

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra biotechnických úprav krajiny



Studie erozní ohroženosti zemědělského pozemku
v katastrálním území obce Řetová

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Miloslav Janeček DrSc.

Vypracoval: Jan Hřčka

2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Studie erozní ohroženosti zemědělského pozemku v katastrálním území obce Řetová“ vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které uvádím v příložené bibliografii.

Tímto zároveň prohlašuji, že data bezplatně zapůjčená z Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního (ZABAGED - polohopis, ZABAGED - výškopis) a data bezplatně zapůjčená z Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (mapy BPEJ) budou použita pouze na vypracování této diplomové práce a její výsledky nebudou dále použity, ani pro komerční účely.

V Praze, dne 12.4.2016

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Prof. Ing. Miloslavu Janečkovi DrSc., Ing. Michaele Hrabalíkové a Ing. Marii Kudrnáčové za pomoc při vypracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval za pomoc Ing. Milanu Čapkovi ze Zemědělského družstva Sloupnice a Ing. Kateřině Štěpánkové ze Státního zemědělského intervenčního fondu a všeobecně těm, kteří se mnou měli během zpracování práce trpělivost.

Abstrakt:

Diplomová práce řeší problematiku protierozní ochrany zemědělsky využívaného svahu v katastrálním území obce Řetová. Cílem práce je zjistit stupeň ohrožení pozemku erozí a ohroženosti obce před povrchovým odtokem z přívalové srážky. Ke zpracování údajů je použita univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), simulační model povrchového odtoku a erozních procesů (SMODERP) a metoda CN - křivek. Na základě výsledných hodnot je navrženo optimální řešení na ochranu svahu před erozí a ochranu obce před povodněmi.

Klíčová slova: eroze, protierozní opatření, povrchový odtok, USLE, SMODERP, metoda CN - křivek.

Abstract:

This thesis addresses the issue of erosion protection of the farmed hillside in the cadastral area of municipality of Řetová. The aim is to determine the degree of threat of land erosion and vulnerability of the village against run-off from heavy rains. The universal soil loss equation (USLE), simulation model of surface runoff and erosion processes (SMODERP) and the CN - curves method are used for data processing. The optimal solution of protection the slope from erosion and protection the village against floods basing on the resulting values is designed.

Keywords: erosion, erosion control measures, surface run-off, USLE, SMODERP method, CN - curves.

Obsah

1	Úvod.....	7
1.1	Cíle diplomové práce	8
2	Vodní eroze	9
2.1	Příčiny vodní eroze	13
2.1.1	Klimatické faktory	13
2.1.2	Morfologické faktory	13
2.1.3	Geologické a půdní faktory	14
2.1.4	Vegetační poměry	15
2.1.5	Hospodářsko-technické poměry.....	15
2.2	Opatření proti vodní erozi	16
2.2.1	Organizační opatření	17
2.2.2	Agrotechnická opatření	20
2.2.3	Technická opatření	21
2.3	Metody pro hodnocení ohroženosti území vodní erozí.....	27
3	Popis zájmového území.....	28
3.1	Současný osevnický postup a protierozní opatření	29
4	Charakteristika zájmového území	30
4.1	Klimatické poměry	30
4.2	Půdní poměry	32
4.3	Geologické a Hydrogeologické poměry.....	35
4.3.1	Geologické poměry	35
4.3.2	Hydrogeologické poměry.....	35
5	Erozní modely – určení erozní ohroženosti pozemku.....	37
5.1	ArcGIS – Příprava dat.....	37
5.2	USLE-Univerzální rovnice ztráty půdy	38
5.2.1	Průměrná dlouhodobá ztráta půdy G.....	38
5.2.2	Faktor R.....	39
5.2.3	Faktor K	39
5.2.4	Faktor L.....	39
5.2.5	Faktor S	40
5.2.6	Faktor P	42
5.2.7	Faktor C.....	42
5.3	SMODERP	44
5.3.1	Využití modelu.....	44
5.3.2	Posouzení erozní ohroženosti.....	44
5.3.3	Vstupy	46
5.3.4	Práce s modelem SMODERP.....	49
5.4	Metoda CN – křivek.....	50
5.4.1	Objem přímého odtoku	51
5.4.2	Kulminační průtok	58
5.4.3	Doba doběhu a koncentrace povrchového odtoku	60
5.4.4	Výpočet objemu přímého odtoku metodou čísel odtokových křivek	65
6	Návrh technických opatření	67
6.1	Návrh a dimenzování protierozních hrázek	67

6.1.1	Výpočet výšky protierozních hrázek.....	67
6.1.2	Doba prázdnění akumulčního prostoru hráze.....	68
6.1.3	Výpočet bezpečnostního přelivu.....	74
6.1.4	Návrh průtoku dešťových vod odpadním potrubím kruhového přelivu	76
6.1.5	Objekty na odpadním potrubí.....	81
6.2	Návrh ochranné suché nádrže	84
7	Souhrn	86
7.1	Ohroženost pozemku vodní erozí	86
7.1.1	Výsledky rovnice USLE	86
7.1.2	Výsledky modelu SMODERP.....	87
7.2	Návrh protierozních opatření	88
7.3	Návrh suché retenční nádrže	92
7.3.1	Výsledné hodnoty povrchového odtoku modelu SMODERP.....	92
7.3.2	Výsledné hodnoty povrchového odtoku metodou CN - křivek	93
7.3.3	Výška protierozních hrázek.....	95
7.3.4	Výpočet doby prázdnění akumulčního prostoru hráze.....	96
7.3.5	Výsledné hodnoty kruhového přelivu	97
7.3.6	Výsledný průtok dešťových vod potrubím	97
8	Diskuse.....	100
9	Závěr	101
10	Seznam použité literatury.....	102
11	Seznam obrázků a tabulek.....	105
11.1	Seznam Obrázků	105
11.2	Seznam Tabulek	106
12	Přílohy.....	108
12.1	Výsledné hodnoty pro pěstování úzkořádkové plodiny na celém zemědělském pozemku pro model SMODERP.	108
12.2	Výsledné hodnoty s použitím protierozních opatření, pro zemědělský pozemek rozdělený na pět zemědělských bloků, řešené rovnicí USLE.....	111
12.3	Výsledné hodnoty celkového odtoku řešené v modelu SMODERP.....	113
12.4	Výsledné hodnoty doby koncentrace a doby doběhu pro výpočet kulminační průtoku metodou CN – křivek.....	114

1 Úvod

Eroze je přirozený proces rozrušování a transportu objektů na zemském povrchu. Příčinou eroze je mechanické působení pohybujících se okolních látek - především větru, proudící nebo vlnící se vody, ledu, sněhu, pohyblivých zvětralin a nezpevněných usazenin. Eroze, jakožto přirozený proces, formuje vzhled celé krajiny po miliony let. Pojem „zrychlená eroze půdy“, způsobená lidskou činností, byl poprvé popsán přibližně v 80. letech minulého století, kdy začaly vznikat první práce o erozi v Severní Americe. Zrychlená eroze zemědělských půd vážně ohrožuje produkční a mimoprodukční funkce půd a vyvolává mnohamilionové škody v intravilánech měst a obcí. Největší část erozních procesů, spojených s lidskou činností, připadá na zemědělskou výrobu. Vytváření velkých oraných pozemků, od vzestupu mechanizace zemědělské techniky a centrálního plánování, a s tím spojené odstraňování trvalých překážek z krajiny, snižování hustoty hydrografické sítě a soustředění plodin nedostatečně chránící půdu (okopaniny a zejména kukuřice) do velkých celků, kdy více než polovina plochy orné půdy naší republiky je potenciálně ohrožena vodní erozí, podstatně přispívá k rozvíjení erozních procesů. Další činnosti člověka zrychlující erozní procesy půdy je zvyšující se spásání travin, nekontrolovaná těžba dřeva, stavba obydlí a komunikací. Eroze půdy ochuzuje zemědělské půdy o nejurodnější část - ornici, zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozují plodiny a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv a sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin; velké povodňové průtoky poškozují budovy, komunikace, koryta vodních toků atd. Pro optimální využití zemědělské půdy, se stále se zvyšujícím tlakem na velikost produkce (rostlinné i živočišné) a potřeb pro průmysl (textilní, petrolejářský, atd.), je potřeba zemědělskou půdu, jakožto vzácný výrobní prvek, chránit před negativními účinky eroze.

Diplomová práce se zabývá problematikou vodní eroze na zemědělsky využívaném svahu v katastrálním území obce Řetová.

1.1 Cíle diplomové práce

- Zjištění současného stavu ohroženosti pozemku vodní erozí za pomoci rovnice USLE (viz: JANEČEK, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí – metodika, Česká zemědělská univerzita v Praze a Ústřední pozemkový úřad, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 2012) a modelu SMODERP.
- Návrh opatření proti vodní erozi a protipovodňových opatření (organizační, agrotechnická, technická) za pomoci rovnice USLE (viz: JANEČEK, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí – metodika, Česká zemědělská univerzita v Praze a Ústřední pozemkový úřad, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 2012) a modelu SMODERP.
- Zjištění velikosti povrchového odtoku z pozemku a kulminačního průtoku k správnému dimenzování navrhovaných opatření proti vodní erozi a protipovodňových opatření za pomoci metody CN - křivek + ČSN 75 1400 (Hydrologické údaje povrchových vod) a modelu SMODERP + ČSN 75 4500 (Protierozní ochrana zemědělské půdy).
- Posouzení modelů USLE a SMODERP pro výpočet ohroženosti pozemku vodní erozí.
- Posouzení CN-Křivek a modelu SMODERP pro výpočet povrchového odtoku.

2 Vodní eroze

Vodní eroze

Vodní eroze je jev, při němž dochází v první fázi k uvolňování částic z povrchu půdy, v další fázi pak k transportu částic, případně k jejich ukládání. Na uvolňování částic se v rozhodující míře podílí energie dopadajících dešťových kapek, jejichž účinek je cca desetinásobně vyšší, než je energie soustředěného, a stonásobně vyšší, než je energie plošného povrchového odtoku. Naopak povrchový odtok se v rozhodující míře uplatňuje při následném transportu uvolněných půdních částic. Uplatňuje se i řada dalších doplňkových jevů – například při dopadu velkých kapek vody dochází u určitých typů půd ke kompakci (zhutnění povrchové mikrovrstvy) a tedy k dalšímu snížení propustnosti půdy a urychlení odtoku, na straně druhé však ke snížení erodovatelnosti půdy. Navíc ale již slabá vrstva vody velmi silně tlumí energii dopadajících dešťových kapek a chrání tak povrch půdy. [9]

Méně se pak hovoří o tom, že nedílnou součástí erozního procesu (respektive následného transportu erozními procesy uvolněných částí) je i transport veškerých látek, které jsou na půdní částice vázány. Jedná se zejména o nejrůznější chemické látky, z nichž nejvýznamnější jsou hnojiva (dusík a zejména fosfor) a pesticidy. Tento proces nelze od eroze oddělovat a musí být posuzován a řešen spolu s ní. [9]

Převážná část splavenin pochází z eroze zemědělských půd, nicméně významně se podílí i eroze z ploch obnažených v důsledku stavební činnosti, eroze polních a lesních nezpevněných cest, koryt břehů vodních toků při povodních, vymílání zaplavené půdy, mechanizovanou těžbou dřeva poškozené lesní půdy a ztráty půdy ze sesuvů půd, aktivních strží apod. v některých povodích může smyv pocházející z těchto zdrojů daleko převažovat nad smyvem ze zemědělské (orné) půdy. [8]

