



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

IDENTIFIKACE PLOCH V POVODÍ ROZHODUJÍCÍCH Z HLEDISKA PRODUKCE SPLAVENIN

IDENTIFICATION OF CATCHMENT AREAS IMPORTANT IN TERMS OF PRODUCTION OF TRANSPORT
SEDIMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

GABRIELA JEČMĚNKOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV DUMBROVSKÝ, CSc.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Gabriela Ječménková
Název	Identifikace ploch v povodí rozhodujících z hlediska produkce splavenin
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Holý M, a kol - Eroze a životní prostředí, ČVUT Praha 1998
2. Janeček M, a kol. : Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika ČZU Praha, 2012
3. Dumbrovský M, - Mezera J, Střítecký L.: Metodický návod pro projektování pozemkových úprav, metodika ČMKPU 2005
4. Hrádek F, - Implementace hydrologického modelu DeSQ, VUMOP Praha 1997

Zásady pro vypracování

Na základě GIS analýz s využitím DMT, provede student v zadaném území k.ú. Boleradice identifikaci ploch rozhodujících z hlediska produkce splavenin v povodí. Analýzy pro stanovení míry erozního ohrožení provede s využitím programů USLE2D a Atlas DMT.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Cílem práce bylo stanovení množství splavenin z vybraných povodí a stanovení míry erozní ohroženosti v katastrálním území Boleradice na základě analýzy v programu ArcGIS, DesQ-MaxQ spolu s využitím univerzální rovnice ztráty půdy a její modifikované verze.

Klíčová slova

Boleradice, Splaveniny, Eroze, USLE, MUSLE, CN, DesQ

Abstract

The aim of this thesis was to determine the amount of sediment transport from selected catchment areas and the degree of erosion risks in the cadastre Boleradice based on analysis with special programs ArcGIS, DesQ-MaxQ together using the universal soil loss equation and its modified version.

Keywords

Boleradice, Sediment transport, Erosion, USLE, MUSLE, CN, DesQ

Bibliografická citace VŠKP

Gabriela Ječménková *Identifikace ploch v povodí rozhodujících z hlediska produkce splavenin*. Brno, 2016. 52 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2016

.....
podpis autora

Gabriela Ječménková

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce prof. Ing. Miroslavu Dumbrovskému, CSc. za jeho vstřícný přístup, tipy a připomínky k bakalářské práci. Dále Ing. Veronice Sobotkové, Ph.D. za předání dovedností samostatně pracovat v použitých softwarech a poskytnutí velmi přínosných návodů na jejich užívání.

Obsah

1	Úvod	10
2	Vodní eroze	11
2.1	Dělení vodní eroze a faktory ovlivňující její vznik	11
2.2	Splaveniny.....	12
3	Popis katastrálního území Boleradice	13
3.1	Charakter území	13
3.2	Využití krajiny	13
3.3	Klimatické poměry.....	15
3.4	Hydrologické poměry	15
3.5	Pedologické a geologické poměry	16
3.5.1	HPJ vyskytující se v zájmovém území a jejich ekologické charakteristiky ..	19
4	Identifikace ploch v povodí rozhodujících z hlediska produkce splavenin v katastrálním území Boleradice	21
4.1	Použité výpočtové metody.....	21
4.1.1	Univerzální rovnice ztráty půdy	21
4.1.2	Modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy.....	22
4.1.3	Metoda čísel odtokových křivek CN	23
4.1.4	Poměr odnosu splavenin	24
4.2	Použité softwary.....	25
4.2.1	Podklady	25
4.2.2	ArcGIS	25
4.2.3	USLE2D	27
4.2.4	DesQ-MaxQ.....	27
4.3	Řešená povodí.....	28
4.3.1	Povodí č. 1 „Na Štěpnicích“	28
4.3.2	Povodí č. 2 „Kukle“	30

4.3.3	Povodí č. 3 „Mezihorky“	32
4.3.4	Povodí č. 4 „Od rozhledny“	34
4.3.5	Povodí č. 5 „Od Bojanovska“	36
4.3.6	Povodí č. 6 „Pod Kutinovem“	37
5	Výsledky a jejich interpretace	39
6	Fotodokumentace	45
7	Závěr	48
8	Použitá literatura	49
9	Seznam tabulek	50
10	Seznam obrázků	51
11	Seznam příloh	52

1 Úvod

Přívalové deště s sebou přináší řadu nepříjemností. Zejména jde o zvýšenou vodnost toků či v extrémních případech bleskové povodně. Další nepříjemností spojenou s lokálními dešti o velké intenzitě je transport splavenin z rozsáhlých zemědělských ploch. Následkem toho se můžeme setkat s ucpanými propustky, poškozenými komunikacemi, splaveninami zaneseným a poškozeným intravilánem, vodními nádržemi nebo toky. Hlavním cílem této bakalářské práce je identifikace ploch rozhodujících z hlediska vzniku splavenin ohrožujících velmi sklonité katastrální území Boleradice. S tím je spojené zaměření kritických bodů, ve kterých se koncentruje největší množství splavenin ze sběrného povodí následkem přívalových srážek. Práce by tak mohla přispět jako jeden ze střípků k tvorbě podkladů na hledání vhodné strategie v ČR, která by vedla k minimalizaci ohrožení obcí splaveninami v důsledku soustředěného povrchového odtoku.

2 Vodní eroze

Vznik vodní eroze by se dal definovat jako působení kinetické energie jednotlivých kapek deště v kombinaci s mechanickou složkou coby následného povrchového odtoku. K tomu dochází, pokud srážkový úhrn spolu s jeho intenzitou přesahuje infiltrační schopnost půdy. Jeden z hlavních faktorů ovlivňující míru erozního smyvu je morfologie terénu – konkrétně jeho sklonitost. Čím více svažitě území, tím přesnější je linijní soustředěnost povrchového odtoku a jeho kinetická energie. Mezi další hlavní faktor ovlivňující erozní působení se řadí typ a hustota vegetačního pokryvu. U orné půdy situované ve svažitě území je pro minimalizaci intenzity erozních procesů důležité zvolit vhodný agrotechnický postup obdělávání. K nejvyšší ztrátě půdy dochází vždy v nejzranitelnějším období tj. v navazujícím časovém úseku od zahájení agrotechnických operací po dobu dvou měsíců, kdy nebyl vytvořen vegetační pokryv a tím nebyla zmírněna degradační schopnost kinetické energie dopadajících kapek a následného povrchového odtoku. [1]

2.1 Dělení vodní eroze a faktory ovlivňující její vznik

Vodní eroze se zpravidla dělí na dva hlavní typy; podpovrchovou a povrchovou. Zachar (1960) uvádí charakteristiku podpovrchové eroze jako mechanické vyplavování gravitační vodou jemných částic půdy mezi agregáty, které přispívají ke skeletizaci půdy. Povrchová eroze se dělí na plošnou, výmlovou a proudovou. První ze zmiňovaných charakterizuje rozrušování a smyv půdy na celém území. Výmlová povrchová eroze vzniká postupným soustředěním povrchově stékající vody, která vykrývá v půdním povrchu mělké zářezy, postupně se prohlubující. Jejím prvním stádiem je rýžková eroze, kdy vznikají drobné úzké zářezy, vytvářející na postiženém svahu hustou síť. Sílicím povrchovým odtokem vznikají z rýžek hlubší rýhy, které se postupně prohlubují. To vede k dalšímu stádiu – erozi rýhové. Ta přechází ve vyšší stupeň – erozi výmlovou a ta v nebezpečnou erozi stržovou. Proudová eroze probíhá jen v tocích působením vodního proudu. [2]

Hluboké efemérní rýhy vznikající v drahách soustředěného povrchového odtoku (dále také DSO) na orné půdě jsou v České republice jedny ze zatím málo popsáných projevů vodní eroze. V důsledku zemědělské výroby totiž dochází každoročně k zaorávání těchto rýh a k následnému znovuoobnovení v období jarního tání a přívalových srážek. Koncentrovaný odtok z pozemku může vytvářet poměrně hluboké rýhy, které poté

dopravují směs vody a erodovaného materiálu (splavenin) do vodotečí či do zastavěného území obce. [3]

Janeček [4] dělí erozní faktory do pěti skupin:

- 1) Klimatické a hydrologické – zde patří zeměpisná poloha, nadmořská výška, množství, rozdělení a intenzita srážek, povrchový odtok, výpar, teplota, oslunění a výskyt, směr a síla větru.
- 2) Morfologické – sklon území, tvar a délka svahu, návětrnost a expozice lokality
- 3) Geologické a půdní – textura a struktura půdy, půdní typ a druh, vlhkost půdy a obsah humusu
- 4) Vegetační – hustota a délka trvání vegetačního pokryvu
- 5) Způsob využívání a obhospodařování půdy – zejména poloha a tvar pozemku, střídání plodin, technologie obdělávání

Míra erozního působení závisí na kombinaci těchto všech faktorů.

2.2 Splaveniny

Splaveniny jsou tuhé částice přemísťované vodou. Mají různý tvar a velikost, mohou být organického i anorganického původu. Vznik je podmíněn plošnou erozí, působením vody, větru a také geologických vlastností svahů (sklon, složení). Důsledkem erozního působení je především ztráta půdy, tedy transport a sedimentace půdních částic a také chemických látek. Nejvíce je postiženo zemědělství, kde je ztráta půdy v drtivé většině případů trvalá. Tato cenná komodita, jejíž důležitosti nepřikládá široká veřejnost příliš velkou pozornost, končí zpravidla ve vodních tocích a nádržích jako sediment, který je považován za odpad. Spolu s půdou končí na dně nádrží i hnojiva, které mají vliv na jejich eutrofizaci. Selektivní postup půdní eroze (tendence odnosu primárně nejmenších či nejlehčích částic) způsobuje nerovnoměrné zrnitostní složení půdního horizontu z hlediska plochy a sklonu. V patách svahů se hromadí jemné částice, jejichž četnost s postupem proti spádu ubývá. To má za následek převahu hrubších zrn půdy v horizontech ve svahu a tedy sníženou sorpční kapacitu. Rostliny tak mají malé zásoby vody potřebné zejména v letních suchých obdobích, což se podepisuje na úrodě stejně jako to, že jemných částicích jsou vázány organické látky a jejich odnosem dochází ke ztrátě živin.

Jak již bylo zmíněno výše; vysoké intenzity povrchového odtoku napomáhá v první řadě člověk nesprávným způsobem hospodaření na pozemcích, čímž je myšleno pěstování erozně nebezpečných plodin bez ohledu na geomorfologické vlastnosti terénu, orba kolmo na vrstevnice, odlesňování, zhutňování lesních a polních cest vlivem turistiky a těžby, spojování menších zemědělských ploch ve velké celky.

3 Popis katastrálního území Boleradice

Boleradice jsou městyse spadající do Jihomoravského kraje v okrese Břeclav. Leží 6 km severovýchodním směrem od Hustopečí, jihozápadně od města Klobouky u Brna. Rozkládají se v údolí potoku Haraska, pramenícím ve Štibořických straých horách, na něm je v severozápadním směrem od centra obce vybudován Boleradický rybník. Počet obyvatel činí 870, průměrná nadmořská výška je 210 m n. m.. Do katastrálního území obce spadá přírodní rezervace v Němčičské vrchovině Velký Kutínov o rozloze 11,61 ha.

