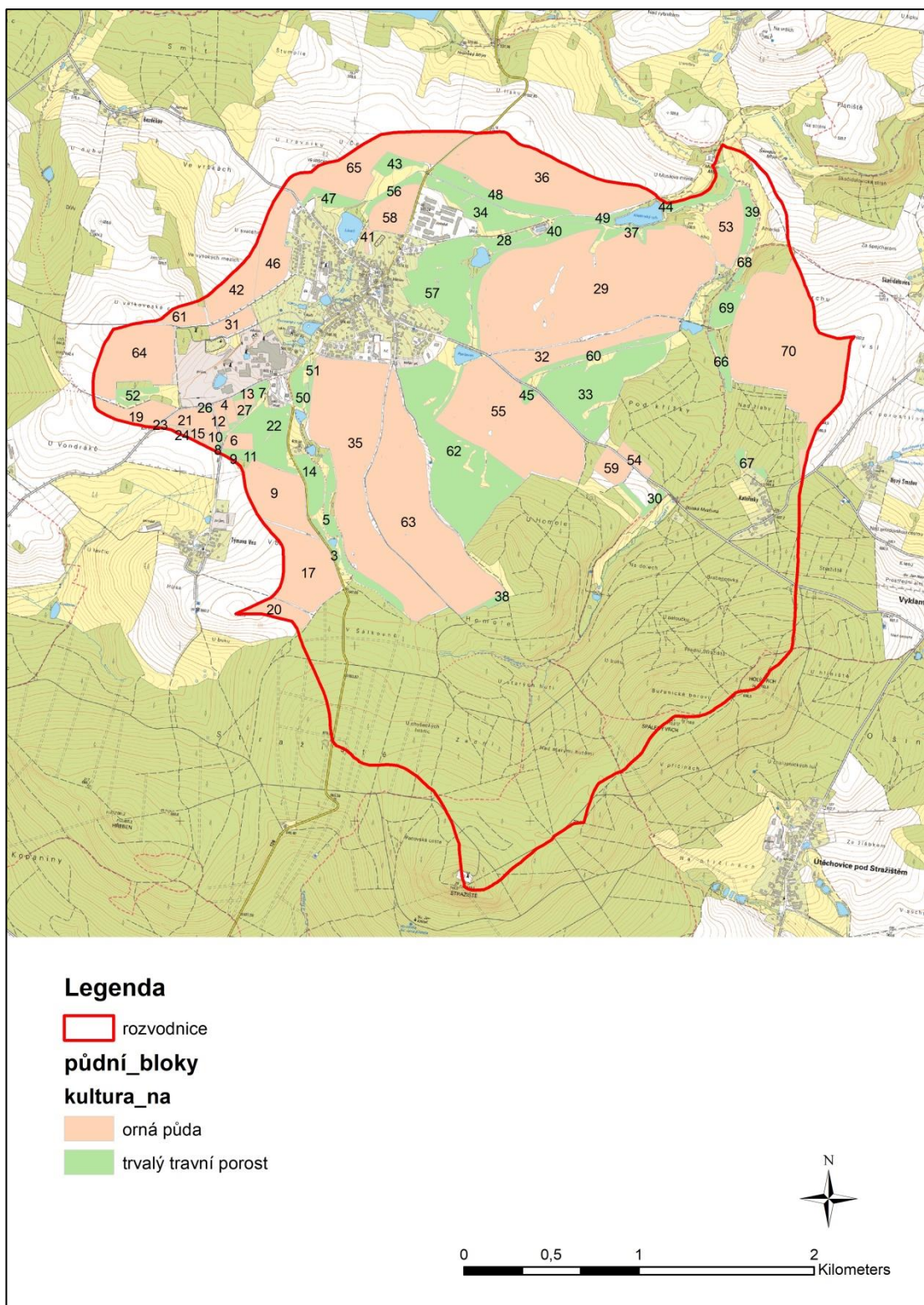
Zdroj: JANEČEK, Miloslav a kolektiv. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 2012
[cit. 2019-03-13]