Ztráta půdy

Ztráta půdy při erozních procesech postihuje nejvíce zemědělství. Ztráta půdy je trvalá, protože ani v případech, že půda ve formě sedimentu je po svém zachycení vytěžena, pouze zcela výjimečně se vrací zpět na pozemek. Uvolňování a odnos částic se často děje ve velkém měřítku. Mnohdy se při intenzivních srážkách smyje mělká půdní vrstva a obnaží se půdní podklad, což má při dlouhodobém procesu tvorby nové půdy pro zemědělskou i lesní výrobu velmi nepříznivé důsledky. Vodní eroze postupuje selektivně – tj. odnáší nejprve nejjemnější nebo nejlehčí půdní částice. V praxi to znamená ztrátu organické složky, snížení schopnosti vázat živiny, vyrovnávat pH a vůbec celkové snížení sorpční kapacity. Spolu s jemnou frakcí půdních částic a organickým materiálem dochází k přímé ztrátě vázaných živin. Ztráta rostlinných živin znamená vedle snížení výnosu i zhoršení kvality sklizně. Při erozních procesech s nižší intenzitou dochází ke ztrátě jemných půdních částic. Tím se mění půdní textura a struktura a snižuje se vodní kapacita půdy. Při procesech vodní eroze s vyšší intenzitou, při nichž dochází ke smyvu značné části vrchního horizontu, nepřijímá nižší horizont, obvykle s menším obsahem organické hmoty a s menší propustností, v dostatečné míře srážkovou vodu, půdní profil je ochuzen o zásobu vláhy, což má v suchých obdobích výrazný vliv na vývoj vegetace. Následkem plošné eroze dochází ke změně zrnitostního složení půdy směrem po svahu. V horní části je materiál hrubozrnější, v dolní naopak převažuje jemnozrný. Následkem je nerovnoměrné rozložení vlhkosti po svahu – (horní, hrubozrnější část vysychá podstatně dříve a snadněji než jemné sedimenty v dolní části svahu). Dlouhodobé působení procesů vodní eroze snížilo podle zpracovaných bonitovaných půdně ekologických jednotek výnos na orné půdě se sklony 3°- 7° až o 5% (podle hloubky půdy), se sklonem 7°- 12° o 5 – 10%, nad 12° o 10 – 15%. Ztráta půdy rovněž vede ke snížení biodiverzity dané oblasti, protože rostlinné druhy ztrácejí svá přirozená stanoviště. [48]

Transport a sedimentace půdních částic

Půdní částice uvolněné povrchově stékající vodou jsou ukládány po poklesu jejich tangenciálního napětí a rychlosti na úpatí svahu. Jemný materiál je však transportován vodou do hydrografické sítě, v níž tvoří převážnou část splavenin. Určitý podíl částic, nesených vodou ze zemědělských nebo jiných pozemků je zachycen dříve, než se dostane do recipientu. Toto množství (tzv. „poměr odnosu“ DR – delivery ratio) závisí obecně na charakteru povodí mezi zdrojem sedimentu a recipientem. Vyskytují-li se v hojné míře v krajině prvky s vysokou drsností, brzdící odtok a zachycující splaveniny a podporující infiltraci (meze, remízky, lesy, průlehy, travní pásy, mokřady apod.), je množství půdních částic, které dosáhnou vodoteče, malé. Naopak v případě homogenních, nevhodným způsobem obdělávaných pozemků a nepřiměřeně velkých pozemků při absenci přirozených překážek je zachycení půdy v povodí velmi nízké a téměř veškerý uvolněný a nesený materiál se dostává do hydrografické sítě. Splaveniny zanáší přirozené i umělé vodní toky (plavební, odvodňovací, závlahové a jiné kanály), vodní nádrže a stavby na tocích. Dále zanášejí koryto toku a zmenšují jeho hloubku. Úroveň dna a s ní i hladina toku zvolna stoupá a postupně působí zamokření okolních pozemků. Koryto vyžaduje častější údržbu a čištění, což je jednak nákladné a jednak má negativní vliv na stabilitu a ekologickou funkci koryta. Silný zákal vody při erozních událostech negativně ovlivňují oživení toku a snižuje kvalitu vody pro její další využití. [48]

Transport chemických látek

Spolu s půdními částicemi je ze zemědělských pozemků přinášeno i velké množství živin. Jemnozrnné sedimenty v toku pak negativně ovlivňují kvalitu vody a poskytují životní podmínky organismům a rostlinám náročným na živiny ve vodě i v půdě, čímž dochází ke změnám v biologických charakteristikách toku – změna oživení i břehového porostu. Bujná vegetace zvyšuje drsnost břehů, snižuje kapacitu koryta a průtočnou rychlost, čímž se opět urychluje zanášení a zvyšuje hladina vody. Negativní dopady těchto nežádoucích skutečností se projevují zejména při povodňových situacích. Spolu s jemnými půdními částicemi jsou do toku přinášeny i toxické látky, aplikované při ochraně rostlin nebo hnojení (zejména pesticidy a těžké kovy). Živiny transportované do nádrže (hlavně N a P) jsou zdrojem eutrofizace, která sice zvyšuje biologickou hodnotu vody, ale současně hrozí kyslíkovou havárií. Splaveniny tady negativně ovlivňují kvalitu vody v nádržích. [48]

2.1 Příčiny vodní eroze

Vznik, průběh a intenzita erozního procesu je ovlivněna kombinovaným působením řady přírodních a člověkem ovlivněných podmínek. Tyto tzv. faktory eroze lze rozdělit na:

2.1.1 Klimatické faktory

Z klimatických faktorů jsou pro vznik a rozvoj erozních procesů nejvýznamnější srážky, doba jejich výskytu, doba trvání a intenzita. Pro erozní procesy jsou rozhodující srážky přívalové, charakterizované vysokou intenzitou, krátkou dobou trvání a omezeným plošným dosahem. Dále jsou to: zeměpisná poloha; nadmořská výška; povrchový odtok; teplota, oslunění, výpar; výskyt, směr a síla větrů. [10]

2.1.2 Morfologické faktory

Morfologické faktory zahrnují sklon území, délku svahu, tvar svahu, jeho členitost a expozici.

Sklon území je jedním z rozhodujících erozních faktorů. Jeho vliv na vznik a průběh erozních procesů může být ostatními činiteli (např. vegetačním krytem, stavem půdního povrchu apod.) zeslaben, avšak nikdy zcela potlačen.

Délka svahu má také nezanedbatelný vliv na intenzitu vodní eroze, ale její vliv je často nejednoznačný. Při určování erozní ohroženosti se hovoří o tzv. „přípustné nebo kritické délce svahu“, což je vzdálenost od počátku svahu, kde dochází k transformaci plošného povrchového odtoku na soustředěný a tedy k výraznějšímu rozvoji erozních procesů.

Z hlediska tvaru svahu je možno rozdělit svahy na konvexní, konkávní, přímé a kombinované. Maximální účinky eroze se projevují v místech, kde jsou kombinace sklonu a délky svahu v nejnepříznivějším poměru. Nejvyšší intenzita erozních procesů proto bývá na svazích konvexních a nejnižší na konkávních, a to při stejné délce a převýšení.

Co do prostorového uspořádání terénu, lze hovořit o svazích konvergentních a divergentních. Svahy konvergentní podporují vznik soustředěného odtoku, který výrazně akceleruje rozvoj erozních procesů.

Snížení vzniku a rozvoje erozních procesů je technicky možné úpravou morfologických faktorů. Jedná se zejména o přerušení povrchového odtoku v místech tzv. přípustné délky pozemku. Tohoto přerušení lze dosáhnout výstavbou záchytných odváděcích nebo vsakovacích příkopů, průlehů nebo vhodným návrhem umístění a tras příkopů polních cest. [10]

2.1.3 Geologické a půdní faktory

Geologické poměry působí na vznik eroze zejména nepřímo – vlastnosti půdotvorného matečního substrátu ovlivňuje důležité vlastnosti půd, zejména texturu a strukturu půdy, její vlhkost a zvrstvení, obsah minerálních látek, půdní druh a typ.

Přirozené vlastnosti půdy však mohou být ovlivněny i činností člověka. Opakovaným pojezdem těžkých mechanismů a minimalizací vstupů organických hnojiv do půdy je poškozována půdní struktura. V půdě se snižuje obsah humusu a dochází k rozpadu půdních agregátů, které jsou nositeli protierozní odolnosti půdy. Půdní částice se stávají snadněji rozplavitelné a jemné částice jsou snadno dostupné pro transport. Půda s nižším obsahem agregátů bude vykazovat podstatně vyšší množství erodovaných částic při stejném dešti, respektive půda s nižším obsahem agregátů bude erodována i při srážce, která by jinak erozivní účinek neměla, protože její intenzita by byla příliš nízká, než aby došlo k rozbití agregátů.

Důsledkem změn struktury půdy může být rovněž vznik povrchových škraloupů, tvořených jemnými půdními částicemi, vzniklými při rychlém rozplavení půdních agregátů. Tato tenká vrstva na povrchu půdy má velmi nízkou propustnost a zamezuje infiltraci srážkové vody do půdního profilu, čímž významně zvyšuje objem povrchového odtoku, a tím i erozní procesy. [8]

2.1.4 Vegetační poměry

Působení vegetace na průběh a intenzitu erozních procesů se vyznačuje ochranou půdního povrchu před přímým dopadem dešťových kapek, zlepšením vsaku srážkové vody do půdy, zpomalením a snížením povrchového odtoku, zlepšením fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy. Důležité je i zpevnění půdy kořenovým systémem vegetace.

Půdní povrch je chráněn před přímým dopadem dešťových kapek nadzemními částmi vegetace. Dochází zde k útlumu kinetické energie dopadajících kapek, a tím se snižuje riziko rozbíjení půdních agregátů. Zachycováním, odrazem a stékáním vody po nadzemních částech rostlin dochází k prodloužení doby dopadu srážkové vody na půdu. Zvětšením hydraulické drsnosti půdního povrchu dochází ke zmenšování rychlosti proudění povrchově stékající vody. Všechny tyto jevy podporují však vody do půdy, a tím zmenšují celkový povrchový odtok. Příznivý vliv na infiltrační vlastnosti půdy má i zlepšení půdních vlastností vegetací, zejména obohacení půdy o organické látky a dusík, provzdušnění půdy, mikrobiální oživení apod. Nadzemní části vegetace také zastiňují půdní povrch a vytvářejí vhodné mikroklima, které má pozitivní vliv na stabilitu půdních agregátů. [8]

2.1.5 Hospodářsko-technické poměry

Hospodářsko-technické poměry jsou charakterizovány především způsobem využívání a obhospodařování půdy, volbou a polohovým rozmístěním kultur a návrhem a realizací různých typů technických protierozních opatření.

Velice důležitým protierozním opatřením je používání vhodné agrotechniky. Jedná se zejména o vrstevnicové obdělávání pozemků, kde vrstevnicové brázdy tvoří přirozené překážky povrchovému odtoku a zvyšují výrazně povrchovou půdní retenci a infiltraci vody do půdního profilu. Zvýšení půdní vlhkosti pak působí příznivě na stabilitu půdních agregátů. [8]

2.2 Opatření proti vodní erozi

Protierozní ochranu je třeba realizovat jako komplexní systém, kombinující organizační, agrotechnické a technické prvky na ochranu půdy a regulaci povrchového odtoku zvýšením retenční a kulminační schopnosti území. [10]

Ve vyšetřovaném území se protierozní ochrana řeší ve variantách. Přednost se dává systému, který zajišťuje požadovaný stupeň protierozní ochrany a funkci protierozních opatření, minimalizuje zábor půdy a je přijatelný z hlediska finančních nákladů na realizaci. Nutnou podmínkou pro splnění těchto požadavků je dokonalá znalost faktorů, způsobujících vznik a rozvoj protierozních procesů v řešeném území. Obecně lze konstatovat, že účinný systém protierozní ochrany musí spočívat v přímé ochraně povrchu půdy před dopadem dešťových kapek, v udržení povrchového odtoku ve fázi plošného odtoku nepřekročení přípustných délek svahu na pozemcích a ve stabilizaci drah přirozené koncentrace povrchového odtoku. Z ekonomického hlediska návrhu je nutno zvážit pravděpodobnost výskytu a dobu trvání návrhové srážky a při návrhu protierozní ochrany postupovat od finančně i realizačně nejjednodušších organizačních a agrotechnických opatření k opatření technického charakteru. Při řešení protierozní ochrany v rámci komplexních pozemkových úprav je třeba v přípravném i v projektovém řešení zohlednit skutečnost, že řada protierozních prvků je součástí polyfunkční kostry pozemkové úpravy a kromě protierozní funkce plní i funkci vodohospodářskou, ekologickou, krajínotvornou atd. [10]

Klasifikace opatření proti vodní erozi vychází z ČSN 75 4500 „Protierozní ochrana zemědělské půdy“. [10]

2.2.1 Organizační opatření

Organizační opatření zahrnují:

- protierozní rozmístění plodin
- pásové pěstování plodin
- delimitace kultur
- tvar a velikost pozemku

Protierozní rozmístění plodin

Základním principem, zjišťujícím ochranu půdy proti vodní erozi, je umístění plodin s nedostatečným ochranným účinkem (širokořádkové plodiny) na rovinné nebo mírně svažité pozemky do sklonu nejvýše 8 %.