3.1 Charakter území

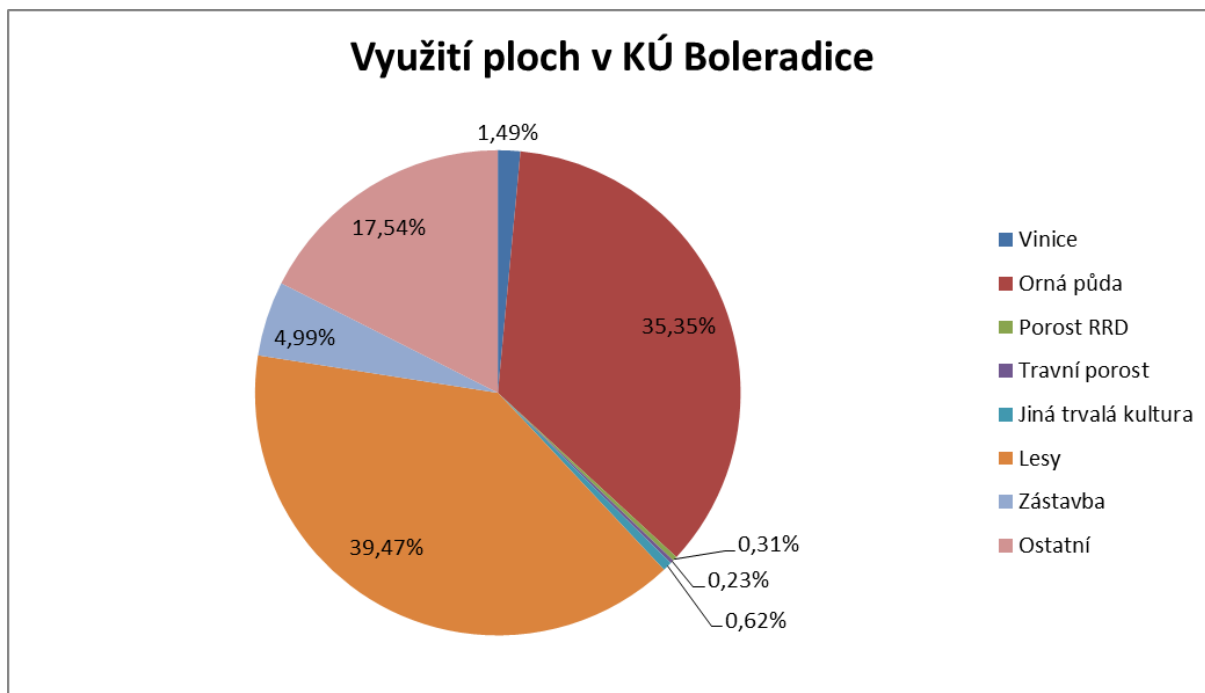
Geomorfologický podcelek Boleradická vrchovina je plochá vrchovina o rozloze 149 km², střední výšce 254,9 m n. m. Rozprostírá se v jz. části Ždánického lesa. Podloží Boleradické vrchoviny je tvořeno flyšovými horninami ždánicko–hustopečského, menilitového a němčického souvrství ždánické jednotky vnější skupiny příkrovů. Rozšířené jsou překryvy spraší a sprašových hlín. Dna údolí vyplňují nivní hlíny.

Plochý reliéf Boleradické vrchoviny je charakteristický zaoblenými rozvodními hřbety, plošinami a široce rozevřenými, často neckovitými údolími. Ve starší literatuře se pásmo kopců od Horních Bojanovic po Nikolčice označuje také jako Nikolčický hřbet. Některé svahy Boleradické vrchoviny bývají postiženy sesuvy a po velkých letních přívalech deště dochází ke značnému odnosu půdy. Byly zde naměřeny nejvyšší hodnoty vodní eroze půdy v České republice (3,1 mm/rok). Nejvyšším bodem je Přední kout (410 m n. m.). [5]

3.2 Využití krajiny

Na severní straně obce se nacházejí četné vinohrady, severozápadnímu svahu dominují listnaté lesy Předního koutu (410 m n. m.). Orná půda je rozlohově téměř v rovnováze se zalesněnou. Svahy lemující potok Haraska jsou z větší části pokryty lesy. V nich se prolínají teplomilné doubravy a panenské dubohabřiny. K jejich ochraně byla zřízena přírodní rezervace Velký Kuntínov. Na mezích v polích a na okrajích lesa se setkáme i se zbytky stepní vegetace.

Graf 1: Využití ploch v KÚ.



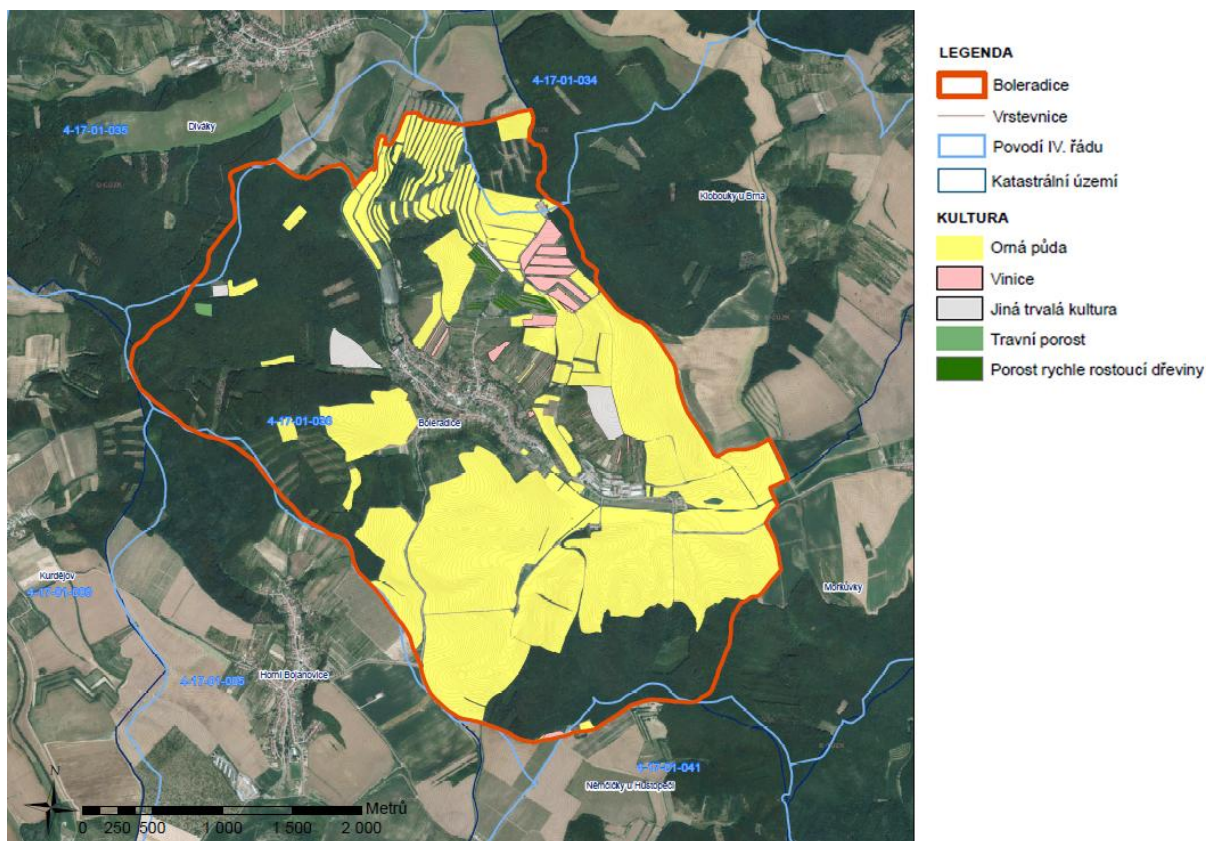
Tabulka 1: Využití ploch LPIS.

Dle LPIS:					
Plocha	Vinice	Orná půda	Porost RRD	Travní porost	Jiná trvalá kultura
[ha]	18,01	428,10	3,73	2,83	7,55
[%]	1,49	35,35	0,31	0,23	0,62

Tabulka 2: Využití ostatních ploch.

Dle Ortofoto ČÚZK orientačně:				
Plocha	Lesy	Zástavba	Ostatní	Celkem
[ha]	478,00	60,40	212,38	1211,00
[%]	39,47	4,99	17,54	100,00

U položky „zástavba“ byla uvažována i užitná plocha náležící jednotlivým domům. Do položky „Ostatní“ spadají komunikace a travní porost, který nebyl zaznamenán ve výpisu LPIS.



Obrázek 1: Plošná lokalizace druhů pozemků

3.3 Klimatické poměry

Boleradické území spadá do klimatického regionu 0, charakterizovaného jako velmi teplý a suchý. Dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 327/1998 Sb. se průměrná teplota velmi teplého regionu pohybuje kolem 9-10 C, průměrný roční srážkový úhrn činí 500 - 600 mm [6]. Jde o typické hodnoty pro Jižní Moravu, Boleradice se tak řadí mezi jednu z nejsušších a nejteplejších oblastí v ČR.

3.4 Hydrologické poměry

Haraska je potok v okrese Břeclav, který protéká Boleradickým údolím. Délka toku je 15,5 km. Plocha povodí měří 51 km² [7]. Pramení u obce Šitbořice, dále stéká ze Šitbořických nových hor východním směrem na osadu Martinice. Před ní se do Harasky vlévají další dva potůčky, poté se Haraska stáčí na jih. Za Divákami je do ní zaústěn Divácký potok. Dále Haraska vede obcí Boleradice, Morkůvky a Brumovice. V Boleradicích nabírá opět východního směru, před nimi zásobuje Boleradický rybník.

Rybník má rozlohu 3,5 ha, nad ním je vybudovaná suchá nádrž o rozloze cca 0,5 ha. 370 metrů pod hrází rybníka je umístěn na mostku hladinměř, výška hladiny se zde pohybuje kolem 20 cm.

Katastrálního území Boleradice se netýkají žádné povodňově aktivní zóny a je mimo ohrožení stouletou vodou. Povodně se zde odehrávají jen zřídka, avšak mnozí obyvatelé mají stále v paměti srpnové povodně r. 1989. Ty byly způsobeny vysokou intenzitou lokálních srážek, tehdy došlo k poměrně velkým škodám na majetku a dokonce protržení hráze rybníka. Silné přivalové deště se opakují a často eskalují ke způsobení svahových povodních a rozlivu toku Haraska. Z tohoto důvodu byl vybudován poldr nad rybníkem a dále probíhá proces zpevňování břehů koryta.

Tabulka 3: Čísla hydrologického pořadí vodního toku Haraska, zdroj: ČHMI: : Hydrologický seznam podrobného členění povodí vodních toků ČR.

ČHP dílčího povodí	Název hlavního toku	ČHP dílčího povodí recipientu	ČHP pramenného povodí	Plocha dílčího povodí (m ²)	Celková plocha nad zaústěním (m ²)
4-17-01-0360	Haraska	4-17-01-0370	4-17-01-0340	31.578	50.973

3.5 Pedologické a geologické poměry

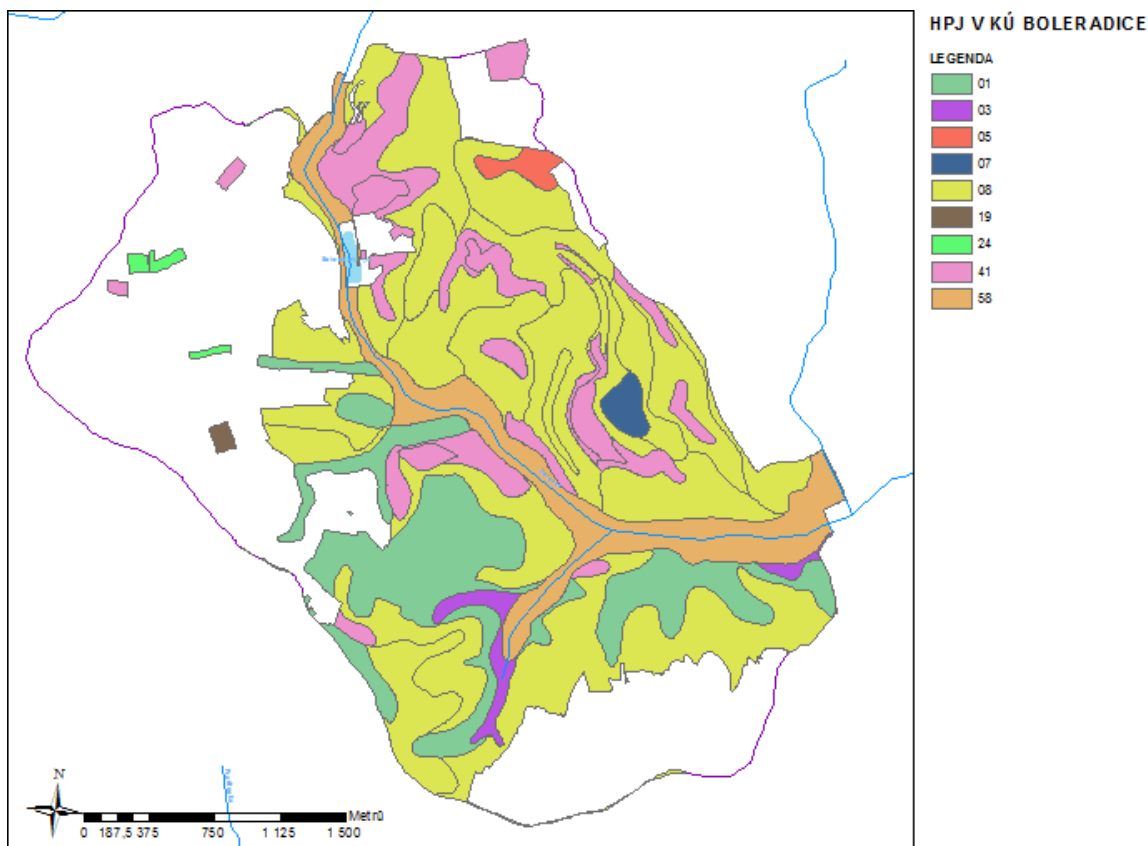
Obec Boleradice leží na Boleradické vrchovině. V té jsou vymezeny ještě další tři geomorfologické okrsky; severní část Boleradické vrchoviny zaujímá Strážecká pahorkatina, jižně s ní sousedí největší ze tří celků Divácké vrchovina, do které spadá i řešené KÚ a na tu navazuje vrchovina Němčičská.