Příloha č. 4: Průměrná čísla odtokových křivek – CN pro IPS II

| Využití půdy | Způsob obdělávání | Hydrologické podmínky | Čísla odtokových křivek – CN podle hydrologických skupin půd | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------|----|----|----|
| | | | A | B | C | D |
| Úhor, čerstvě kypřený | Pz | Šp | 77 | 86 | 91 | 94 |
| | | Dp | 76 | 85 | 90 | 93 |
| | | | 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 | Sp | 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 |
| 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 | | Sp | 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 | 80 |
| Víceleté pícniny, luštěniny | | Př | Šp | 66 | 77 | 85 |
| | 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 |
| Pastviny s pokryvem | < 50 % | - | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | 50 - 75 % | - | 49 | 69 | 79 | 84 |
| | > 75 % | - | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Louky | Sklizené | - | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Křoviny s pokryvem | < 50 % | - | 48 | 67 | 77 | 83 |
| | 50 - 75 % | - | 35 | 56 | 70 | 77 |
| | > 75 % | - | 30 | 48 | 65 | 73 |
| Sady se zatravněným meziřadím | | Šp | 57 | 73 | 82 | 86 |
| | | Str. | 43 | 65 | 76 | 82 |
| | | Db | 32 | 58 | 72 | 79 |
| Lesy | | Šp | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | | Str. | 36 | 60 | 73 | 79 |
| | | Db | 30 | 55 | 70 | 77 |
| Zemědělské dvory | | - | 59 | 74 | 82 | 86 |
| Komunikace s příkopy | dlážděné, živičné, makadamové, šterkové, | | 83 | 89 | 92 | 93 |
| | nezpevněné, hliněné | | 76 | 85 | 89 | 91 |
| | | | 72 | 82 | 87 | 89 |
| Nepropustné plochy | | | 98 | 98 | 98 | 98 |

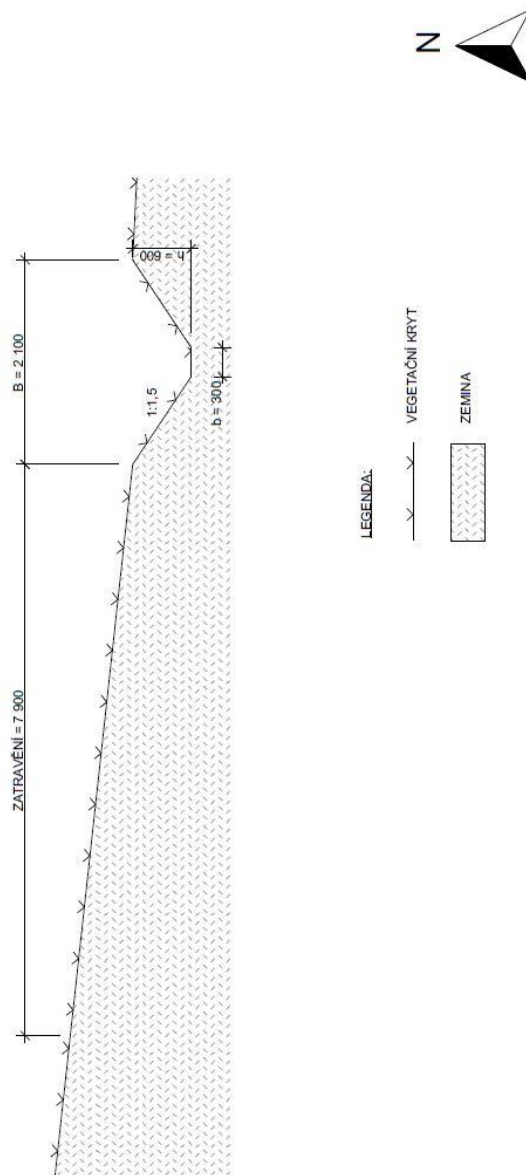
Zdroj: JANEČEK, Miloslav a kolektiv. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 2012 [cit. 2019-03-13]