Na pozemcích orné půdy se sklony 8 % až 15 % je nutno nedostatečný protierozní ochranný účinek širokořádkových plodin zvýšit střídáním s vrstevnicovými pásy obilovin, obilovin s podsevem nebo víceletých píceňin či speciálními agrotechnickými postupy. [10]

Protierozní rozmístění plodin na orné půdě se řídí jejich protierozním účinkem. Hlavní skupiny plodin lze rozdělit do těchto kategorií [3]:

- plodiny s vysokým protierozním účinkem po celou dobu vegetace (travní porosty, jetelotrávy, jeteloviny),
- plodiny s dobrou PEO půdy po větší část vegetačního období (obilniny, meziplodiny, luskoviny),
- plodiny s nedostatečnou PEO půdy po převážnou část vegetačního období (kukuřice, slunečnice, brambory, cukrovka).

Pásové pěstování plodin

Při pásovém pěstování plodin se střídají pásy plodin s malým protierozním účinkem s pásy plodin s vyšším protierozním účinkem (travní porost, vojtěška, jetel, příp. obilovina). Toto opatření je vhodné ve sklonech 5 % až 20 %, ve sklonech nad 12% pouze za využití víceletých píceňin. Při pásovém pěstování plodin se vytvářejí přímé vrstevnicové pásy nebo pásy v odklonu do 30° od vrstevnic. Šířka pásů se stanovuje výpočtem v závislosti na sklonu a délce svahu, propustnosti a erodovatelnosti půdy, návrhové srážce, druhu a střídání plodin v osevním postupu a používané mechanizaci. Minimální šířka pásů z mechanizačního hlediska je 20 m. [10]

Delimitace kultur

Orientačním kritériem pro delimitaci kultur je z hlediska protierozní ochrany sklonitost území. [10] [3]

- svahy se sklonem vyšším než 50 % se vyčleňují pro zalesnění; podle druhu půdy a stupně erozního ohrožení se zalesňují i o menším sklonu
- trvalými travními porosty by měly být chráněny:
 - plochy svahových luk a pastviny v půdních poměrech vylučujících orbu při svažitosti 25 % až 50 %
 - místa přirozeného soustředování a odvádění povrchového odtoku na pozemcích
 - pozemky, které vyhovují kritériu svažitosti orné půdy, nelze je však využívat jako ornou půdu pro vysokou hladiny podzemní vody nebo terénní překážky, zamokřené louky s nebezpečím záplav (podél vodních toků, v okrajích rybníků apod.)
 - pozemky nad výškovou hranicí pěstování polních plodin

- na pozemcích mírně ohrožených erozí, tj. do 3°: širokořádkové plodiny, především okopaniny a kukuřici, k nimž u svahů delších než 300 m se používá protierozní agrotechnika příp. zasakovací travní pásy. Ostatní plodiny se pěstují klasickým způsobem;
- na pozemcích středně ohrožených erozí, tj. do 7°: úzkořádkové plodiny, k nimž se volí s ohledem na délku svahu a výskyt drah soustředěného odtoku vhodná agrotechnická protierozní opatření, příp. technická v podobě průleहů;
- na pozemcích výrazně ohrožených erozí, tj. do 12°: pouze úzkořádkové plodiny za použití minimálního zpracování půdy ve speciálních osevních postupech s vysokým podílem víceletých pícein; využívá se bezorbne setí meziplodin;
- svahy nad 12° se zatravňují;
- svahy nad 17° se zalesňují.

Tvar a velikost pozemku

Z hlediska protierozní ochrany je žádoucí, aby rozměr pozemků orné půdy ve směru sklonu svahu nepřevyšoval přípustnou délku svahu. Tato podmínka platí pro pozemek obdělávaný jako celek i pro skupinu pozemků, které od sebe nejsou odděleny hranicemi. K omezení délky pozemku po spádnicí lze použít organizační a technická protierozní opatření (zpravidla systém pásového pěstování, protierozní příkopy, průlehy, protierozní meze nebo hrázky). Podélné osy těchto opatření musí splňovat sklonové požadavky a návaznost na systém cestní a hydrologické sítě. [10]

Při novém návrhu tvarů a velikosti pozemků je nutné respektovat i homogenitu půdních vlastností, mechanizační přístup, expozici apod. Při návrhu je nutno optimálním způsobem spojit protierozní, vodohospodářské, dopravní a jiné linie, vytvářející polyfunkční kostru ekologické stability krajiny a tuto kostru doplnit doprovodnou zelení. [10]

Pro návrh tvaru a velikosti pozemku platí:

- ideálním tvarem pozemku je obdélník o poměru délky a šířky 1:2 až 1:3, situovaný delší stranou podél vrstevnic. Vhodný je rovněž n-úhelník, který má dvě protější strany rovnoběžné a zbývající dvě strany mohou být zalomené, avšak tak, aby žádná část těchto hranic nesvírala s úhlem obdělávání menší úhel než 60 až 70°.
- vhodný poměr délky a šířky pozemku závisí na jeho velikosti
- pozemek menší než 4 až 5 ha jsou z hlediska mechanizovaného obdělávání málo efektivní
- při velikosti okolo 30 ha jsou všechny mechanizační prostředky dostatečně využity a ani z ekonomického hlediska nemá vytvoření větších pozemků význam

2.2.2 Agrotechnická opatření

Protierozní agrotechnická opatření se používají ke zlepšení vsakovací schopnosti půdy, zvýšení její protierozní odolnosti a k vytvoření ochrany povrchu půdy v období výskytu přívalových srážek, kdy zejména širokořádkové plodiny svým vzrůstem a stupněm zapojení nedostatečně kryjí půdu. Protierozní agrotechnika se provádí speciálními nebo vhodně upravenými mechanizačními prostředky a zahrnuje zejména:

- protierozní orbu, prováděnou otočnými pluhy s obracením brázdy proti svahu
- kultivaci půdy prováděnou radličkovými nebo rotačními kypřiči bez obracení půdy
- bezorebné setí do nezpracované půdy speciálními secími stroji
- hrázkování, důlkování a mulčování

Agrotechnické operace se při protierozní ochraně (orba, setí, kultivace, sklizňové operace) provádějí ve směru vrstevnic. Protierozní agrotechnika se uplatňuje také při obnově trvalých porostů a při ochraně půdy ve speciálních kulturách (sady, chmelnice). [10]

2.2.3 Technická opatření

Pokud nelze dosáhnout protierozní ochrany pozemků organizačními a agrotechnickými opatřeními, navrhuje se technická opatření, zejména k úpravě sklonu území, k zachycení a neškodnému odvádění povrchového odtoku a splavenin.

Technická protierozní opatření zahrnují:

- terénní urovnávky
- terasování
- protierozní příkopy
- průlehy
- vsakovací pásy
- sedimentační pásy
- zatravněné údolnice
- protierozní hrázky
- protierozní meze
- asanaci erozních výmolů a strží
- ochranné nádrže
- polní cesty s protierozní funkcí

Terénní urovnávky

Při terénních urovnávkách se vyrovnají lokální nerovnosti přesunem zeminy a snižuje se příčný sklon pozemku. Terénní urovnávky lze provádět pouze na pozemcích s dostatečnou mocností ornice. [10]

Terasování

Terasování se navrhuje pro zemědělské využití velmi svažitých pozemků (nad 20 %) na hlubokých nebo velmi hlubokých půdách, zejména pro pěstování speciálních trvalých kultur (sady, vinice).

Terasy se navrhují jako terasy úzké o šířce terasové plošiny, umožňující výsadbu jedné nebo dvou řad ovocných stromů či vinné révy, nebo jako široké o šířce terasové plošiny, umožňující výsadbu 3 a více řad, případně pěstování běžných zemědělských plodin.

Terasy se budují jako zemní, kde sklon terasového svahu je dán přirozenou soudržností zeminy a je zpevněn vegetačně. Terasy s opěrnými zdmi se navrhují v území se sklonem nad 30 %; vzhledem ke značným finančním nákladům je jejich použití zcela výjimečné.

Hlavními návrhovými parametry jsou šířka a výška terasového stupně, podélný a příčný sklon, způsob zpevnění terasového svahu, způsob odvodnění terasové plošiny, dopravní a agrotechnická přístupnost terasové plošiny.

Zvláštní modifikací terasování jsou terasové dílce, které jsou vytvářeny zpravidla neparalelními terasovými plošinami, oddělenými od sebe terénními stupni. [10]

Protierozní příkopy

Protierozní příkopy doplňují hydrografickou síť pro zachycování a odvádění povrchového odtoku a splavenin. Z hlediska funkce se příkopy navrhují jako:

- záchytné obvodové k ochraně území před přítokem vnějších vod
- sběrné pro zachycování vnitřních vod
- svodné pro odvádění vnitřních vod do recipientů

Protierozní příkopy se navrhují jako jednotlivé prvky nebo v soustavě. Při návrhu soustavy příkopů se jejich odlehlost rovná nejvýše přípustné délce svahu. Příkopy se navrhují na průtok Q_1 až Q_{100} podle požadovaného stupně ochrany. Návrhový průtok se určuje ve smyslu ustanovení ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“. Parametry příkopů a způsob opevnění se stanovují výpočtem. [10]

Průlehy

Průlehy se navrhují k zachycení, infiltraci a odvádění povrchového odtoku. Průleh je mělký, široký příkop s mírným sklonem svahů (1:5 až 1:10). Průlehy jsou použitelné na svazích s hlubšími půdami do sklonů nejvýše 15 %. Navrhují se jako jednotlivé protierozní prvky nebo v soustavě. Při návrhu soustavy průlehů se jejich vzdálenost rovná nejvýše přípustné délce svahu. Průlehy se umisťují rovnoběžně s vrstevnicemi nebo v malém odklonu od vrstevnic. Z funkčního hlediska se průlehy navrhují jako:

- záchytné – vsakovací s nulovým nebo malým podélným sklonem. Tyto průlehy jsou vhodné v sušších oblastech a na půdách s příznivými infiltračními vlastnostmi. Infiltraci je možno zvýšit drenáží, vedenou v ose průlehu
- odváděcí – ve vlhčích oblastech a na půdách s nižší infiltrační schopností
- kombinované – se vsakovací a odváděcí funkcí
- svodné – slouží k odvádění vody z řešeného území do recipientu.