jednotky, přičemž se proměnlivě střídají ždánické pískovce (psamitická facie) a hustopečské slíny (pelitická facie). V severo-východní části vystupují horniny menilitového a němčického souvrství, jež zde jsou vázané na nikočický hřbet. Nižší části oblasti jsou překryty překryvy pleistocenních spraší a sprašových hlín. Dna údolí vyplňují holocenní nivní hlíny. Divácká vrchovina je charakteristická členitým reliéfem se široce zaoblenými rozvodními hřbety, plošinami a hlubokými údolími vodních toků s neckovitým příčným profilem. Na sklonitějších svazích se často vyskytují sesuvy. [5]

Pro Diváckou vrchovinu je typické velké množství svahů se sklonem větším než 15°, které byly v minulosti postiženy četnými gravitačními a fluvialními svahovými pochody. V polovině sedmdesátých a osmdesátých let byla většina strmých svahů přebudována v systém velkoplošných agrárních teras. V tomto případě terasy vznikaly v důsledku povinnosti náhrady zastavěné orné půdy, v rámci protierozní ochrany svahů. Na některých místech území však tyto terasy trpí stejnými svahovými deformacemi, podobně jako původní nezterasované svahy. Na zbylém, dosud nezterasovaném svažitém území, se v některých místech velmi intenzivně projevují fluvialní svahové procesy reprezentovány především tvorbou strží. Tyto strže jsou na celém území jednotlivě rozptýleny nebo tvoří rozsáhlejší a složitější systémy, jako je tomu například nad obcemi Diváky či Boleradice. [5]

Oblast vymezená hranicí katastrálního území se rozkládá na vápnitých jílovcích, pískovcích a podřízených slepencích. Z půdních typů se zde nejčastěji objevuje modální černozem, doplněna modální hnědozemí.

3.5.1 HPJ vyskytující se v zájmovém území a jejich ekologické charakteristiky



Obrázek 4: HPJ v katastrálním území Boleradice.

01 – Černozemě modální, černozemě karbonátové, na spraších nebo karpatském flyši, půdy středně těžké, bez skeletu, velmi hluboké, převážně s příznivým vodním režimem

03 – Černozemě černické, černozemě černické karbonátové na hlubokých spraších s podložím jílu, slínů či teras, středně těžké, bezskeletovité, s vodním režimem příznivým až mírně převlhčeným

05 – Černozemě modální a černozemě modální karbonátové, černozemě luvické a fluvizemě modální i karbonátové na spraších s mocností 30 až 70 cm na velmi propustném podloží, středně těžké, převážně bezskeletovité, středně výsušné, závislé na srážkách ve vegetačním období

07 - Smonice modální a smonice modální karbonátové, černozemě pelické a černozemě černické pelické, vždy na velmi těžkých substrátech, celoprofilově velmi těžké, bezskeletovité, často povrchově periodicky převlhčované

08 – Černozemě modální a černozemě pelické, hnědozemě, luvizemě, popřípadě i kambizemě luvické, smyté, kde dochází ke kultivaci přechodného horizontu nebo substrátu na ploše větší než 50 %, na spraších, sprašových a svahových hlínách, středně těžké i těžší, převážně bez skeletu a ve vyšší sklonitosti

19 - Pararendziny modální, kambické i vyluhované na opukách a tvrdých slínovcích nebo vápnatých svahových hlínách, středně těžké až těžké, slabě až středně skeletovité, s dobrým vláhovým režimem až krátkodobě převlhčené

24 – Kambizemě modální eubazické až mezobazické i kambizemě pelické z přemístěných svahovin karbonátosilikátových hornin - flyše a kulmských břidlic, středně těžké až těžké, až středně skeletovité, se střední vododržností

41 – Půdy se sklonitostí vyšší než 12 stupňů, kambizemě, rendziny, pararendziny, rankery, regozemě, černozemě, hnědozemě a další, zrnitostně středně těžké až velmi těžké s poněkud příznivějšími vláhovými poměry

58 – Fluvizemě glejové na nivních uloženinách, popřípadě s podložím teras, středně těžké nebo středně těžké lehčí, pouze slabě skeletovité, hladina vody níže 1 m, vláhové poměry po odvodnění příznivé [8]

4 Identifikace ploch v povodí rozhodujících z hlediska produkce splavenin v katastrálním území Boleradice

Zastavěná část obce Boleradice se nachází v údolí a je obklopena poměrně prudkými svahy (jen 2% zemědělsky obhospodařovaných ploch má sklon menší než 5%). Během příválových dešťů zde dochází k intenzivním erozním procesům, vznikají splaveniny a tyto svahy se stávají zdrojem splaveninového ohrožení intravilánu. O sklonitosti obce vypovídá i hojný počet turisticky oblíbených vyhlídkových míst nebo poničený asfaltový povrch silnic stojících v cestě povrchovému odtoku, který díky velkým sklonům nabývá na kinetické energii.

4.1 Použité výpočtové metody

4.1.1 Univerzální rovnice ztráty půdy

Univerzální rovnice pro výpočet ztráty půdy nebo-li USLE (universal soil loss equation) byla sestavena v USA W. H. Wischmeierem a D. D. Smithem, následně ji pro možnosti přesnější aplikace v České republice upravil V. Pasák, M. Janeček a M. Šabata. USLE nám umožňuje odhadnout průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy pro všechny možné alternativy kombinované s pěstovanými plodinami a organizačními opatřeními ve spojitosti se specifiky jako je typ půdy, úhrn srážek a daná topografie. Porovnáním výsledku s přijatelnou hodnotou ztráty půdy můžeme dostat cennou informaci o možnostech dalšího nakládání s půdou tak, abychom zamezili erozi v co největší míře. [8] Při výpočtu USLE se předpokládá, že se vyrovnají počáteční ztráty odtoku s předchozím nasycením půdy.

USLE sestává z šesti faktorů:

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

kde:

G – průměrná dlouhodobá ztráta půdy [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$],

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

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

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

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

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

P - faktor účinnosti protierozních opatření. [4]

Stanovení vstupních hodnot do rovnice USLE výrazně usnadnil program ArcGIS, USLE2D a tabulkový kalkulátor EXCEL.

4.1.2 Modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy

Modifikovaná univerzální rovnice pro výpočet ztráty půdy nebo-li MUSLE (modified universal soil loss equation) byla sestavena J. R. Williamsem a H. D. Berndtem. Modifikace USLE spočívá v tom, že se zde *R* faktor nahrazuje součinem objemu a kulminačního průtoku z konkrétního deště. Tím je zajištěno, že je možné počítat ztráty půdy erozí pouze pro případy kdy se vyskytne povrchový odtok. [9]. USLE je tedy užíváno ke stanovení ztráty půdy z dlouhodobého hlediska, MUSLE je vhodné použít na výpočet objemu splavenin během konkrétní srážkové události u povodí velkých do 10 km².

MUSLE sestává ze sedmi faktorů [10]:

$$G_m = 11,8 \cdot (O_{pH} \cdot Q_{pH})^{0,56} \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

kde:

G – množství splavenin z přívalového deště [t],

O_{pH} – objem přímého odtoku přívalového deště [m³],

Q_{pH} - velikost kulminačního průtoku [m³.s⁻¹],

K, L, S, C, P – modifikované faktory USLE určené následujícím postupem:

Faktor erodovatelnosti půdy (*K*) je pro dané povodí dán součtem hodnot jednotlivých půd, vážených plochami připadající na dané půdy.

Hodnota topografického faktoru (*LS*) pro povodí se určí ze vztahu:

$$LS = \lambda^{0,5} (0,0138 + 0,0097 \cdot s + 0,00138 \cdot s^2)$$

Pro stanovení průměrné délky povrchového odtoku se předpokládá povodí obdélníkového tvaru s tokem uprostřed

$$\lambda = \frac{P_p}{2 \sum l_v}$$

kde: λ – délka povrchového toku po svahu [m]

P_p – celková plocha povodí [m²]

l_v – celková délka všech toků v povodí [m]

Průměrná svažítost povodí (s) se zjistí z vrstevnicové mapy

$$s = \frac{\sum_{j=i}^n b \cdot \Delta h}{P_p} \cdot 100$$

kde: n – počet ploch mezi jednotlivými vrstevnicemi

P_p – celková plocha povodí [m²]

l_v – výškový rozdíl mezi vrstevnicemi [m]

$$b = \frac{(b_j + b_{j+1})}{2}$$

kde: b_i – délka j-té vrstevnice [m]

pro časovou náročnost této metody bylo využito k řešení průměrné svažítosti možnosti zonální statistiky programu ArcGIS.

Faktor ochranného vlivu vegetace (C) je určován průměrováním hodnot C každé kultury nebo plodiny podle velikosti plochy jednotlivých kultur.

Faktor účinnosti protierozního opatření (P) se do rovnice dosazuje $P = 1$.

Objem přímého odtoku a kulminační průtok byl stanoven pomocí metody čísel odtokových křivek CN a programu DesQ-MaxQ.

4.1.3 Metoda čísel odtokových křivek CN

Tato metoda byla odvozena v USA pro potřeby Služby na ochranu půdy a publikována v roce 1972. Přímý odtok zahrnuje dvě složky - odtok povrchový a odtok hypodermický. Podíly tohoto typu odtoku na celkovém odtoku se stanovují pomocí tzv. čísel odtokových křivek - CN. Čím větší hodnota CN, tím je pravděpodobnější, že se jedná o povrchový odtok. Odtok vody je obecně ovlivněn množstvím srážek, infiltrací vody do půdy, vlhkostí půdy, druhem vegetačního pokryvu, nepropustnými plochami a retencí povrchu. Základním vstupem metody odtokových křivek je srážkový úhrn návrhového

deště zvolené doby opakování za předpokladu jeho rovnoměrného rozdělení na ploše povodí. Objem (výška) srážek je transformován na objem (výšku) odtoku pomocí čísel odtokových křivek – CN. [4]

Průměrné hodnoty CN čísel v této práci byly zjištěny dle metodiky Janečka (2012), který tyto hodnoty stanovil na základě hydrologické skupiny půdy, způsobu obdělávání a využití půdy v povodí.

Každému CN číslu byla přiřazena plošná váha a celkové CN pro povodí se stanovilo jako vážený průměr. Zpracování všech hodnot bylo provedeno pomocí zonální statistiky a tabulkového kalkulátoru. Do výpočtu šesti vybraných povodí byly dle hydrologické skupiny a typu vegetačního pokryvu dílčích ploch užity tato čísla CN:

Tabulka 4: Čísla CN použitá v řešených povodích. [4]

Charakteristika	HSP	CN
Úzkořádkové plodiny (oblininy), vrstevnicová orba, špatné hydrologické podmínky	B	74
Úzkořádkové plodiny (oblininy), vrstevnicová orba, špatné hydrologické podmínky	C	82
Nepropustné plochy (komunikace)	-	98
Sady se zatravněným meziřadím - vinice, špatné hydrologické podmínky	B	73
Křoviny s pokryvem 50-75%	B	56
Křoviny s pokryvem 50 - 75%	D	77
Křoviny s pokryvem < 50%	B	67
Křoviny s pokryvem > 75%	B	48
Lesy, špatné hydrologické podmínky	B	66
Louky	-	50
Zemědělské dvory	-	74

4.1.4 Poměr odnosu splavenin

K odhadu průměrného ročního množství splavenin k určitému profilu povodí lze použít metodu tzv. poměru odnosu (SDR), který je definován jako poměr ročního množství splavenin v tomto profilu k celkové erozi v povodí. Poměr odnosu může nabývat hodnoty 1 v případě transportu veškerých částic uvolněných erozí z povodí a hodnoty 0 při zachycení veškerých částic v rámci povodí. [11]

Pro stanovení poměru odnosu je možné orientačně použít vztah odvozen J. R. Williamsem [11]:

$$SDR = 1,366 \cdot 10^{-11} \cdot P_p^{-0,0998} \cdot S_r^{0,3629} \cdot CN^{5,447}$$

kde

P_p – plocha povodí [km²]

S_r – reliéfový poměr (poměr převýšení povodí k délce povodí) [$m \cdot km^{-1}$]

CN – číslo odtokové křivky v povodí

Poměrem odnosu bylo násobeno množství splavenin z přívalového deště z rovnice MUSLE.