Příloha č. 5: Mapa půdních bloků a jejich očíslování



Zdroj: vlastní zpracování, použití mapových podkladů - geoportal.cuzk.cz

Příloha č. 6: Příčný profil protierozního příkopu PB č. 63

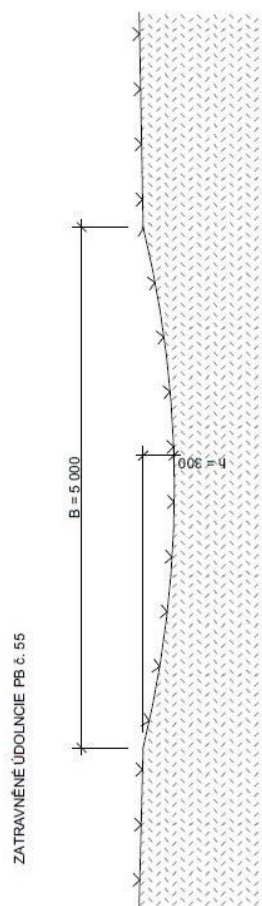
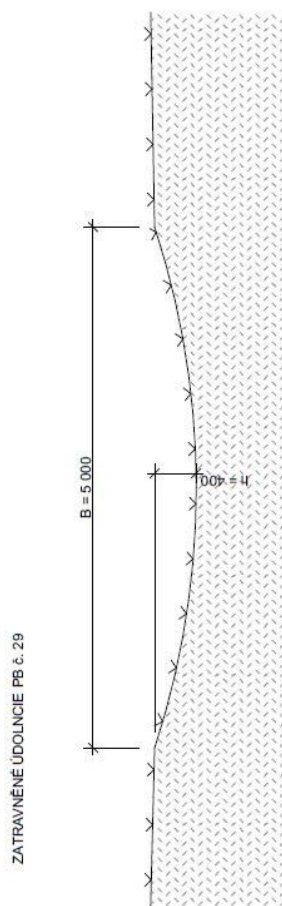


VÝŠKOVÝ SYSTÉM: BpV

| | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------|------------|
| PROJEKTOVAL: | VYPRACOVAL: | ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT: | |
| BC. LENKA VANČUROVÁ | | | |
| KATASTRÁLNÍ ÚZEMÍ: LUKAVEC U PACOVA | | | |
| POZEMKOVÝ ÚŘAD: PELHŘIMOV | | FORMÁT: | A4 |
| KRAJ: VYSOČINA | OKRES: PELHŘIMOV | MĚŘÍTKO: | 1 : 50 |
| PŘEDMĚT: PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ | | DATUM: | 3. 4. 2019 |
| OBSAH: | PŘÍČNÝ PROFIL PROTIEROZNÍHO PŘÍKOPU PB Č. 63 | | |

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha č. 7: Příčný profil zatravněné údolnice PB č. 29 a 55



VÝŠKOVÝ SYSTÉM: Bpv

| | | | |
|-------------------------------------------------|-------------|------------------------|-------------------|
| PROJEKTOVAL: | VYPRACOVAL: | ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT: | |
| BC. LENKA VANČUROVÁ | | | |
| KATASTRÁLNÍ ÚZEMÍ: LUKAVEC U PACOVA | | | |
| POZEMKOVÝ ÚŘAD: PELHŘIMOV | | | FORMÁT: A4 |
| KRAJ: VYSOČINA | | OKRES: PELHŘIMOV | MĚŘÍTKO: 1 : 50 |
| PŘEDMĚT: PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ | | | DATUM: 5. 4. 2019 |
| OBSAH: | | | |
| PŘÍČNÝ PROFIL ZATRavnĚNĚ ÚDOLNICE PB č. 29 A 55 | | | |

LEGENDA:

— X — VEGETAČNÍ KRYT

▨ ZEMINA

Zdroj: vlastní zpracování