Záchytné průlehy se navrhují obvykle uvnitř pozemků k přerušení povrchového odtoku. Na orné půdě se vytvářejí jako nezpevněné obdělávatelné prvky, v trvalých travních porostech jako vegetačně stabilizované. Příčný profil průlehu musí zajišťovat potřebnou kapacitu; parametry záchytných a svodných průlehů a způsob opevnění se stanovují výpočtem. Průlehy je možno navrhnout v kombinaci se sedimentačním pásem, hrázkou a doprovodnou zelení. [10]

Vsakovací pásy

Vsakovací pásy se navrhují na pozemcích jako zatravněné, křovinné nebo lesní pásy k přerušení povrchového odtoku a jeho infiltraci. Šířka pásů se stanoví výpočtem a přizpůsobí místním podmínkám. [10]

Sedimentační pásy

Sedimentační pásy se navrhují jako zatravněné pásy k zachycení erozního smyvu podél vodních toků a kanálů nebo podél míst, která vyžadují zvýšenou ochranu před erozním smyvem. Šířka pásu se přizpůsobí místním podmínkám. Minimální šířka sedimentačního pásu je 10 m. [10]

Zatravněné údolnice

Zatravněné údolnice se navrhují k ochraně drah soustředěného odtoku, které se vytvářejí v přirozených údolnicích a úžlabinách. Mají charakter přirozených nebo upravených svodných průlehů s vegetačním zpevněním. Příčný profil se obvykle upravuje do parabolického profilu, méně často do tvaru plochého trojúhelníku nebo lichoběžníku. Rozměry příčného profilu zatravněné údolnice se stanovují na základě hydraulického a hydrologického výpočtu, obvykle na návrhový průtok Q_{10} . [10]

Protierozní hrázky

Protierozní hrázky jsou nižší nepřelévané zemní hráze používané k ochraně významných objektů před zaplavením vodou a zanesením splaveninami z výše ležících svahů nevyvinutých údolí. Svahy a koruna protierozní hrázky se stabilizují vegetačním opevněním. Výška hrázky a velikost záchytného prostoru se pro požadovanou zabezpečení chráněného objektu určují hydrologickým a hydraulickým výpočtem. Protierozní hrázky se mohou navrhnout jako obdělávané nebo neobdělávané. [10]

Protierozní meze

Protierozní meze tvoří zasakovací pás nad mezí, vlastní těleso meze a odváděcí či vsakovací prvek (příkop, průleh, drén) nad nebo pod mezí. Meze je možno nově vytvářet nebo provádět úpravu stávajících mezí na pozemcích bez omezení sklonu. Mez zahrnující vsakovací nebo filtrační prvky je vhodná pouze v lokalitách s lehkými půdami. Pro dosažení protierozní, ekologické a krajinytvorné funkce meze je nutné jejich ozelenění. [10]

Asanace erozních výmolů a strží

Při jednorázové asanaci výmolů a strží na zemědělské půdě se zaplňuje jejich prostor s následnou rekultivací pro další zemědělské využívání. Pro zabránění jejich opakovaného vytváření je nutné zamezit přítoku vnější vody na asanované území.

Při postupné asanaci se vychází z předpokladu využití stabilizovaného výmolu a strže jako svobodného prvku hydrografické sítě. Asanace se provádí kombinací biotechnických a technických opatření s cílem zabránit přítoku vody do zhlaví výmolu nebo strže, snížit podélný sklon dna příčnými stavbami a stabilizovat svahy výmolu nebo strže. Návrh příslušných stabilizačních prvků vychází z hydrologického a hydraulického posouzení. [10]

Ochranné nádrže

Ochranné nádrže se jako protierozní opatření navrhují k akumulaci, retenci, retardaci a infiltraci povrchového odtoku, k usazování splavenin a ke snížení podélného sklonu. Navrhují se obvykle jako závěrečný prvek systému protierozní ochrany, především k ochraně vodních zdrojů, intravilánu a významných objektů. Ochranné nádrže mohou být navrženy jako:

- nádrže s vodním obsahem a vymezeným retenčním a sedimentačním prostorem
- suché nádrže (poldry), které slouží ke krátkodobému zachycení povrchového odtoku a usazení splavenin v době zvýšených průtoků

Hydrologické podklady pro návrh protierozní nádrže musí být zpracovány podle ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“. Pro navrhování, výstavbu, rekonstrukci a provoz nádrží platí ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“. [10]

Polní cesty s protierozní funkcí

Polní cesty plní protierozní funkci přerušением délky svahu a zachycováním a odváděním povrchového odtoku cestním příkopem; příkop je situován na straně proti svahu. Polní cesty vedené v násypu mohou plnit funkci protierozní hrázky. Trasa polních cest s protierozní funkcí se navrhuje v souladu s potřebnou dopravní přístupností jednotlivých pozemků. Návrhové parametry cestních příkopů a záchytných prostorů se stanovují hydrologickým a hydraulickým výpočtem. [10]

2.3 Metody pro hodnocení ohroženosti území vodní erozí

Hodnocení ohroženosti území vodní erozí a vlivu protierozních opatření na snížení intenzity eroze a transportu látek v území je založeno na kvantifikaci intenzity těchto procesů. Pro posuzování erozní ohroženosti je dnes k dispozici řada výpočetních metod. Tradičně se používají tzv. empirické modely erozního procesu, které vycházejí z analýzy výsledků dlouhodobého experimentálního sledování eroze a jednotlivých erozních faktorů (např. rovnice USLE, metoda CN – křivky). Od poloviny sedmdesátých let se rozvíjí tzv. simulační modely eroze, které řeší časový a plošný průběh eroze na základě matematického vyjádření fyzikálních zákonitostí erozního procesu (např. model SMODERP, EROSION 2D a 3D, AGNPS, Hydrologický model DesQ) [9, 10]. Protože vodní eroze je spojena se srážko-odtokovým procesem, je nutné provádět veškerá posuzování erozní ohroženosti a návrh protierozní ochrany pro hydrologicky uzavřenou jednotku, tj. pro povodí [10].

Dělení metod podle měřítka jejich použitelnosti [9]

Jednotlivý svah (pozemek) a malé povodí do 1 km²:

- SMODERP
- EROSION 2D
- USLE – pouze omezeně, jako určení průměrné roční ztráty půdy, ne jako návrhový prostředek.

Střední povodí (1 – 100 km²):

- AGNPS
- EROSION 3D
- USLE – jako prostředek pro získání přehledu o erozní ohroženosti pozemků.

Velké povodí (nad 100 km²):

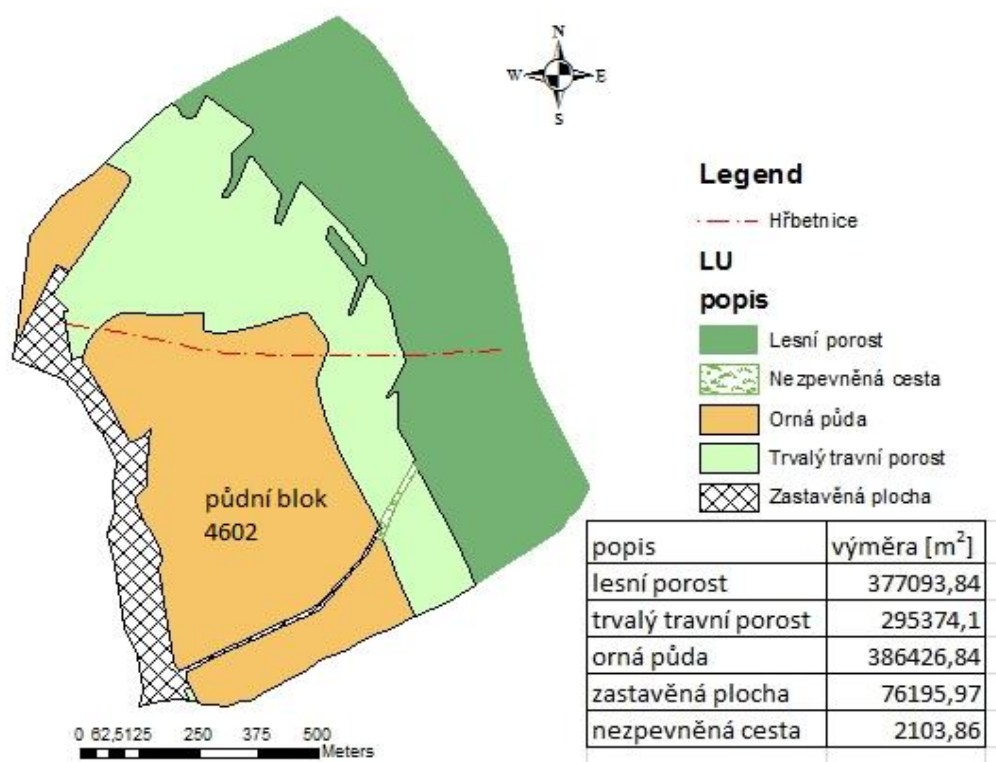
- USLE – jako prostředek pro získání přehledu o erozní ohroženosti pozemků.

3 Popis zájmového území

Zájmové území se nachází v Pardubickém kraji, okres Ústí nad Orlicí, katastrální území Řetová (745359). Současným uživatelem je zemědělské družstvo se sídlem ve Sloupnici, které zde hospodář na zemědělském pozemku obrázek 1, půdní blok 4602. Půdní blok se skládá ze tří pozemků, katastrální čísla pozemků jsou 958/1, 963/1, 986/1. Celková výměra půdního bloku je 29,7 hektarů, průměrný sklon pozemku je 11° a průměrná nadmořská výška je 440.11 m. Pozemek je charakterizován bonitovanou půdně ekologickou jednotkou (BPEJ) 72511.



Obrázek 1 Zájmové území, současný stav



3.1 Současný osevní postup a protierozní opatření

Uplatňuje se šestihonný osevní postup – celá jeho podoba je vidět v rozmezí let 2005 až 2010, tab. 1.

Od roku 2005 převážně zpracování půdy bez orby technologií Horsch - terano nebo tiger.

Zpracování půdy je prováděno po vrstevnicích.

Pozemek je pravidelně organicky hnojený jednou za šest let, zaorává se řepková sláma, příznivé je taky pro půdní strukturu působení jetele v osevním postupu a pravidelné hnojení dolomitickým vápencem jednou za šest let.

V případě osevu kukuřicí je cca 1/3 pozemku v dolní části nad obcí osévána ozimou pšenicí.

Do současné doby neprošel pozemku žádnými pozemkovými úpravami a nejsou na něm využity žádné zásady protierozní ochrany půdy. [24]

tabulka 1 Osev a protierozní opatření na pozemku 4602 [19,24]

Pozemek	ha	Rok	Plodina	Oseto	Odrůda	Způsob založení
4602	30	2001	Řepka ozimá	30	Pronto	tradiční setí (s orbou)
4602	30	2002	Pšenice ozimá	9	Vlasta	tradiční setí (s orbou)
4602			Kukuřice	21	<neurčeno>	tradiční setí (s orbou)
4602	29,7	2003	Ječmen jarní	30	Kompakt	tradiční setí (s orbou)
4602	29,7	2004	Tritikale ozimé	30	Presto	tradiční setí (s orbou)
4602	29,7	2005	Jetel luční červený	29,72	Start	užitkový rok
4602	29,7	2006	Pšenice ozimá	29,72	Rheia	setí do část. zprac. půdy
4602	29,7	2007	Řepka ozimá	29,68	Jesper	setí do část. zprac. půdy
4602	29,7	2008	Pšenice ozimá	10	Vlasta	setí do část. zprac. půdy
4602			Kukuřice	19,68	Fantastic	tradiční setí (s orbou)
4602	29,7	2009	Ječmen jarní	29,68	Bojos	setí do část. zprac. půdy
4602	29,7	2010	Tritikale ozimé	29,68	Talentro	setí do část. zprac. půdy
4602	29,7	2011	Jetel luční červený	29,68	Start	užitkový rok
4602	29,7	2012	Pšenice ozimá	29,7	Bodyček	setí do část. zprac. půdy

4 Charakteristika zájmového území

4.1 Klimatické poměry

Zájmové území se vyskytuje v mírně teplé oblasti (MT), kde náleží k jednotce MT7, tab. 2. Jednotka MT7 pokrývá území východně od Litomyšle, Chocně a Kostelce nad Orlicí až po města České Třebové, Ústí nad Orlicí a Žamberk, které vytvářejí její východní hranici. Charakteristika jednotky MT7: normálně dlouhé, mírné, mírně suché léto, krátké přechodné období, s mírným jarem a mírně teplým podzimem, normálně dlouhá zima, mírně teplá, suchá až mírně suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky (QUITT 1971) [17].