4.2 Použité softwary

4.2.1 Podklady

Výškopisná a polohopisná data, nezbytná pro tvorbu digitálního modelu terénu (DMT), byla získána ze základní báze geografických dat (ZABAGED), informace o hydrografické síti, vodních tocích a nádržích z digitální databáze vod (DIBAVOD). Nezbytná ortofoto mapa byla online načtena v prostředí ArcGIS ze serveru ČÚZK prohlížečím službou AGS. Hlavní půdní jednotky byly převzaty ze Státního pozemkového úřadu Praha, bloky LPIS dává k dispozici Ministerstvo zemědělství.

4.2.2 ArcGIS

K přípravě mapových podkladů, analýzy a vygenerování dalších potřebných údajů byl použit program ArcGIS 2.0, konkrétně pracovní prostředí ArcMap 10.2.1, jde o součást balíku tohoto programu od firmy ESRI.

Nejprve bylo zapotřebí identifikovat kritické body. K tomu výrazně dopomohla možnost tvorby digitálního modelu terénu v ArcGIS. Ten byl vygenerován pomocí interpolačního algoritmu „topo to raster“, který lze nalézt v knihovně nástrojů ArcToolbox na základě výškopisných a polohopisných dat. Případné nedokonalosti nebo výrazné odchylky byly eliminovány nástrojem „fill“ – tedy „vyhlazeny“. Pro plastickou vizualizaci DMT bylo využito další funkce „hillshade“. Na vytvořenou vrstvu DMT navazuje tvorba další pomocné vrstvy – směru odtoku „flow direction“. Díky ní bylo možno vygenerovat vrstvu pro stanovení kritických bodů nejcennější – akumulace odtoku „flow accumulation“. Jde o algoritmus, který postupně načítá buňky přitékající do právě počítané. Ta se do tohoto součtu nezapočte. Velikost jedné buňky byla zvolena 5 m, území se tak rozložilo na pomyslný rastr, kde jeden element nabýval rozměru 5x5 m. Buňky s vysokou přidělenou hodnotou přítoku představují plochy koncentrace odtoku, s hodnotou 0 zase představují hřbety terénu – do těch nic nepřitéká. Model neuvažuje ztráty vsakem apod.. Vzniklé linie odtoku svým průsečíkem s hranicí intravilánu vymezily kritické body, ke kterým se přiřadila sběrná plocha - povodí.

4.2.2.1 Stanovení K-faktoru

Pro stanovení K – faktoru bylo využito možnosti atributové tabulky vrstvy HPJ. Ke každé hodnotě HPJ byl přiřazen příslušný K- faktor. Tato vrstva se pak převedla na vlastní vrstvu K-faktoru nástrojem „features to raster“.

HPJ	K- faktor	HPJ	K- faktor	HPJ	K- faktor
1	0,41	19	0,33	60	0,31
3	0,35	22	0,24	61	0,32
4	0,16	41	0,33	62	0,35
5	0,28	56	0,4	63	0,31
6	0,32	57	0,45	64	0,4
7	0,26	58	0,42	67	0,44
8	0,49	59	-	-	-

Tabulka 5: HPJ vyskytující se v zájmovém území a příslušný K- faktor dle Janečka. [4]

4.2.2.2 Stanovení C-faktoru

C-faktor byl doplněn do atributové tabulky vrstvy LPIS bloků na základě klimatického regionu a následně byla vytvořena vlastní vrstva C-faktoru obdobně jako u faktoru K. Pro ornou půdu dle Tomana a Kadlece byla použita hodnota $C = 0,291$ [12], pro ostatní bloky LPIS dle Janečka [4]. Tedy pro vinici $C = 0,44$, trvalý travní porost $C = 0,005$, porost rychle rostoucích dřevin $0,44$ a pro jinou trvalou kulturu $C = 0,35$.

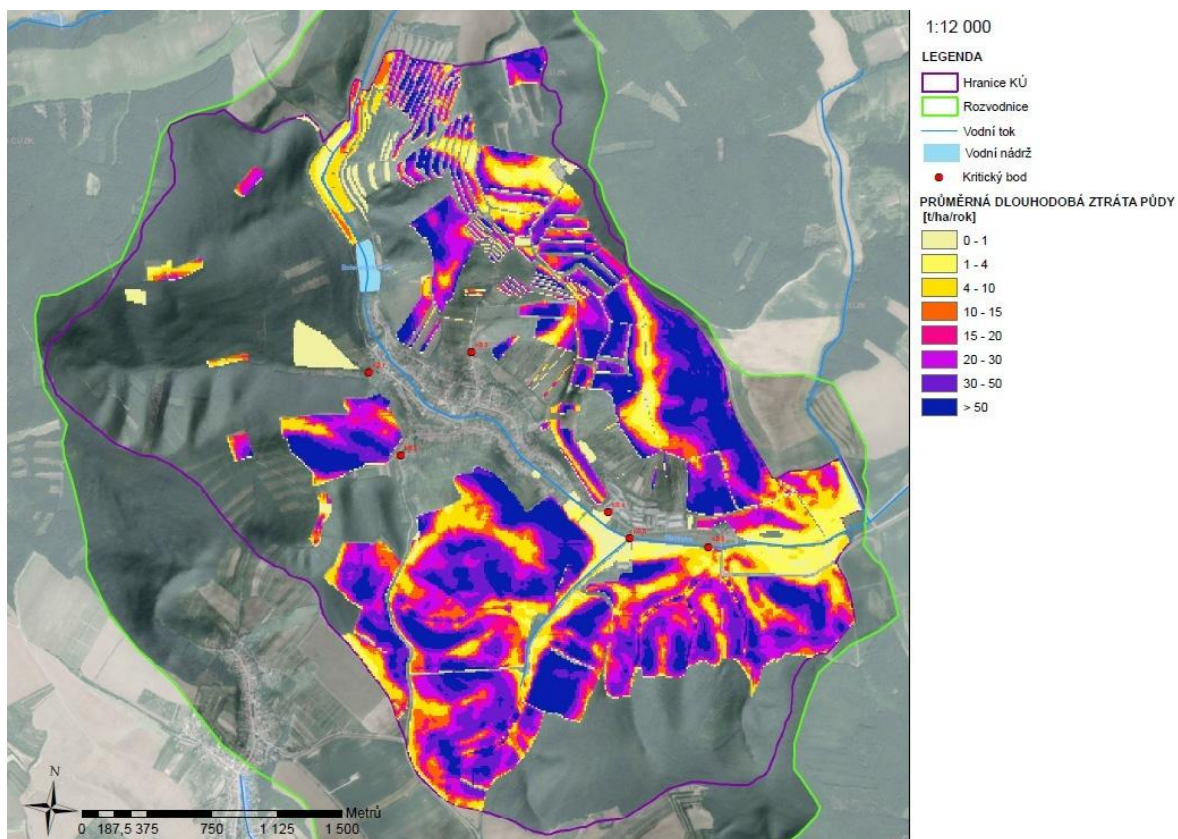
4.2.2.3 Stanovení R- faktoru

Hodnota R-faktoru byla ve výpočtech použita jako $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, což je průměr pro území ČR stanovený Janečkem. [4] V současnosti probíhá regionalizace faktoru erozní účinnosti deště, která je zpracovávána Ministerstvem zemědělství ve spolupráci s VÚMOP. Tyto podklady však ještě nebyly schváleny. [13]

4.2.2.4 Stanovení P-faktoru

Do rovnice USLE byla dosazena za P-faktor hodnota 1. Je to z důvodu toho, že žádná protierozní opatření nebyla v řešeném území realizována.

Faktor délky a sklonu svahu byl stanoven pomocí programů USLE2D a LS-faktor, postup je popsán níže. Součin všech veličin dle rovnice USLE byl učiněn pomocí nástroje raster calculator. Provedla se klasifikace intenzity erozního smyvu barevným spektrem, přičemž ke každému náleží určité rozmezí hodnot.



Obrázek 5: Mapa míry erozního ohrožení

4.2.3 USLE2D

Tento program je určen pro výpočet LS-faktoru. Jako vstupní data jsou nezbytné DMT a grid vrstvy LPIS. Vrstvu LPIS bylo nejdříve zapotřebí scelit v prostředí ArcGIS do větších ploch podle skutečného stavu území. USLE2D vychází z předpokladu, že hranice mezi jednotlivými plochami působí jako překážky pro plošný povrchový odtok a proto nebyť zcelení příslušných parcel dle skutečného stavu, byly by výsledky zkreslené. Program pracuje s daty ve formátu Idrisi (.rst), proto je nezbytná konverze dat v ArcToolbox za pomoci nástroje Raster to Ascii do textového formátu s příponou .txt. Následně byl využit program LS-converter, do kterého byl vložen textový soubor a převeden na dva potřebné soubory dmt.rst a lpis.rst. Tyto výstupy se vloží do prostředí USLE2D a následně v ArcToolbox převedou do rastrové vrstvy.

4.2.4 DesQ-MaxQ

Hydrologický model DesQ byl vytvořen prof. Hrádkem v roce 1997. V roce 2000 byl aktualizován na základě připomínek uživatelů a nového výzkumu autorů. Tento program je možné využít pro povodí do velikosti 10 km². Model lze využít pro

výpočet maximálních N-letých průtoků a objemů povodňových vln vyvolaných přívalovými dešti kritické doby trvání, výpočet maximálních průtoků a objemů povodňových vln vyvolaných dešti zadané doby trvání a intenzity, odvození tvaru povodňových vln, hodnocení dopadů hospodářské činnosti v povodí na srážko-odtokové procesy. [14] Je zde několik variant způsobu řešení a zadávání vstupních hodnot, v této práci se řešila dvou svahová varianta, dané povodí se tedy rozdělilo na dva svahy – pravý a levý, za pomoci programu ArcGIS, který umožňuje zonální statistiku se zjistily se jejich plošné a sklonové poměry. Srážková data byla převzata z nejbližší měrné stanice Klobouky u Brna vzdálené necelých 5 km. Pro přehlednost byly výstupy a tabulka vstupů z tohoto programu přiložena níže k jednotlivým povodím.

4.3 Řešená povodí

Vybraných povodí k řešení je šest. Čtyři z nich každoročně ohrožují množstvím splavenin zastavěné území obce. Povrch těchto území je ovšem z velkého procenta zalesněn či pokryt jiným hustým porostem, což snižuje vypočtené hodnoty odtoku. Pro názornost a dostatečné množství podkladů k porovnání odtokových poměrů byly vybrány k řešení i povodí č. 5 a č. 6., kde je větší zastoupení orné půdy. Kritické body těchto dvou povodí se nachází u ústí do toku Haraska až za obcí, nejsou tedy zdrojem ohrožení. Názvy byly vybrány dle místního pojmenování lokalit, které se v řešeném povodí přímo nachází. Srážková data pro všechna povodí byla převzata z nejbližší srážkoměrné stanice Klobouky u Brna.

4.3.1 Povodí č. 1 „Na Štěpnicích“

Toto povodí se na první pohled díky hustému zalesnění (93,1% z řešené plochy) může jevit jako minimálně problémové z hlediska vnikání splavenin do intravilánu. Sběrná plocha a sklonitost je zde však tak obrovská, že opak je pravdou. Napomáhá tomu stav a konfigurace lesní cesty, která se táhne celou údolnicí, obklopují ji tak strmé svahy a není zde ani náznak odvodnění. Cesta je poměrně frekventovaná (turistická stezka, těžba) a to má za následek značně zhutněný povrch, jehož odtokové číslo CN se právě v letních měsících, kdy se objevují přívalové deště, blíží zpevněné asfaltové či betonové ploše. Na toto povodí upozorňuje i povodňový plán městyse Boleradice jako zdroj navýšení průtoků v Harasce při bleskových povodních. Roční odnos splavenin metodou MUSLE a dle poměru odnosu splavenin vyšel jako 361,26 t za rok z celého povodí.



Obrázek 6: Povodí č. 1 - jeho rozdělení na levý a pravý svah.

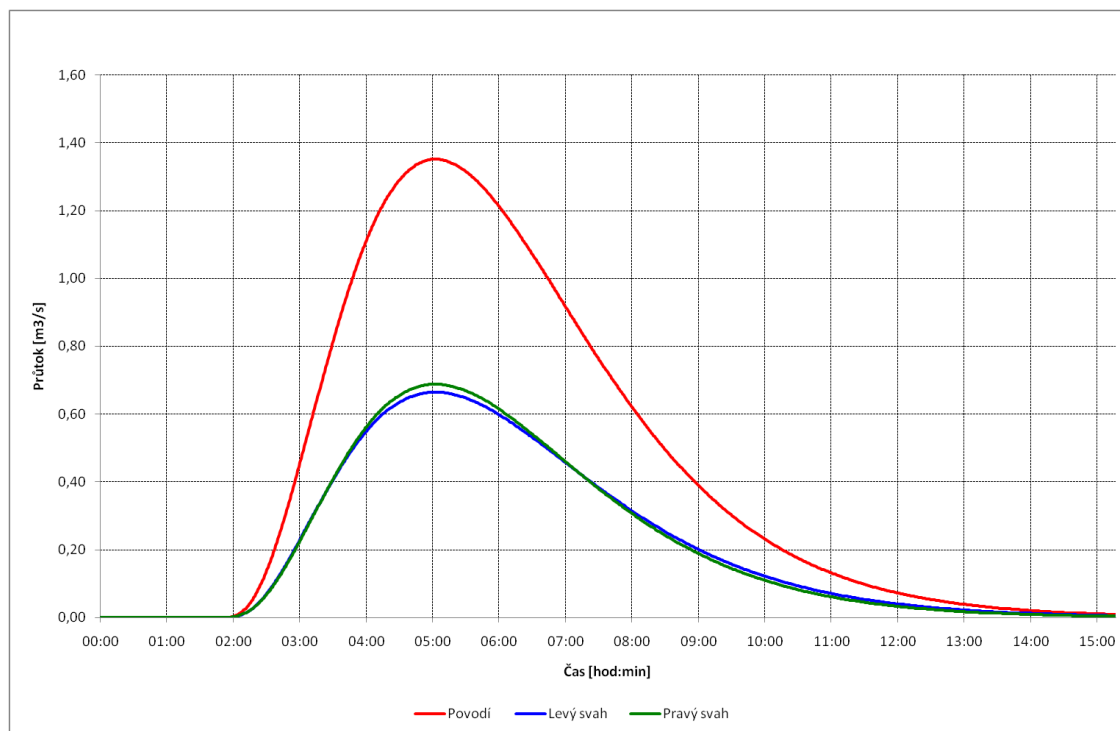
Tabulka 7: Vstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 1.

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	1,52			[km ²]
F _s	plocha svahu		0,79	0,73	[km ²]
l _s	průměrný sklon svahu		10,3	8,3	[%]
γ	drsnostní charakteristika		8,94	8,64	[sec]
L _u	délka údolnice	1,9			[km]
l _u	průměrný sklon údolnice	9,95			[%]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		65,3	66,2	[...]
N	doba opakování	5,10,20,50,100			[roky]
H _{1d5}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=5	47,5			[mm]
H _{1d10}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=10	55,1			[mm]
H _{1d20}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=20	63			[mm]
H _{1d50}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=50	72,7			[mm]
H _{1d100}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=100	80,3			[mm]

Tabulka 6: Výstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 1.

N-leté maximální průtoky a objemy povodňových vln						Jednotky
N	5	10	20	50	100	[roky]
Q _N	0,557	0,837	1,06	1,21	1,35	[m ³ .s ⁻¹]
W _{PVT}	11,8	14,4	16,2	17,4	18,3	[10 ³ .m ³]
W _{PVT,1d}	18,3	21,5	22,9	23	23,6	[10 ³ .m ³]

Graf 2: Výsledný hydrogram při navrhovaném dešti na povodí č. 1.



4.3.2 Povodí č. 2 „Kukle“

„Kukelské“ povodí charakterizují stejné prvky jako „Na Štěpnicích“. Rovněž je uvedeno v povodňovém plánu jako možný zdroj povodňového ohrožení. Je zde výraznější podíl orné půdy, menší průměrný sklon svahů, kratší údolnice, což se odráží v menším objemu odtoku. Roční odnos splavenin je zde 755,38 t, je to nejvíce ze všech řešených povodí.



Obrázek 7: Povodí č.2.

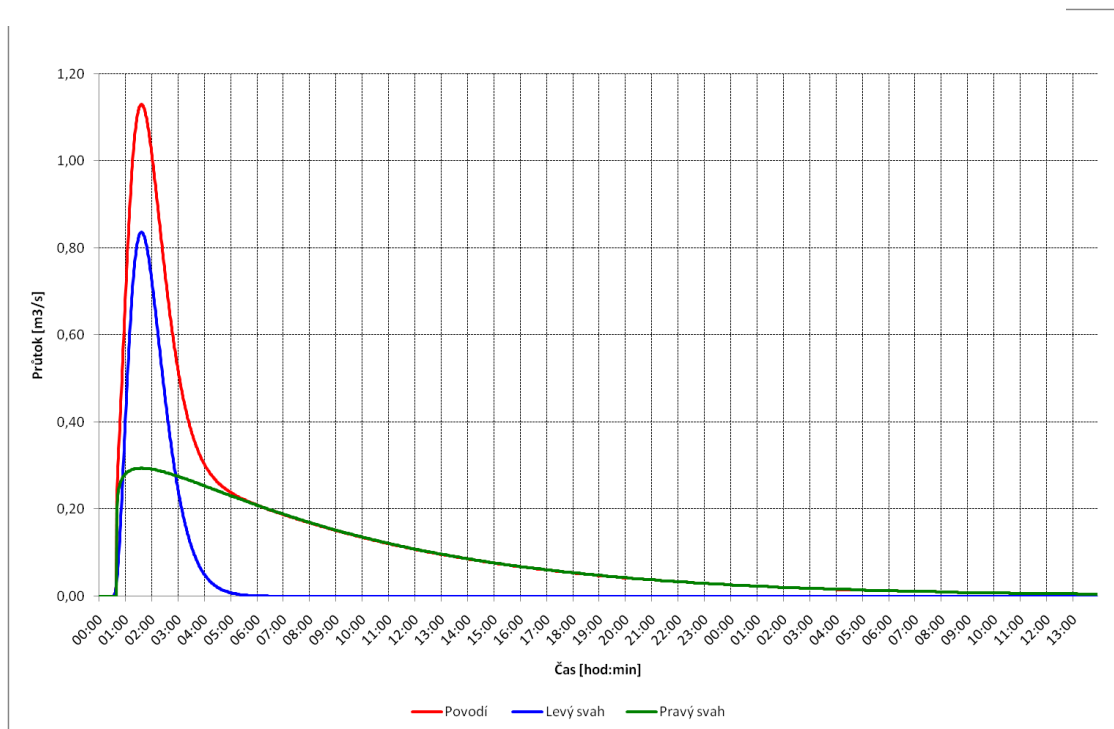
Tabulka 8: Vstupní hodnoty programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 2.

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	0,94			[km ²]
F _s	plocha svahu		0,23	0,72	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		10,6	10,9	[%]
γ	drsnotní charakteristika		7,25	8,89	[sec]
L _u	délka údolnice	1,28			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	11,28			[%]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		71,8	66,1	[...]

Tabulka 9: Výstupní hodnoty v programu DesQ –MaxQ pro povodí č. 2

N-leté maximální průtoky a objemy povodňových vln					Jednotky	
N	5	10	20	50	100	[roky]
Q _N	0,362	0,538	0,722	0,94	1,13	[m ³ .s ⁻¹]
W _{PVT}	6,13	7,39	8,49	9,27	9,98	[10 ³ .m ³]
W _{PVT,1d}	12,1	14,4	15,5	16	16,6	[10 ³ .m ³]

Graf 3: Výsledný hydrogram při navrhované dešti na povodí č. 2.



4.3.3 Povodí č. 3 „Mezihorky“

„Mezihorky“ jsou nejmenší ze všech šesti řešených ploch. Morfologie je zde opět tak nešťastná, že i přes realizace opatření pro usměrnění odtoku (přikopy a kanál sveden do stokové sítě přímo v kritickém bodu) si voda hledá svou vlastní přirozenou cestu. Při přívalových deštích jde odtok přímo kolmo přes zpevněnou polní cestu, kterou poškozují. Polní cesta vede k rozhledně, což je dosti výmluvný fakt, který napovídá, že jde o povodí s největším průměrným sklonem svahů i údolnice. Pokud není odtok schopen pojmout výše zmíněný kanál, splaveniny se šíří po obecní komunikaci přímo do centra obce. Množství odnosu splavenin na povodí za rok je 210,53 t.



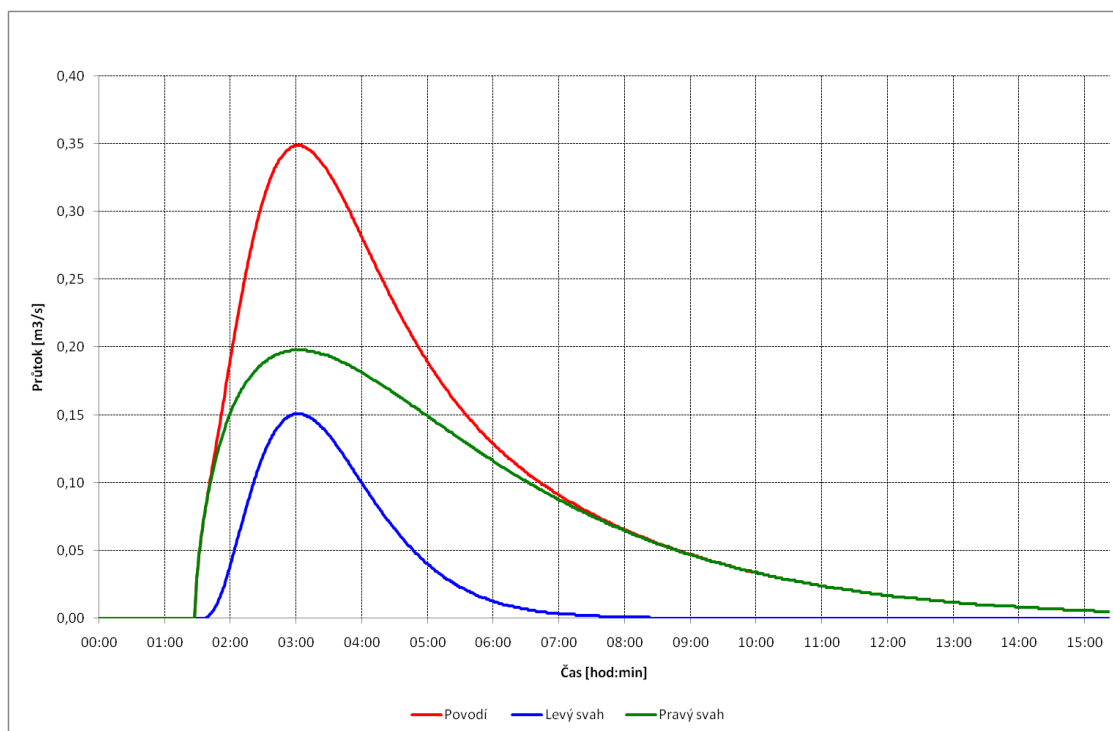
Obrázek 8: Povodí č.3.

Tabulka 10: Vstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 3.

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	0,52			[km ²]
F _s	plocha svahu		0,14	0,38	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		16,5	15,2	[%]
γ	drsnostní charakteristika		6,97	7,14	[sec]
L _u	délka údolnice	1,08			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	13,87			[%]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		58,7	60,3	[...]

Tabulka 11: Výstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 3.

N-leté maximální průtoky a objemy povodňových vln						Jednotky
N	5	10	20	50	100	[roky]
Q _N	0,21	0,288	0,335	0,341	0,349	[m ³ .s ⁻¹]
W _{PVT}	3,1	3,62	3,89	3,87	3,4	[10 ³ .m ³]
W _{PVT,1d}	5,11	5,86	5,92	5,39	5,15	[10 ³ .m ³]



Graf 4: Výsledný hydrogram při navrhovaném dešti na povodí č. 3.