Průměrný roční úhrn srážek v zájmovém území Ústí nad Orlicí je 700-800 mm, tab. 3 [17].

Průměrná roční teplota je na jz. okraji zájmového území, v údolí Orlice po Letohrad a v širším okolí Lanškrouna $> 7^{\circ}\text{C}$ [17].

Tabulka 2 Klimatický region MT7 [17 (Quitt 1971)]

Počet letních dnů	30 – 40
Počet dnů s průměrnou teplotou 10°C a více	140 – 160
Počet mrazových dnů	110 – 130
Počet ledových dnů	40 – 50
Průměrná teplota v lednu ($^{\circ}\text{C}$)	-2 až -3
Průměrná teplota v červenci ($^{\circ}\text{C}$)	16 – 17
Průměrná teplota v dubnu ($^{\circ}\text{C}$)	6 – 7
Průměrná teplota v říjnu ($^{\circ}\text{C}$)	7 – 8
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	100 – 120
Srážkový úhrn ve vegetačním období v mm	400 – 450
Srážkový úhrn v zimním období v mm	250 – 300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	60 – 80
Počet dnů zamračených	120 – 150
Počet dnů jasných	40 – 50

Tabulka 3 Dlouhodobé srážkové a teplotní průměry naměřené na stanicích v území listu Ústí nad Orlicí. [17]

Stanice	Ø roční úhrn srážek mm	Ø roční teplota °C	Nadmořská výška m	Období
Ústí nad Orlicí	799		368	1951-1980
Česká Třebová	820		394	1931-1960
Přívrat	823		450	1931-1960
Nekoř-Bredůvka	747		515	1931-1960
Letohrad	793		388	1931-1960
Dolní Čermná	773		394	1951-1980
Lanškroun	727		380	1931-1960
Litomyšl	694	7,8	351	1951-1980

Tabulka 4 Průměrné rozdělení faktoru R do měsíců vegetačního období v ČR. [1]

Měsíc	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
% faktoru R	0,5	10	23	32	27	7	0,5

Tabulka 5 Pravděpodobnost výskytu erozně nebezpečných dešťů. [4]

Měsíc	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
%	2,8	14,8	22,0	21,2	20,0	12,7	5,8

Tabulka 6 Hodnoty faktoru R jednotlivých dešťů podle četnosti jejich výskytu. [1]

Výskyt deště jednou za (let)	50	20	10	5	2	1
Hodnota faktoru R	92	76	64	47	28	16

Z tab. 3: Dlouhodobé rozdělení průměrné roční hodnoty faktoru R během roku a tab. 4: Pravděpodobnost výskytu erozně nebezpečných dešťů, vyplývá, že v období červen – srpen se vyskytne přes 80 % erozně nebezpečných dešťů a proto je ochrana půdy zejména vegetačním pokryvem v těchto měsících nejdůležitější. Z tab. 5 vyplývá značné kolísání hodnotu R – faktoru podle pravděpodobnosti výskytu v letech. [1,2,4]

4.2 Půdní poměry

Půdní poměry jsou zjištěny z hlavní půdní jednotka (HPJ). HPJ je součástí čísla BPEJ (bonitované půdně ekologické jednotky), kde je HPJ vyjádřena druhým a třetím číslem. Na našem zájmovém území se nachází hlavní půdní jednotka vyjádřena číslem 25.

25- kambizemě modální a vyluhované, eubazické až mezobazické, výjimečně i kambizemě pelické na opukách a tvrdých slínovcích, středně těžkém flyši, permokarbonu, středně těžké, až středně skeletovité, vody s dobrou vodní kapacitou [16].

25- Hnědé půdy, hnědé půdy kyselé a jejich slabě oglejené formy na opukách a tvrdých slínovcích; zpravidla středně těžké, šterkovité s dobrými vláhovými poměry [7].

Skupina Hnědých půd

Zahrnuje převážně půdy na pevných horninách. Hlavním třídícím znakem byly skupiny půdotvorných substrátů s typickými agronomicko-výrobními vlastnostmi. Patří sem HP (hnědá půda), výjimečně RA (rendzina) a Rah (rendzina hnědá), jejich oglejené variety a hnědé půdy kyselé. Z této skupiny byly vyčleněny půdy silně sklonité a některé lehké i těžké hnědé půdy jako samostatné skupiny.

Amplituda výskytu je velmi široká, agronomická hodnota a využitelnost je určována zejména reliéfem terénu, skeletovitostí, minerální silou a klimatickými podmínkami.

Jsou to typické půdy pahorkatin a nižších a středních poloh vrchovin. Ve vyšších polohách nepravidelně navazují na silně kyselé hnědé a rezivé půdy.

Do této skupiny jsou přeřazeny i HP na svahovinách (pokud nejsou zařazeny do HPJ jiných skupin), a to vždy k té HPJ, se kterou mají převážně shodný substrát a shodné ostatní fyzikální vlastnosti [7].

Tabulka 7 Charakteristika BPEJ skupiny půd hnědých. [7]

HPJ	genetický půdní představitel	půdotvorný substrát	zrnitostní ráz půdy zrnitost podomičí do 0,6 m	skeletovitost	Vláhové poměry	Výskyt v klimat. Region. (KR)
25	HP, Hpa	23,18,19 středně těžké, jejich přechody + mělké sprašové překryvy opuk	středně těžká (výjimečně těžká)	Převážně slabě až středně skeletovitá, s výkyvy	Půdy s dobrou vodní kapacitou, vláha závislá na srážkách	1 (2), 3, 4, 5, 7

Poznámka k tabulce 7:

23 – opuky a tvrdé slíny

18 – pískovce, pískovcová a arkosová souvrství permokarbonu (i slabě vápnitá)

19 – vápnité pískovce

Z tabulky 7 se dá odvodit klasifikace zrnitosti půdy tabulka 8.

Při hodnocení zrnitosti půdy, která je v soustavě BPEJ ČR zahrnuta do popisu HPJ, vycházela klasifikace z půdního profilu do 0,6 m. V Případě specifických kombinací zrnitosti (např. p/jv) byly vyčleněny samostatné BPEJ [7].

Tabulka 8 Klasifikace zrnitosti půdy. [7]

pořadové číslo	označení	charakteristika zrnitosti	druh půdy
I	p, hp	písčítá, hlinitopísčítá	lehká
II	ph	písčítóhlinitá	střed. lehčí
III	h	hlinitá	střed. typic.
IV	jh	jílovitohlinitá	těžká
V	jv, j	jílovitá, jíl	velmi těžká

Tabulka 9 Hydrologická skupina půd. [26]

Hydrologická skupina půd	kód BPEJ 72511	kód HPJ (2. a 3. č. BPEJ) 25
Charakteristika hydrologických vlastností půd		
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ($> 0,12 \text{ mm. min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo šterky.	
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace ($0,06 - 0,12 \text{ mm. min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.	
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace ($0,02 - 0,06 \text{ mm. min}^{-1}$) 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 ($< 0,02 \text{ mm. min}^{-1}$) 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 půdy nad téměř nepropustným podložím.	

Hydrologická skupina půd je určena z kódu BPEJ (bonitované půdně ekologické jednotky), respektive z 2. a 3. čísla kódu BPEJ určující HPJ (hlavní půdní jednotku). Z BPEJ zájmového území byla odečtena hydrologická skupina půd B.

Z tabulky 7, 8 a 9 vyplývá, že se na daném území nachází půda hlinitopísčité až jílovitohlinité.

4.3 Geologické a Hydrogeologické poměry

4.3.1 Geologické poměry

Podle regionálního geomorfologického členění patří zájmové území ke geomorfologické podsoustavě Pahorkatiny České tabule a její dílčí jednotky Svitavská pahorkatina se svou nižší jednotkou Českotřebovská vrchovina [17].

Z geologického hlediska spadá zájmové území do Bělohorského souvrství (Mezozoikum (druhohory) – perioda: Křída – Svrchní křída - spodní až střední turon) představuje jeden litologický celek s paleontologicky prokázanými mocnostmi od 41 do 71 m. Spodnoturonská transgrese zasáhla celé území. K usazování bělohorských vrstev došlo i tam, kde vycházejí dnes na povrch starší geologické jednotky. Důkazem může být ostrůvek bělohorského souvrství a pravděpodobně i korycanských vrstev na permu orlické pánve na JV od obce Písečná.

Převažujícím typem usazenin bělohorského souvrství jsou slínovce se všudypřítomným jemným klastickým křemenem, jehož podíl místy přesahuje 25% a slínovce přecházejí do slinitých prachovců a jemnozrnných slinitých pískovců. Slínovce a prachovce, v menší míře i pískovce, obsahují často silně kalcitizované polohy se zvýšeným obsahem jehlic hub (spongií), méně často se objevují i prokřemeněné horizonty [17].

4.3.2 Hydrogeologické poměry

Česká křídová pánev je nejvýznamnější hydrogeologickou strukturou v Čechách. Pro východočeskou křídu je typické střídání synklinál a antiklinál. V zájmovém území se nacházejí 4 synklinály a 2 antiklinály. Od západu na východ to jsou: vysokomýtská synklinála (VMS), potštejnská antiklinála (na rozhraní VMS a ÚOS), orlicko-ústecká synklinála (ÚOS), litická antiklinála, kyšperská synklinála (KS) a jablonská synklinála (JabS) [17].

Naše zájmové území spadá do rajonu 4270 – Vysokomýtská synklinála.

Vysokomýtská synklinála (VMS): do zájmového území zasahuje částí svého východního křídla. V hydrogeologických studiích se za okraj VMS (a tedy styk s ÚOS) považuje osa potštejnské antiklinály, která probíhá přes Rviště, Kerhartice, Přívrat a Kozlovský hřbet. Okrajovou součástí VMS je řetovská pánev (obce Řetová, Řetůvka, Přívrat. Ve VMS v zájmovém území se vyskytují 3 významné kolektory: Kt – teplické souvrství, Kj – jizerské souvrství, Kb – bělohorské souvrství [17].

Naše zájmové území spadá pod kolektor B (Kb – bělohorské souvrství).

Zdroje hg. rajónu č. 427 Vysokomýtská synklinála (respektive jejich kolektorů) byl stanoven na 1 815 l/s.

Z uvedeného lze konstatovat, že významné jsou zejména hydrogeologické rajóny Východočeské křídly velmi bohaté na podzemní vody, které vyžadují pouze hygienické zabezpečení a u některých jednostupňové odželezování. Rajóny kvarteru již nemají takové zásoby vody a zde je nutná úprava vody (odstranění železa a manganu, ochrana před chemickým a biologickým znečištěním a hygienické zabezpečení). Rajóny krystalinika jsou z vodárenského hlediska považovány za deficitní [24].

5 Erozní modely – určení erozní ohroženosti pozemku

5.1 ArcGIS – Příprava dat

Program ArcGIS byl v diplomové práci použit pro přesné změření délek, sklonu, výměr pozemků atd. Výhodou použití programu ArcGIS je zpracování dat v digitální podobě čím se zvyšuje i přesnost výsledných hodnot. Veškerá použitá data jsou ověřená, poskytnutá Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním (polohopis a výškopis), Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy (BPEJ) a data volně přístupná z programu Lpis (půdní bloky) a ortofotomapa z portálu Cenia. Tyto data slouží jako výchozí vrstvy (shapefile) ze kterých jsou odvozeny veškeré mapové a početní výstupy.