4.3.4 Povodí č. 4 „Od rozhledny“

Údolnice v povodí se táhne bezmála 2 km přímo od rozhledny až k místnímu JZD. Přímo v dráze soustředěného odtoku je asfaltová polní cesta, její stav odpovídá umístění. U rozhledny se z kopce táhnou lány vinic se zatravněným mezi řadím a mírným náznakem kaskádovitého členění. Ani takováto protierozní osvícenost místních zemědělců nebrání tomu, aby během přívalových dešťů docházelo doslova k zaplavení komunikace III. třídy, která spojuje Boleradice s Morkůvkama. Jde o kritický bod, který se nachází u JZD. Odnoš splavenin na tomto povodí činí 755,15 t, což je po povodí 2 nejvíce ze všech řešených povodích.

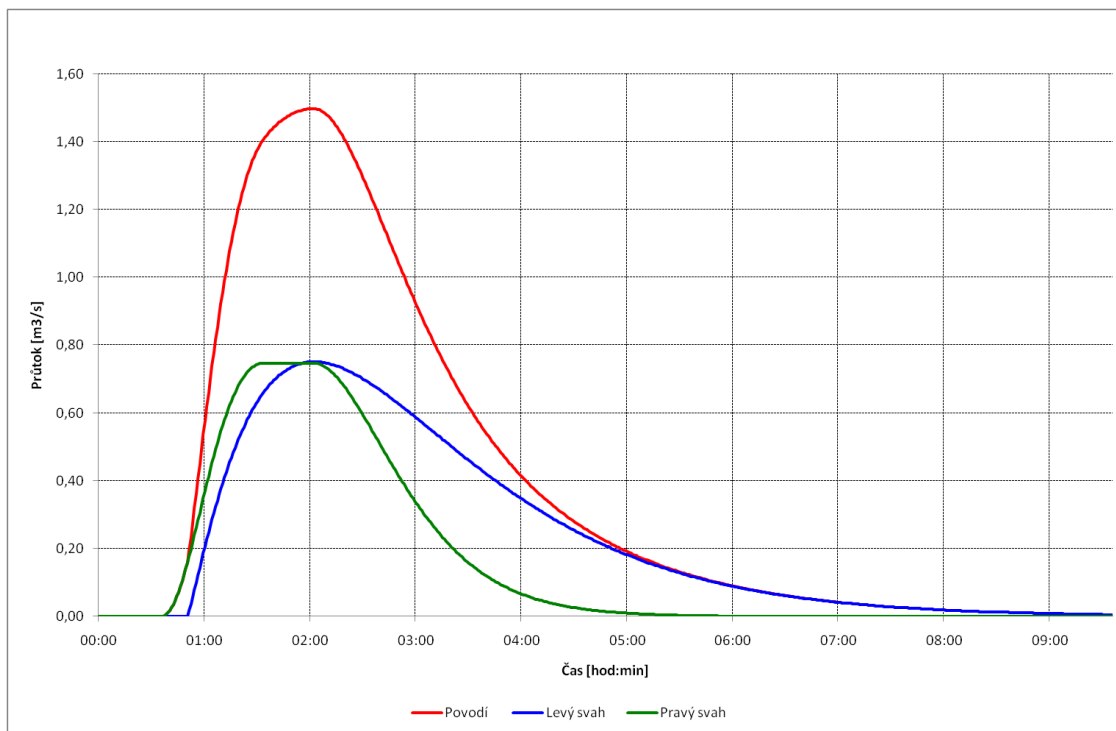
Tabulka 12: Vstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 4.

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	0,77			[km ²]
F _s	plocha svahu		0,55	0,22	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		12,2	7,1	[%]
γ	drsnotní charakteristika		6,58	7,18	[sec]
L _u	délka údolnice	1,98			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	8,06			[%]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		64,9	73,3	[...]

Tabulka 13: Výstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 4.

N-leté maximální průtoky a objemy povodňových vln						Jednotky
N	5	10	20	50	100	[roky]
Q_N	0,526	0,763	1,01	1,27	1,5	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
W_{PVT}	5,57	6,79	7,38	8,45	9,27	$[10^3 \cdot m^3]$
$W_{PVT,1d}$	9,89	11,7	12,7	13	13,5	$[10^3 \cdot m^3]$

Graf 5: Výsledný hydrogram při navrhovaném dešti na povodí č. 4.



Obrázek 9: Povodí č. 4.

4.3.5 Povodí č. 5 „Od Bojanovska“

Největší řešená plocha – rozloha činí přes 2 km². Mohlo by se zdát, že hranicí povodí na straně mezi Boleradicemi a Horními Bojanovicemi bude silnice III. třídy, která obě obce spojuje. Ve skutečnosti se povodí táhne až k hranicím KÚ. Je to díky propustku vedeným pod komunikací. Údolnici z velké části tvoří potůček, který je zaznamenán ve všech mapách. Jde však o velmi málo vodný tok, který je nestálý a v letních měsících vysychá. Jeho dráha se jeví spíše jako odvodňovací příkop. Podél potůčku vede asfaltová polní cesta, která je ve velmi dobrém stavu, je to zejména díky dostatečné kapacitě příkopu a zachování jeho přirozené dráhy. V jarních měsících jsou na polích pod propustkem bažiny. U zaústění potůčku do toku Haraska (kritický bod) jsou poměrně rozlehlé nivy. Množství splavenin, které se odtud dostávají ročně do Harasky činí 458,96 t.



Obrázek 10: Povodí č.5 a 6.

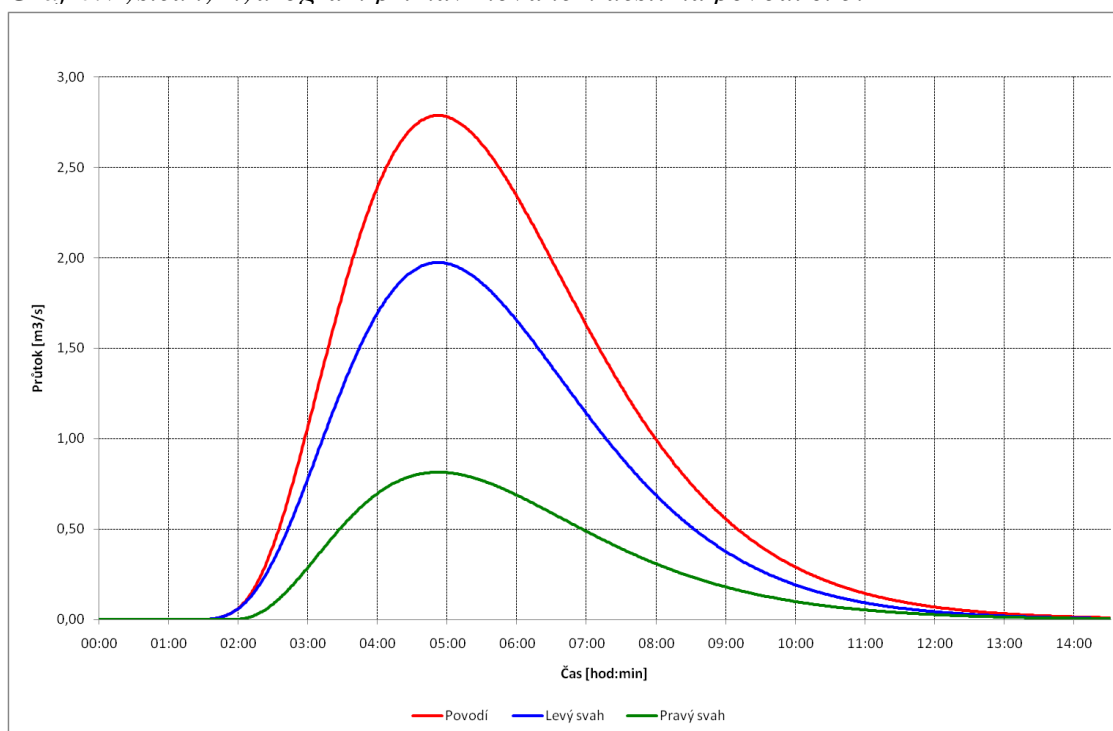
Tabulka 15: Vstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 5.

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	2,18			[km ²]
F _s	plocha svahu		1,29	0,89	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		5,2	7,9	[%]
γ	drsnostní charakteristika		7,02	7,44	[sec]
L _u	délka údolnice	2,04			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	3,14			[%]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		73	65	[...]

Tabulka 14: Výstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 5.

N-leté maximální průtoky a objemy povodňových vln						Jednotky
N	5	10	20	50	100	[roky]
Q _N	0,888	1,34	1,82	2,36	2,79	[m ³ .s ⁻¹]
W _{PVT}	19,9	24,7	28,6	32,6	35,6	[10 ³ .m ³]
W _{PVT,1d}	30,5	36,3	39,9	42,1	44,5	[10 ³ .m ³]

Graf 6: Výsledný hydrogram při navrhovaném dešti na povodí č. 5.



4.3.6 Povodí č. 6 „Pod Kutinovem“

Plochu zaujímá orná půda téměř rovným dílem jako lesy. Povodí ústí do Harasky až na samém konci zastavěného území městyse. Orná půda v dolní části povodí je velkou část roku značně podmáčená. Celkový odnos splavenin, které se dostávají do místního toku činí 168 t za rok.

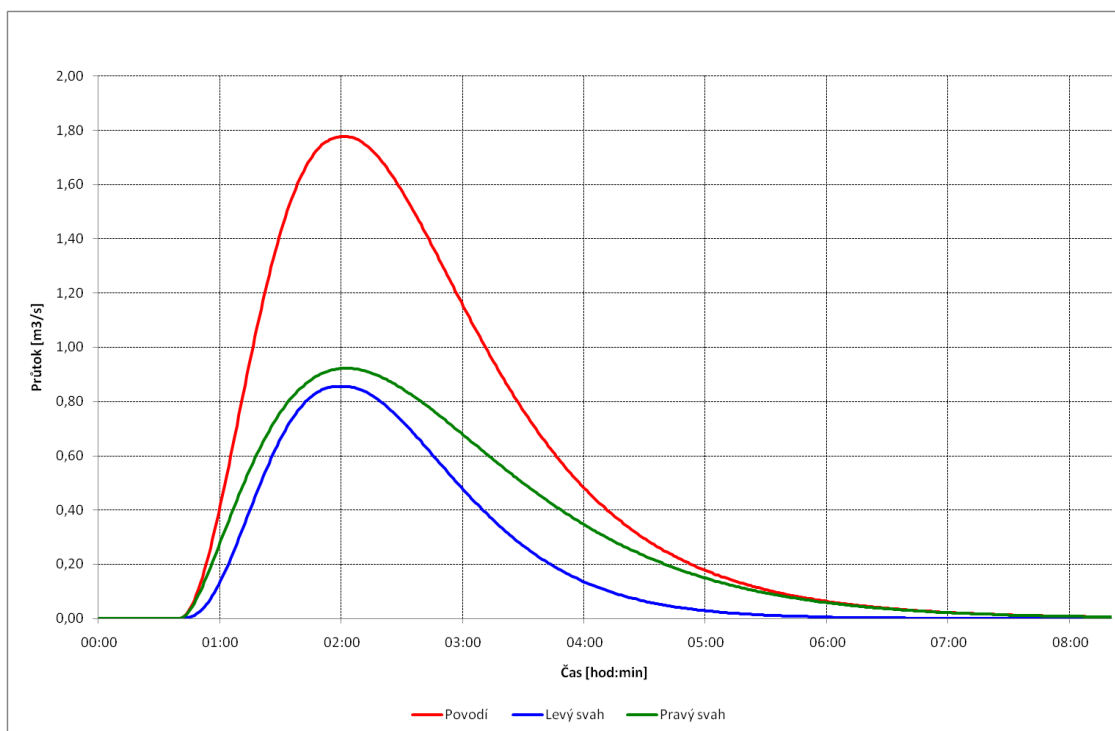
Tabulka 16: Vstupní hodnoty v programu DesQ –MaxQ pro povodí č. 6.

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	0,73			[km ²]
F _s	plocha svahu		0,29	0,44	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		8,7	8,1	[%]
γ	drsnotní charakteristika		7,51	7,15	[sec]
L _u	délka údolnice	1,59			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	6,68			[%]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		70,2	69,8	[...]

Tabulka 17: Vstupní hodnoty v programu DesQ –MaxQ pro povodí č. 6.

N-leté maximální průtoky a objemy povodňových vln						Jednotky
N	5	10	20	50	100	[roky]
Q _N	0,511	0,77	1,07	1,45	1,78	[m ³ .s ⁻¹]
W _{PVT}	5,42	6,67	7,93	9,34	10,5	[10 ³ .m ³]
W _{PVT,1d}	10,2	12,2	13,4	14,1	14,9	[10 ³ .m ³]

Graf 7: Výsledný hydrogram při navrhovaném dešti na povodí č. 6.



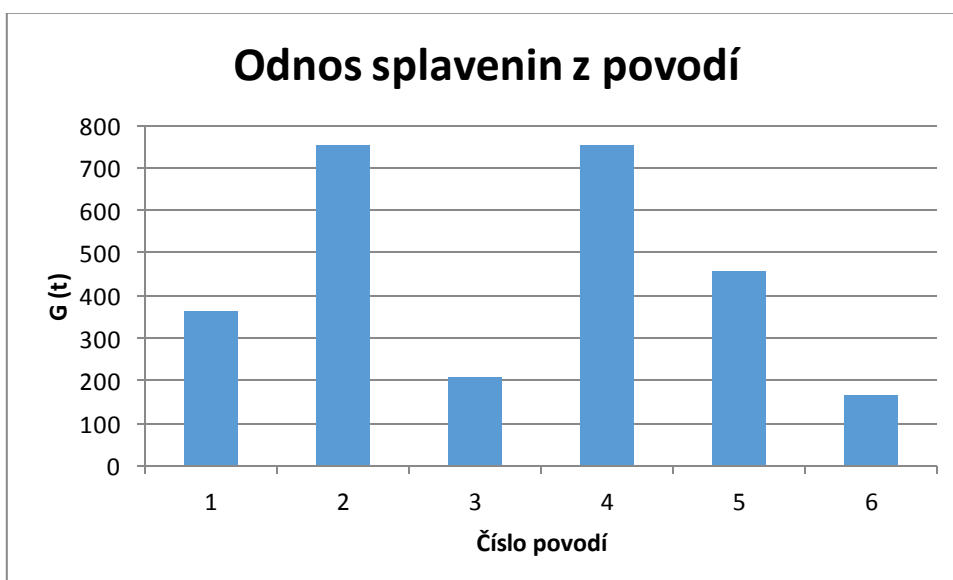
5 Výsledky a jejich interpretace

V tabulce č. 18 jsou odstíny červené vyznačena tři povodí s největším poměrem odnosu. Všechna tato povodí mají číslo CN kolem 69-70, což je z řešených povodí hodnota nejvyšší a v tomhle případě jde o rozhodující faktor množství odnosu. Reliéfový poměr se zdá být také značný hybatel hodnotou odnosu, ovšem opak je pravdou; u povodí č. 3, které má nejnižší číslo CN (59) a zároveň nejvyšší reliéfový poměr (213 m/km) je odnos pouze 47,5 %. Rozhodující plochy z hlediska vzniku splavenin, které se dostanou z povodí a ohrožují tak vodní toky, nádrže nebo dokonce přímo obec jsou povodí 2 a 4, jde o povodí s objemem přímého odtoku přes 9000 m³, což je na řešenou oblast hodně. Odnos navýšil také faktor délky a sklonu svahu.

Tabulka 18: Odnos splavenin z jednotlivých povodí.

Povodí	Poměr odnosu [%]	Odnos [t]
1	45,6	361,26
2	89,1	755,38
3	47,5	210,53
4	79,6	755,15
5	46,1	458,96
6	72,9	168,00

Graf 8: Odnos splavenin z jednotlivých povodí.



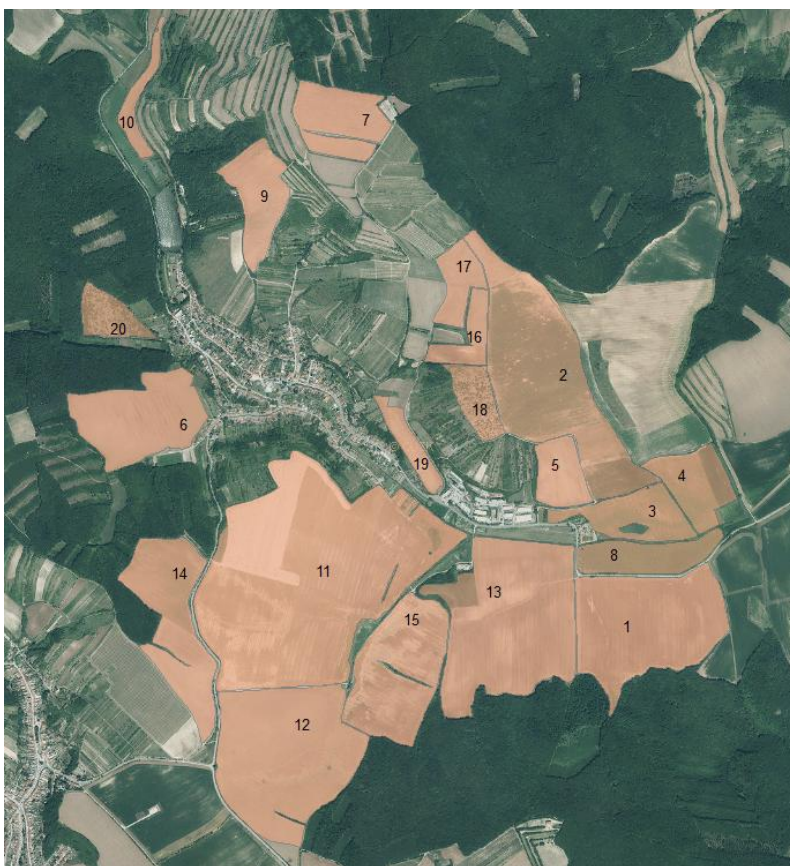
Největší kulminační průtok a objem povodňové vlny je na povodí č. 5, jak je možné vyčíst z tabulky níže. Objem je téměř jednou tolik větší než u povodí č. 1. Tuto skutečnost lze přikládat především ploše povodí (2,18 km²), která je poměrně výrazně větší než u povodí č. 1 (1,52 km²). Rozdíl mezi těmito dvěma rozlohou nejbližšími povodími je v číslu CN a to o celé 4. Další faktor lze tedy shledat ve způsobu využití pozemků a jejich pokryvu, který ovlivňuje infiltrační schopnost půdy. Povodí č. 3 má naopak objem a kulminační průtok nejnižší, lze to vysvětlit recipročně nejmenší sběrnou plochou ze všech řešených a nejnižší hodnotou CN. Na těchto dvou příkladech se může zdát, že na sobě objem a průtok závisí přímo úměrně. Není tomu ovšem vždy tak, jak lze všimnout v tabulce 19 při porovnání povodí 2 a 4. „Dvojka“ má vyšší objem a zároveň menší průtok než „čtyřka“. Dalo by se to přisuzovat nižší hodnotě CN (68,9 < 69,1), dále má o téměř 700 m kratší údolnici, ovšem s větším sklonem (11,28% > 8,06%), záleží tedy výrazně na variaci těchto faktorů. Podíváme-li se na hydrogramy, vidíme u povodí č. 2, které je z výrazné části tvořeno lesy a má minimum zemědělsky obhospodařovaných pozemků, rychlý vzestup povodňové vlny a opravdu dlouhou sestupnou větev (dobu doběhu – součást doby koncentrace). Intenzifikace zemědělského využití pozemků v krajině obvykle zkracuje dobu koncentrace, čímž se zvyšuje vrcholový průtok. [4] Není na místě opomenout také informaci, že velikost objemu i kulminačního průtoku je mj. ovlivňována velikostí, intenzitou, dobou trvání, rozložením srážek na povodí. [16]

Tabulka 19: Objem povodňové vlny a kulminační průtok na jednotlivých povodích.

Povodí	1	2	3	4	5	6
W ₁₀₀ [m ³]	18300	9980	3400	9270	35600	10500
Q ₁₀₀ [m ³ /s]	1,35	1,13	0,349	1,5	2,79	1,78

Pro vyhodnocení erozního smyvu z bloků LPIS byly pro přehlednost do tabulky níže zařazeny jen plochy erozně uzavřených celků (EUC) větší jak 4 ha, jejich označení je uvedeno na obrázku č. 12. Nejintenzivněji se eroze projevuje na pozemku č. 16 a 17 to více než 50 t . ha⁻¹ . rok⁻¹. Jde o plochy spadající do povodí č. 4 – „Od rozhledny“, které si své „prvenství“ odnáší i za množství odnosu splavenin, korelace mezi splaveninami a erozními procesy je tak zjevná. Jde o území s průměrným sklonem kolem 15,2 %, což je zde rozhodující faktor pro nadměrnou erozi. Výsledný erozní odnos zde 12,5 krát přesahuje hodnotu přípustné ztráty půdy 4 t . ha⁻¹ . rok⁻¹.

Z tabulky 20 plyne, že na čtrnácti z dvaceti řešených pozemcích je území ohroženo vysokou a kritickou vodní erozí, primárním faktorem je zde rovněž obrovská sklonitost. V tabulce 21 je uvedena kvantifikace ploch dle stupně ohroženosti. 85,9 % ploch větších jak 4 ha je ohroženo kriticky, v případě Boleradic by se dalo říci až nadkriticky. Takováto místa by se měla zatravnit a vůbec zemědělsky neobhospodařovat. Na pozemku č. 20 je odnos půdy nulový. Je to z důvodu toho, že jako jediný není ornou půdou, ale dle LPIS jde o trvalý travní porost (konkrétně v současnosti využíván jako sad), do výpočtu tedy zasáhl významnou rolí faktor ochranného vlivu vegetace. Celý pozemek obléhají lesy, je tedy erozně dobře chráněn. Průměrný sklon této plochy se pohybuje okolo 7,5%, což na Boleradické poměry není až tak výrazné, plocha pozemku činí 5,9 ha, je zde tedy poměrně krátká odtoková dráha. Faktoru délky svahu však nelze přikládat přílišnou váhu. V tabulce 19 je vidno, že plocha s největším erozním smyvem má rozlohu cca o půl hektaru menší než pozemek se smyvem nulovým. Opět se potvrzuje fakt, že hlavní vahou ve výpočtu USLE je v tomto území sklon. Opět se potvrzuje fakt, že hlavní vahou ve výpočtu USLE je v tomto území sklon.



Obrázek 11: EUC o rozloze nad 4 ha a jejich číselné označení.

Tabulka 20: Průměrný odnos půdy na jednotlivých EUC.

Označení	Výměra [ha]	G [t/ha/rok]	Označení	Výměra [ha]	G [t/ha/rok]
16	5.30	53	14	23.49	29
17	6.39	51	7	5.08	28
2	55.43	49	13	47.15	25
5	7.57	49	18	6.38	23
15	25.97	46	19	4.77	22
6	22.19	39	3	33.18	12
11	94.33	34	4	11.53	9
9	10.32	32	10	4.09	9
1	35.41	31	8	10.07	4
12	43.91	29	20	5.85	0

Tabulka 21: Stupeň vodní eroze na EUC - zatřídění řešených ploch dle MŽP.

	Stupeň vodní eroze na EUC		
	Přijatelná a nízká	Střední	Vysoká a kritická
	<10,9 t/ha/rok	11-21,9 t/ha/rok	>22 t/ha/rok
Plocha [ha]	31,54	33	393,69
%	6,9	7,2	85,9

V tabulce č. 22 jsou uvedeny tři nejvýrazněji postižené plochy bloků LPIS bez ohledu na výměru a příslušné uživatelské kódy. Není náhodou, že tyto bloky se nacházejí na povodí č. 4 „Od rozhledny“ potvrzuje se tak výše uvedená úvaha, že jde o nejproblematičtější plochu.

Tabulka 22: Bloky LPIS postižené největším erozním odnosem, příslušným uživatelským kódem, identifikovány jedinečným národním kódem.