Početní výstupy z programu ArcGIS jsou použity pro výpočty všech tří metod použitých v diplomové práci. Jedná se především o výpočty délek a sklonu pozemku a výpočty výměry pozemku. Výpočty délek a sklonu pozemku vycházejí z osmi odtokových křivek navržených v programu ArcGIS. Odtokové křivky jsou navrženy podle údolnic, ve kterých se soustřeďuje povrchový odtok vody z pozemku. Výměry pozemků jsou v m² a jsou počítány programem ArcGIS přímo pro dané pozemky.

Pro rovnici USLE jsou délky a sklon odtokových linií počítány v celé jejich délce. Po výpočtu hodnoty průměrné dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí (G), dochází k rozdělení odtokových linií na části, za pomoci vzorce pro přípustnou délku pozemku l, odvozenou z rovnice USLE. Výpočty jsou prováděny v MS Excel.

Pro model SMODERP se v programu ArcGIS rozděluje délka odtokových linií po vrstevnicích. Tím zjistíme vodorovné vzdálenosti mezi vrstevnicemi při jejich známé výškové odlehlosti 2 m (vzdálenost vrstevnic).

Pro metodu CN – křivek je v programu ArcGIS spočítána celková délka odtokových linií a celková výměra nově vzniklých pozemků.

5.2 USLE-Univerzální rovnice ztráty půdy

Zatím nejdokonaleji vyjadřuje kvantitativní účinek hlavních faktorů ovlivňujících vodní erozi způsobovanou přívalovými dešti tzv. Univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy z pozemků (Universal Soil Loss Equation – USLE) dle Wischmeiera a Smithe (1978) v [26]:

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

5.2.1 Průměrná dlouhodobá ztráta půdy G

G průměrná dlouhodobá ztráta půdy ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$) [5, 26]; tab. 10,11,12.

Průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy určuje hloubka půdy, která byla odečtena z čísla BPEJ.

Tabulka 10 Kategorie skeletovitosti (K) a hloubky půdy (H) [5,16].

Kód	Skeletovitost		Hloubka půdy	
	Kód	Popis	Kód	Popis
1	0-1	Bezskeletovitá, s příměsí, slabě skeletovitá (obsah skeletu 0–25%)	0-1	Hluboká, středně hluboká (> 30 cm)

Tabulka 11 Určení přípustné ztráty vodní erozí ($G_{přip.}$) v závislosti na hloubce půdy [5,16].

Hloubka půdy	$G_{přip.}$ [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$]	
Půdy mělké	0 – 30 cm	1
Půdy středně hluboké	30 – 60 cm	4
Půdy hluboké	Nad 60 cm	10

Tabulka 12 Určení přípustné ztráty půdy vodní erozí ($G_{přip.}$) v závislosti na hloubce půdy [1].

Hloubka půdy	Kód BPEJ (5. číslice kódu)	Přípustná ztráta půdy erozí ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$)
Středně hluboká (30 – 60 cm)	1, 4, 7	4,0
Hluboká (> 60 cm)	0, 2, 3	10,0

Podle nové metodiky, JANEČEK, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí – metodika, Česká zemědělská univerzita v Praze a Ústřední pozemkový úřad, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 2012, je přípustná ztráta půdy vodní erozí ($G_{\text{přip.}}$) pro hluboké půdy snížena na $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, pro zlepšení ochrany úrodných hlubokých půd.

5.2.2 Faktor R

R faktor erozní účinnosti deště [$\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$] – je definován jako součin celkové kinetické energie deště – E [$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$] a maximální 30 minutové intenzity deště i_{30} [$\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$] [5]; tab. 13.

Hodnoty faktoru R určuje Český hydrometeorologický úřad.

Tabulka 13 Průměrné hodnoty faktoru R. [5]

Stanice	R faktor	N let
Ústí nad Orlicí	31,3	19

5.2.3 Faktor K

K faktor náchylnosti půdy k erozi – vyjadřuje odolnost půdy proti rozrušujícímu účinku deště a jejich transportu po svahu [5]; tab. 14.

Hodnota faktoru K je určena z hlavní půdní jednotky čísla BPEJ.

Tabulka 14 Hodnoty faktoru K podle hlavní půdní jednotky.

HPJ	K-faktor
25	0,38

5.2.4 Faktor L

L faktor délky svahu – vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí [5], [26]; tab. 15,16.

$$L = \left(\frac{l}{22,13}\right)^m$$

kde: l - je nepřerušená délka svahu [m], 22,13 - délka standardního pozemku [m],
 m = exponent sklonu svahu vyjadřující náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze.

Z rovnice USLE lze odvodit přípustnou délku svahu l:

$$L = \frac{G}{R.K.S.C.P}; \quad l = \sqrt[m]{L} \cdot 22,13$$

Přípustná délka svahu nám určuje maximální možnou délku svahu při využití dané pěstební kultury za použití dané protierozní ochrany.

Tabulka 15 Exponent sklonu svahu

Sklon svahu %	Poměr mezi rýžkovou a plošnou erozí			Sklon svahu %	Poměr mezi rýžkovou a plošnou erozí		
	nízký	střední	vysoký		nízký	střední	vysoký
0,2	0,02	0,04	0,07	12,0	0,37	0,55	0,71
0,5	0,04	0,08	0,16	14,0	0,40	0,57	0,72
1,0	0,08	0,15	0,26	16,0	0,41	0,59	0,74
2,0	0,14	0,24	0,39	20,0	0,44	0,61	0,76
3,0	0,18	0,31	0,47	25,0	0,47	0,64	0,78
4,0	0,22	0,36	0,53	30,0	0,49	0,66	0,79
5,0	0,25	0,40	0,57	40,0	0,52	0,68	0,81
6,0	0,28	0,43	0,60	50,0	0,54	0,70	0,82
8,0	0,32	0,48	0,65	60,0	0,55	0,71	0,83
10,0	0,35	0,52	0,68				

5.2.5 Faktor S

S faktor sklonu svahu – vyjadřující vliv sklonu svahu na velikosti ztráty půdy erozí [5], [26]; tab. 15,16.

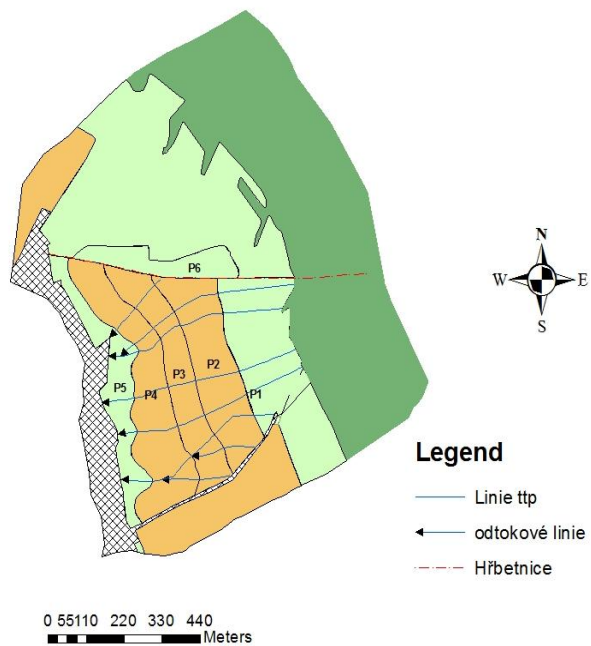
$$S = 10,8 \sin \theta + 0,03 \quad \text{pro sklon} < 9 \%$$

$$S = 16,8 \sin \theta - 0,50 \quad \text{pro sklon} \geq 9 \%$$

Kde θ je úhel sklonu svahu (rad nebo m/m)

Faktor L a S byly vypočteny ze vzorců (viz výše) za pomoci celkové délky odtokové linie a průměrného sklonu, které byly převzaty z programu ArcGIS. Pro výpočet délky a sklonu byly v programu ArcGIS vytvořeny odtokové linie. Počet odtokových linií je osm. Odtokové linie (dráhy soustředěného odtoku) představují místa kde v důsledku konfigurace terénu dochází k přirozené koncentraci plošného povrchového odtoku, vytváření výrazných odtokových drah a k možnosti vzniku rýhové eroze.

Obrázek 2 Odtokové linie pro rovnici USLE a model SMODERP



Obrázek 3 Vrstevnice určující směr odtokových linií



5.2.6 Faktor P

P faktor vlivu protierozních opatření – zohledňuje účinnost uvažovaných protierozních opatření v závislosti na sklonu svahu. Jelikož je velmi obtížné kontrolovat dodržování protierozních opatření uvedených v tabulce 16, je doporučeno v běžné krajině – plánovací praxi dosazovat do rovnice USLE faktor P roven 1 (s výjimkou terasování) [5, 26]; tab. 16.

Tabulka 16 Hodnoty faktoru P. [5]

Protierozní opatření	Sklon svahu [%]			
	2-7	7-12	12-18	18-24
maximální délka pozemku po spádnicí při konturovaném obdělávání	120 m 0,6	60 m 0,7	40 m 0,9	- 1,0
maximální šířka a počet pásů při pásovém střídání	40 m 6 pásů	30 m 4 pásy	20 m 4 pásy	20 m 2 pásy
-okopaniny s vícel. pícninami	0,30	0,35	0,40	0,45
-okopaniny s ozim. obil.	0,50	0,60	0,75	0,90
hrázkování, resp. Přerušované brázdování podél vrstevnic	0,25	0,30	0,40	0,45
terasování	0,05-0,20			

5.2.7 Faktor C

C faktor ochranného vlivu vegetace – vliv vegetace na ochranu půdy před vodní erozí má řadu aspektů. Na jedné straně chrání vegetace povrch půdy před vlivem dopadajících dešťových kapek, současně zpomaluje rychlost povrchového odtoku a zlepšuje pórovitost půdy a tudíž její infiltrační schopnost. Účinek vegetace roste s pokryvností a hustotou porostu, to znamená, že kromě druhového složení porostu závisí v případě dále uvedených zemědělských plodin též na pěstebním období [5, 26]; tab. 17 a 18.

Tabulka 17 Hodnoty faktoru C pro základní zemědělskou plodinu. [5]

Plodina	Zařazení v osevním postupu	Argotechnika	C-faktor v závislosti na agrotechnice a pěstebním období					
			1	2	3	4	5a	5b
obilniny	po 1. roce po jetelovinách	OP	0,50	0,55	0,30	0,05	0,20	0,04
		St	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	po obilninách	OP	0,65	0,70	0,45	0,08	0,25	0,04
		St	0,25	0,25	0,20	0,08	0,25	0,04
	po okopaninách a kukuřici	OP	0,70	0,75	0,50	0,08	0,25	0,04
		St	0,70	0,70	0,45	0,08	0,25	0,04
kukuřice	sláma předplodina sklizena	OP	0,70	0,90	0,70	0,35	0,70	0,40
		St	O - K 0,25-0,70	O - K 0,25-0,70	O - K 0,20-0,55	0,25	0,60	0,30
	sláma předplodina nesklizena	OP	0,60	0,75	0,55	0,25	0,60	0,30
		St	O - K 0,04-0,30	O - K 0,04-0,25	O - K 0,04-0,20	O - K 0,05-0,20	O - K 0,25-0,40	O - K 0,15-0,30
	do herbicidem umrtveného drnu	vícet.píc.	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03
		jílku jako ozim. mezipl.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,10
		V přímých řádcích libovol. směru	0,65	0,80	0,65	0,30	0,70	
vojtěška			0,02					
jetel červený dvousečný			0,015					
víceletá tráva, louky			0,005					

Poznámky k tabulce 17:

1 – období podmytí a hrubé brázdy; 2 – období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení; 3 – období po dobu jednoho měsíce od jarního nebo letního sázení či setí, u ozimu do 30.4.; 4 – období do konce 3. období do sklizně; 5 – období strniště (5a – sláma sklizena; 5b – sláma ponechána); O – po obilovině; K – po kukuřici; OP – setí do zorané půdy; St – setí do strniště.

Tabulka 18 Hodnoty faktoru C

Plodina	C - faktor	Plodina	C - faktor
Pšenice ozimá	0,12	Chmelnice	0,8
Žito ozimé	0,17	Řepka ozimá	0,22
Ječmen jarní	0,15	Slunečnice	0,6
Ječmen ozimý	0,17	Mák	0,5
Oves	0,1	Ostatní olejniny	0,22
Kukuřice na zrno	0,61	Kukuřice na siláž	0,72
Luštěniny	0,05	Ostatní pícejiny jednoleté	0,02
Brambory rané	0,6	Ostatní pícejiny víceleté	0,01
Brambory pozdní	0,44	Zelenina	0,45
Louky	0,005	Sady	0,45

5.3 SMODERP

Simulační Model Povrchového Odtoku a Erozního Procesu (SMODERP) - řeší srážkoodtokové vztahy a erozní procesy na svahu a jeho výstupy lze využít pro návrh prvků protierozní ochrany. Model simuluje plošný povrchový odtok a erozní procesy ze srážky proměnné intenzity v území o velikosti přibližně do 1,0 km². Morfologické, půdní a vegetační poměry území mohou být proměnné.

Model je určen pro:

- pro stanovení charakteristik plošného povrchového odtoku (objem odtoku, kulminační průtok, rychlost, hloubka) ve zvolených profilech vyšetřovaného svahu a ve zvolených časových intervalech od počátku srážky,
- pro stanovení přípustné délky pozemku ve směru sklonu (odtoku) na základě krajního nevymílacího tečného napětí a krajní nevymílací rychlosti povrchového odtoku.

5.3.1 Využití modelu

Vyšetřovaný pozemek je definován jedním nebo více charakteristickými podélnými profily (tj. charakteristickou dráhou povrchového odtoku). Každý z těchto úseků je vždy považován za konstantní z hlediska sklonu, a homogenní z hlediska půdních a vegetačních podmínek. Předpokládá se, že celý charakteristický profil je zasažen stejnou srážkou proměnné intenzity, jejíž periodicitu, dobu trvání, časový průběh a intenzitu si uživatel sám volí.

5.3.2 Posouzení erozní ohroženosti

Určení míry erozního ohrožení na jednotlivých pozemcích patří mezi základní úlohy protierozní ochrany. Erozně ohroženým pozemkem chápeme z hlediska výpočtu pomocí modelu SMODERP takový pozemek, na kterém dojde k překročení krajní nevymílací rychlosti nebo krajního tečného napětí a na němž dochází k přechodu mezi plošným odtokem a soustředěným odtokem.

Krom vlastního posouzení erozní ohroženosti je možné v rámci agrotechnických opatření SMODERP využít pro:

- návrh změny osevních postupů,
- posouzení ochranných travních pásů,
- posouzení pásového střídání plodin.¹

Výpočet návrhových charakteristik technických erozních opatření

Pro dimenzování technických protierozních opatření je potřeba zajistit návrhové dimenzační hodnoty (objem odtoku, maximální průtok). SMODERP je možné pro tyto návrhy použít, předpokládá to například ČSN 75 4500 – Protierozní ochrana. Především se jedná o:

- určení charakteristik povrchového odtoku ve zvolených profilech (množství, průtok, rychlost, hloubka),
- odváděcí prvky (průlehy, příkopy, silnice s protierozní funkcí)²
- zasakovací prvky (zasakovací průlehy, hrázky)²
- prvky měnící podélný sklon (terasy, naorávané meze)²
- dráhy soustředěného odtoku (údolnice)²
- ochranné nádrže (akumulační nádrže, suché poldry)²
- dimenzování a posuzování příkopů, koryt, a propustků²
- dimenzování a posuzování malých vodních nádrží, které mohou být ohroženy přítoky a transportem splavenin z přívalové srážky²

¹ Posouzení ochranných travních pásů a pásového střídání plodin je umožněno díky možnosti zadávat libovolně dlouhé úseky.

² nepožaduje-li ČSN 751400 „Hydrologické údaje povrchových vod“ hydrologická data ověřená ČHMÚ

5.3.3 Vstupy

Vstupní data modelu musí co nejpřesněji charakterizovat zájmové území po stránce morfologických a půdních, vegetačních a hospodářských poměrů.

Vstupní data lze rozdělit do 4 základních skupin:

1. údaje morfologické;
2. údaje pedologické;
3. údaje o vegetačním krytu pozemku a používané agrotechnice;
4. údaje srážkové.

Morfologické údaje

- Sklon svahu (podkapitola ArcGIS – příprava dat)

Půdní charakteristiky

- Půdní druh (tabulky 7, 8, 9.)
- Součinitel nasycené hydraulické vodivosti – K [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$]; (tabulka 21)
- Sorptivita půdy – S [$\text{cm}\cdot\text{min}^{-0,5}$]; (tabulka 21)
- Manningův součinitel drsnosti pro povrchový odtok – N [bezrozměrné číslo]; (tabulka 22)
- Povrchová retence - R [mm] v praxi se osvědčilo použití střední hodnoty $R = 3$ mm, která odpovídá urovnanému povrchu půdy, ale pro konkrétní podmínky ji lze zpřesnit.

Vegetační kryt pozemku a použitá agrotechnika

- Typ vegetačního pokryvu
- Potenciální intercepce - PI [mm]; (tabulka 23)
- Poměrná plocha listová - PPL [bezrozměrné číslo]; (tabulka 23)
- Faktor ochranného účinku vegetace C [bezrozměrné číslo] (tabulka 17,18)

Srážkové údaje

- Časový průběh úhrnu srážky - H [mm] v diplomové práci je použit výpis údajů návrhových přivalových srážek z ČHMU pro danou oblast (Ústí nad Orlicí, tab. 22 a 23). Jako doba opakování (periodicita) byla zvolena hodnota 100 let (0,01) pro ochranu intravilánu a zemědělského objektu [11].

Tabulka 19 Intensity krátkodobých dešťů v oblasti Ústí nad Orlicí (pro model SMODERP). [18]

Doba deště (min)	Periodicita			
	0,2 (1x za 5 let)		0,1 (1x za 10 let)	
	mm	l/s · ha	mm	l/s · ha
5	10	341,8	12	394,5
10	16	261,7	18	304,5
15	19	212,8	22	247,9
20	21	176,5	25	205,6
30	24	134,6	29	159,1
40	27	111,3	31	129,8
60	29	79,8	34	93
90	31	56,8	36	66
120	31	43,6	37	50,8

Tabulka 20 Intensity krátkodobých dešťů v oblasti Ústí nad Orlicí (pro model SMODERP). [18]

Doba deště (min)	Periodicita					
	0,05 (1x za 20 let)		0,02 (1x za 50 let)		0,01 (1x za 100 let)	
	mm	l/s · ha	mm	l/s · ha	mm	l/s · ha
5	13	447,2	16	516,9	17	569,7
10	21	347,2	24	403,7	27	446,5
15	26	283	30	329,5	33	364,6
20	28	234,7	33	273,2	36	302,3
30	33	183,6	39	216	43	240,5
40	36	148,3	42	172,8	46	191,3
60	38	106,2	45	123,6	49	136,8
90	41	75,1	47	87,3	52	96,4
120	42	58,1	49	67,7	54	74,9

Tabulka 21 Doporučené hodnoty součinitele hydraulické vodivosti K a sorptivity S [21, 22, 23]

kód a druh půdy	kód a druh plodiny	K (cm · min ⁻¹)	S (cm · min ^{-0,5})
jílovitohlinité	1- bez vegetace	0,0015	0,090
	2- širokořádkové	0,0055	0,140
	3- úzkořádkové	0,0060	0,145
	4- travní porost	0,0070	0,155

Tabulka 22 Manningův součinitel drsnosti pro povrchový odtok [21, 22, 23]

kód a typ plodiny	n
1- úhor (bez vegetace)	0,030
2- širokořádkové plodiny	0,035
3- úzkořádkové plodiny	0,040
4- trvalý travní porost	0,100

Tabulka 23 Střední hodnoty poměrné listové plochy a potenciální intercepce (mm) pro různé druhy plodin [21, 22, 23]

typ plodiny	poměrná plocha listová (PLP)	potencionální intercepce PI (mm)
obiloviny	0,30	0,20
cukrovka	0,25	0,09
brambory	0,18	0,16
kukuřice	0,16	0,13
trvalý travní porost	1,00	0,40
bez vegetace	0,00	0,00

5.3.4 Práce s modelem SMODERP

Zadávání údajů do modelu SMODERP se provádí ve třech krocích.

- 1) Přidání uživatelské srážky – zde se zadávají údaje z meteorologické stanice, v našem případě výpis dat z Českého hydrometeorologického úřadu pro oblast Ústí nad Orlicí. (tabulka 20).
- 2) Úprava vlastností půd a vegetace – zde si vybereme půdní typ (tabulka 7 a 8), k půdnímu typu zadáme součinitel nasycené hydraulické vodivosti K a Sorptivitu půdy S v záložce půda a v záložce vegetace nastavíme typ vegetace (úhor, úzkořádkové, širokořádkové plodiny nebo trvalý travní porost), může zde změnit potenciální intercepci, poměrnou plochu listovou a Manningův součinitel drsnosti.
- 3) Vytvoření charakteristických profilů a spuštění simulace – zde se zadává oblast měření, měřený pozemek a reliéf. V záložce reliéf vkládáme naměřené vodorovné vzdálenosti mezi vrstevnicemi (změřeno v programu ArcGIS) při jejich známé výškové odlehlosti 2 m, dále zde vkládáme údaje z odstavců 1) a 2).

Výsledné hodnoty se ukládají na námi zvolené místo.

5.4 Metoda CN – křivka

Metoda čísel odtokových křivek (CN – Curve Number) byla zavedena v USA Službou na ochranu půdy [11].

Jedná se o jednoduchý model s poměrně snadno dosažitelnými vstupy, dostatečně přesný, použitelný pro stanovení přímého odtoku způsobeného přívalovým deštěm z povodí o ploše do 10 km². [11]

Přímý odtok zahrnuje odtok povrchový a část odtoku hypodermického. Podíly tohoto typu odtoku na celkovém odtoku se oceňují pomocí čísel odtokových křivek – CN. CN je ukazatelem pravděpodobnosti typu odtoku. Čím větší hodnota CN, tím je pravděpodobnější, že se přímý odtok týká povrchového odtoku [11].

V projekční praxi může být metoda odtokových křivek použita k navrhování hydrotechnických protierozních opatření, jako jsou dráhy soustředěného povrchového odtoku zatravněné údolnice, průlehy, záchytné příkopy, zasakovací pásy a malé vodní nádrže a pro posuzování vlivu protierozních opatření na povrchový odtok, ale pouze v souladu s ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“. Metoda není vhodná pro výpočet odtoku z tání sněhu [11].

Odtok je určen 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 stejnoměrného rozdělení po ploše povodí. Objem srážek je přeměněn na objem odtoku pomocí čísel odtokových křivek – CN. Jejich hodnoty jsou závislé na hydrologických vlastnostech půd, vegetačního pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové retenci [11].

5.4.1 Objem přímého odtoku

Metoda odtokových křivek určuje objem přímého odtoku za předpokladu, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadržen. Odtok začíná po počáteční ztrátě, která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové retence. Tato ztráta byla odhadnuta na základě experimentálních měření na 20% potenciální retence ($I_a = 0,2 A$). Základní vztah pro určení výšky přímého odtoku, obr. 4 [9,11]:

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

kde H_0 - přímý odtok [mm],

H_s - úhrn návrhového deště [mm],

A - potenciální retence [mm], vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek

$$(CN): A = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right).$$

Objem přímého odtoku:

$$O_{pH} = 1000 \cdot P_p \cdot H_0 \quad [m^3]$$

kde P_p - plocha povodí [km²] [9,11].