NKODFB	ID uživatele	Plocha [ha]	G [t/ha/rok]
586118604/1	45921	0,43	64,24
585118410	64681	0,81	53,33
584118701/4	46540	5,30	53,23

Dále byl na blocích LPIS popř. pouze jeho částí spadajících do jednotlivých ploch povodí stanoven erozní smyv pro každé povodí. Hodnoty G pro příslušné povodí se sečetly a podělily počtem bloků. Největší hodnota odnosu půdy je na povodí č. 5, což koresponduje s množstvím orné půdy (81% z celkové plochy povodí). Naopak nejnižší erozní smyv je na sběrné ploše č. 1. Jde o plochu s největším procentem zalesnění

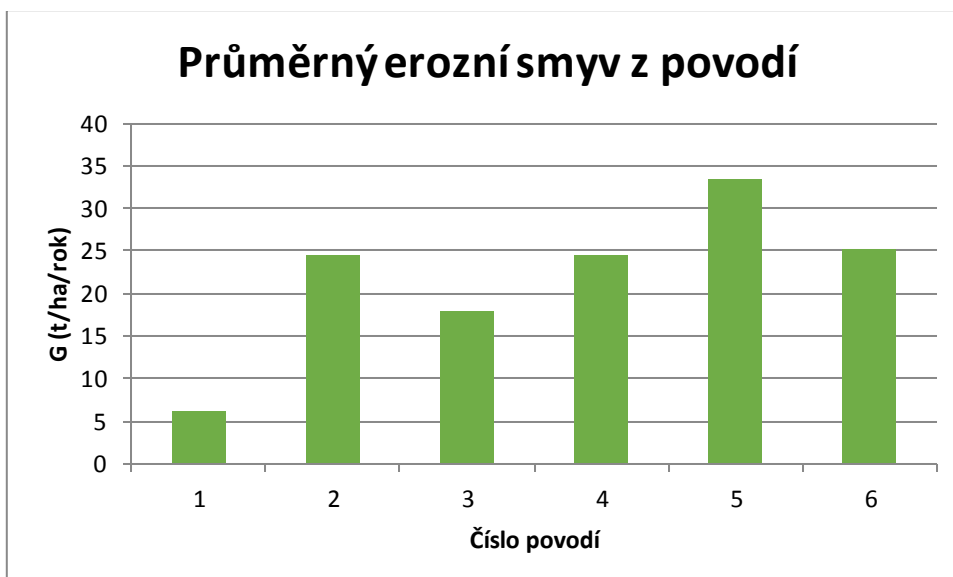
a zemědělských bloků je zde pomálu (6,5% z celkové plochy povodí). Dá se tedy říci, že o množství odnosu půdy rozhoduje poměrně logicky podíl orné půdy na daném povodí. Pro přehlednost je uveden sloupcový graf podobně jako u splavenin.

Stojí za to, si také povšimnout, že ani povodí s nejmenší průměrnou hodnotou nesplňuje hodnotu minimální přípustné ztráty půdy $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, to opět prokazuje nešťastnou konfiguraci terénu Boleradic.

Tabulka 23: Průměrný odnos půdy z bloků LPIS v jednotlivých povodích.

Povodí	1	2	3	4	5	6
G [t/ha/rok]	6,28	24,52	18,00	24,40	33,49	25,11

Graf 9: Průměrný erozní smyv z jednotlivých povodí.



Jak bylo zmíněno v úvodu, je nutné si uvědomit také fakt, že výrazná eroze probíhá i v drahách soustředěného odtoku. Právě ztráta z efemerních rýh často dominuje ostatním složkám podílejících se na celkovém odnosu půdy z povodí. Hodnota plošné eroze vypočtená metodou USLE se tak může navýšit na orné půdě i více než dvojnásobně. [3] V KÚ Boleradice činí počet významných DSO 12, jejich délka není zanedbatelná, ovšem níže uvedeny jsou délky pouze pro řešená povodí. Největší rýhová eroze probíhá na povodí č. 5 „Od Bojanovska“, dráhy soustředěného odtoku mají celkovou délku více než 12 km a vedou přes ornou půdu ze 83,8 % vlastních délek.

Tabulka 24: Délky DSO

Povodí	1	2	3	4	5	6
Délka DSO [km]	6,93	4,10	3,05	2,62	12,06	3,51
Podíl na orné půdě [km]	0,18	0,80	0,37	0,49	10,11	2,49
Podíl na orné půdě [%]	2,57	19,59	12,09	18,52	83,81	71,05

6 Fotodokumentace

Následující fotografie byly pořízeny ve 2. polovině května 2016, pole byly již pokryté plodinami a tak nebylo možné zdokumentovat zemědělské plochy postižené erozí, které jsou zde v jiných měsících zřetelně viditelné.



Obrázek 12: "Na Štěpnicích" - hlavní dráha soustředěného povrchového odtoku vede skrz celé povodí v lesní cestě.



Obrázek 13: "Kukle" - eroze probíhá i v lesích.



Obrázek 14: "Mezihorky" - hned nad intravilánem u kritického bodu se nachází suchá nádrž, která je během intenzivních dešťových událostí plná a částečně chrání obec.



Obrázek 15: "Od rozhledny" - asfaltová polní cesta stojí přímo v dráze soustředěného povrchového odtoku a je jím opakovaně poškozována.



Obrázek 16: "Od Bojanovska" - údolí, ze kterého vnikají splaveniny do Harasky.

7 Závěr

Z dostupných údajů o katastrálním území a použitých výpočtových metod byly vyhodnoceny erozní a odtokové poměry v jednotlivých povodích. Míru erozní ohroženosti ovlivňuje především umístění pozemků ZPF na příliš sklonitých svazích a jejich výměra. Místním zemědělcům zdaleka nestačí pro ochranu své půdy dodržovat orbu po vrstevnicích a vyhýbání se erozně nebezpečným plodinám tak, jak to dělali do teď. Plochy překračující přípustnou ztrátu půdy stanovenou v MZ ČR je zapotřebí pokrýt travním porostem nebo alespoň rozdělit na menší plochy zatravněnými pásy. Takováto opatření by také eliminovala množství splavenin vnikajících do intravilánu nebo vodních toků. Boleradice se každoročně potýkají se silnými přívalovými dešti, které poškozují majetek obce. Přesto je zde stále malá snaha zadržovat vodu v krajině, což zatěžuje stávající systém odvodnění ze sběrných ploch. I ten by se dal vyhodnotit jako nedostatečný. Podél polních cest mnohdy chybějí příkopy, pokud však cestu lemují, často nerespektují přirozenou dráhu odtoku a při mimořádných srážkových událostech si voda „hledá“ cestu mimo svodné zařízení. Dobrým začátkem vodohospodářských opatření se jeví nedávné vybudování suchého poldru nad rybníkem a nezbývá tak než doufat, že obec bude pokračovat nejen v ochraně obyvatel před povodněmi, ale rovněž začne řešit splaveniny, které s sebou odnáší nejcennější vlastnosti půdy.

8 Použitá literatura

1. DUMBROVSKÝ, Miroslav. *Nepříznivé důsledky povrchového odtoku a jejich eliminace v procesu pozemkových úprav*. Brno : VUTIUM, 2013. ISSN 123-418X.
2. ZACHAR, Dušan. *Erózia pôdy*. Bratislava : SAV, 1960.
3. DROGNOVÁ, Kateřina, SOBOTKOVÁ, Veronika. *Projevy vodní eroze v drahách soustředěného odtoku*. místo neznámé : Littera Scripta, 2013. ISSN 1805-9112.
4. JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha : Powerprint, 2012. 978-80-87415-42-9.
5. HRUBAN, Robert. [www.moravske-karpaty.cz](http://moravske-karpaty.cz). *Moravské Karpaty*. [Online] 10. 4 2014. <http://moravske-karpaty.cz/>.
6. Ministerstvo zemědělství. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 327/1998 Sb., kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci. *Vyhláška*. 31. 12 1998.
7. VÚV T. G. Masaryka. Hydroekologický informační systém VÚV TGM. *Vodní toky*. [Online] 2015. <http://heis.vuv.cz/>.
8. Ministerstvo Zemědělství. Vyhláška č. 327/1998 Sb., kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci. *Příloha 2: Charakteristika hlavních půdních jednotek*. 1998.
9. WISCHMEIER, W. H. a SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: A Guide to Conservation Planning*. Washington, DC : USDA/ Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, 1978.
10. JANEČEK, M., KUBÁTOVÁ, E., PROCHÁZKOVÁ, E. *Vliv úhrnů a intenzit dešťů na ztráty půdy vodní erozí*. Praha : Vodní hospodářství, 2012. 1211-0760.
11. JANEČEK, Miloslav a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha : ISV, 2002. ISBN 85866-85-8.
12. JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika..* Praha : Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007. ISBN 978-80-254-0973-2.
13. *Závislost faktoru protierozní účinnosti vegetačního pokryvu C na klimatickém regionu*. TOMAN, F., KADLEC, M. Lednice : Bioklima - Prostředí - Hospodářství, 2002. ISBN 80-85813-99-8.
14. NOVOTNÝ, Ivan. Příručka ochrany proti vodní erozi: [aktualizované znění - leden 2014]. 2., aktualiz. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2014. ISBN 978-80-87361-33-7..
15. HRÁDEK, František a Karel KUŘÍK. *Maximální odtok z povodí: teorie svahového odtoku a hydrologický model DesQ-MAX Q*. Praha : Credit, 2001. 80-213-0782-X.
16. BUKÁČEK, M. Historické a současné povodně v povodí řeky Moravy. *Diplomová práce*. Brno : Masarykova univerzita, 1999.

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Využití ploch LPIS.	14
Tabulka 2: Využití ostatních ploch.	14
Tabulka 3: Čísla hydrologického pořadí vodního toku Haraska, zdroj: ČHMI: : Hydrologický seznam podrobného členění povodí vodních toků ČR.	16
Tabulka 4: Čísla CN použité v řešených povodích. [4]	24
Tabulka 5: HPJ vyskytující se v zájmovém území a příslušný K- faktor dle Janečka. [4]	26
Tabulka 6: Výstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 1.	29
Tabulka 7: Vstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 1.	29
Tabulka 8: Vstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 2.	31
Tabulka 9: Výstupní hodnoty v programu DesQ –MaxQ pro povodí č. 2	31
Tabulka 10: Vstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 3.	33
Tabulka 11: Výstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 3.	33
Tabulka 12: Vstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 4.	34
Tabulka 13: Výstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 4.	35
Tabulka 14: Výstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 5.	37
Tabulka 15: Vstupní hodnoty v programu DesQ–MaxQ pro povodí č. 5.	37
Tabulka 16: Vstupní hodnoty v programu DesQ –MaxQ pro povodí č. 6.	38
Tabulka 17: Vstupní hodnoty v programu DesQ –MaxQ pro povodí č. 6.	38
Tabulka 18: Odnos splavenin z jednotlivých povodí.	39
Tabulka 19: Objem povodňové vlny a kulminační průtok na jednotlivých povodích.	40
Tabulka 20: Průměrný odnos půdy na jednotlivých EUC.	42
Tabulka 21: Stupeň vodní eroze na EUC - zařazení řešených ploch dle MŽP.	42
Tabulka 22: Bloky LPIS postižené největším erozním odnosem, příslušným uživatelským kódem, identifikovány jedinečným národním kódem.	42
Tabulka 23: Průměrný odnos půdy z bloků LPIS v jednotlivých povodích.	43
Tabulka 24: Délky DSO	44

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Plošná lokalizace druhů pozemků.....	15
Obrázek 3: Geomorfologické rozdělení Boleradické vrchoviny [5].	17
Obrázek 2: Hydrografická síť.	17
Obrázek 4: HPJ v katastrálním území Boleradice.	19
Obrázek 5: Mapa míry erozního ohrožení	27
Obrázek 6: Povodí č. 1 - jeho rozdělení na levý a pravý svah.....	29
Obrázek 7: Povodí č.2.....	31
Obrázek 8:Povodí č.3.....	33
Obrázek 9:Povodí č.4.....	35
Obrázek 10: Povodí č.5 a 6.	36
Obrázek 11: EUC o rozloze nad 4 ha a jejich číselné označení.	41
Obrázek 12: "Na Štěpnicích" - hlavní dráha soustředěného povrchového odtoku vede skrz celé povodí v lesní cestě.	45
Obrázek 13: "Kukle" - eroze probíhá i v lesích.	46
Obrázek 14: "Mezihorky"- hned nad intravilánem u kritického bodu se nachází suchá nádrž, která je během intenzivních dešťových událostí plná a částečně chrání obec.	46
Obrázek 15:"Od rozhledny" - asfaltová polní cesta stojí přímo v dráze soustředěného povrchového odtoku a je jím opakovaně poškozována.	47
Obrázek 16: "Od Bojanovska"- údolí, ze kterého vnikají splaveniny do Harasky.....	47

11 Seznam příloh

Veškeré níže uvedené soubory jsou nahrané na přiloženém CD.

Příloha č. 1 – Mapa hydrologických poměrů M 1:15 000 (.pdf)

Příloha č. 2 – Mapa erozní ohroženosti M 1:12 000 (.pdf)

Příloha č. 3 – Výpočty (.xlsx)