Podklady pro stanovení objemu přímého odtoku

1. Návrhový déšť

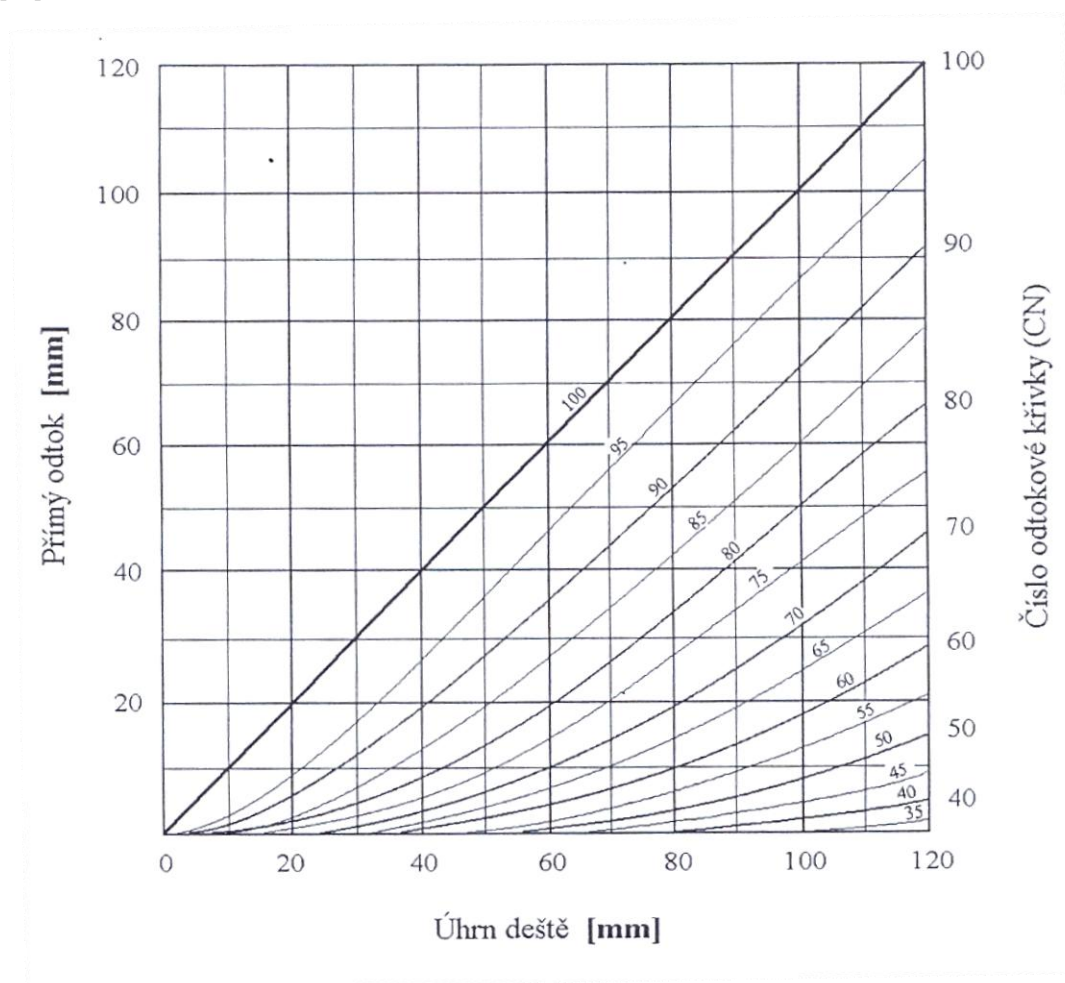
Hodnoty maximálních 24 hodinových úhrnů návrhového deště byly pro vyšetřovanou lokalitu určeny z podkladů ČHMÚ. Doba opakování návrhového deště se volí na základě požadované míry ochrany řešeného území; pro ochranu orné půdy se volí doba opakování 5 až 10 let, pro speciální kultury 10 až 20 let, pro cenné části území jako jsou intravilán, vodní zdroje, průmyslové a zemědělské objekty, apod. až 100 let. Kritická doba trvání návrhového deště se stanoví na základě určení doby koncentrace povrchového odtoku (viz kapitola Doba oběhu a koncentrace povrchového odtoku). Úhrn návrhového deště pro kritickou dobu jeho trvání se stanoví redukcí jednodenního maximálního úhrnu metodou F. Hrádka a P. Kováře [11].

2. Čísla odtokových křivek

Čísla odtokových křivek se stanoví podle využití vyšetřované plochy z tabulky na obr. 5 na základě:

- Hydrologických vlastností půd rozdělených do 4 skupin: A, B, C, D podle minimální rychlosti infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení (tab. 9). Pro přibližnou orientaci při zařazování půd do hydrologických skupin je možné použít tabulku (tab. 7).
- Vlhkosti půdy určované na základě pětidenního úhrnu předcházejících srážek, resp. indexu předchozích srážek (IPS) ve 3 stupních: IPS I odpovídá suché půdě, ale s takovým obsahem vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání, při IPS III je půda přesycena předcházejícími dešti, pro návrhové účely se uvažuje IPS II (obr. 6) pro střední nasycení půdy vodou.
- Využití půdy, vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření viz. tabulka na obr. 5 [11].

Obrázek 4 Závislost výšky přímého odtoku (H) na úhrnu deště (H) a čísel odtokových křivek (CN) [11]



Obrázek 5 Průměrná čísla odtokových křivek - CN pro IPS II [11]

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	88	
	Př	Db	63	75	83	87	
	Př + Pz	Šp	64	75	83	86	
	Př + Pz	Db	60	72	80	84	
	Vř	Šp	63	74	82	85	
	Vř	Db	61	73	81	84	
	Vř + Pz	Šp	62	73	81	84	
	Vř + Pz	Db	60	72	80	83	
	Vř + Pr	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 píceiny, luštěniny	Př	Šp	66	77	85	89	
	Př	Db	58	72	81	85	
	Vř	Šp	64	75	83	85	
	Vř	Db	55	69	78	83	
	Vř + Pz	Šp	63	73	80	83	
	Vř + Pz	Db	51	67	76	80	
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	
	< 50 %	-	48	67	77	83	
	50 - 75 %	-	35	56	70	77	
Křoviny s pokryvem	< 50 %	-	30	48	65	73	
	50 - 75 %	-	30	48	65	73	
	> 75 %	-	30	48	65	73	
Sady se zatravněným meziřadím		Šp	57	73	82	86	
		Stř.	43	65	76	82	
		Db	32	58	72	79	
		Šp	45	66	77	83	
Lesy		Stř.	36	60	73	79	
		Db	30	55	70	77	
		-	59	74	82	86	
Zemědělské dvory		-	59	74	82	86	
		Komunikace s přikopy	dílážděné, živičné, makadamové, šterkové, nezpevněné, hliněné	83	89	92	93
				76	85	89	91
Nepropustné plochy			72	82	87	89	
			98	98	98	98	

Poznámka:

Pz posklizňové zbytky nejméně 5 % povrchu po celý rok

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

Vř vrstevnicové řádky vedené přesně ve směru vrstevnic – konturově, při sklonu pozemku menším než 2 % je obdělávání napříč svahu v přímých řádcích rovnocenné vrstevnicovému

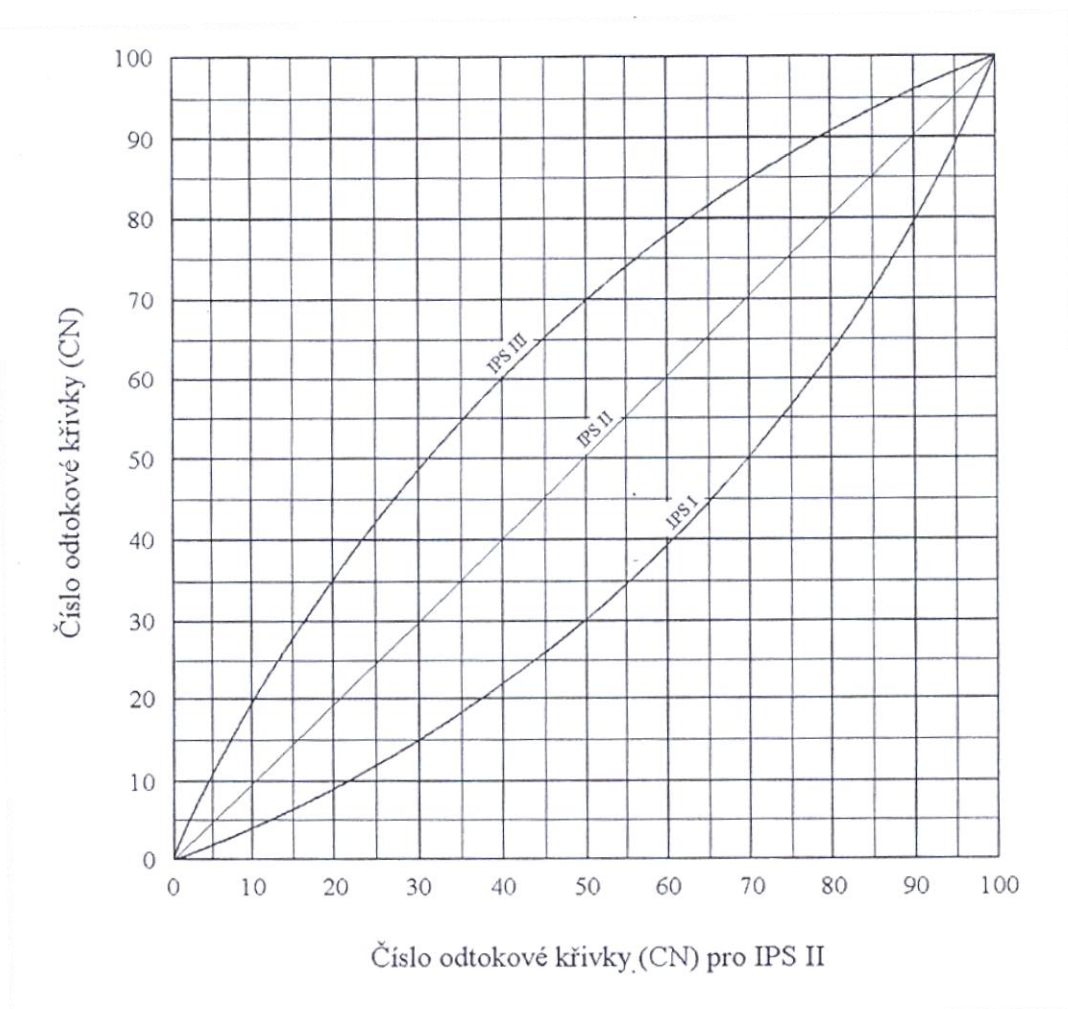
Pr pásové pěstované plodiny a příčně situované průlehy na pozemku

Db dobré hydrologické podmínky zvyšující infiltraci a snižující odtok, kdy je více než 20 % povrchu pokryto zbytky rostlin, tj. více než 850 kg. ha⁻¹ u širokořádkových plodin nebo 350 kg. ha⁻¹ u úzkořádkových plodin

Stř střední hydrologické podmínky

Šp špatné hydrologické podmínky omezující infiltraci vody do půdy a zvyšující odtok, s menším množstvím posklizňových zbytků než při Db

Obrázek 6 Vliv obsahu vody v půdě (IPS I - suchá, IPS II - střední, IPS III - nasycená) na změnu čísla odtokové křivky (CN) [11]



Dobré nebo špatné hydrologické podmínky zemědělských půd závisí především na hustotě zapojení porostu během roku, procentuálním zastoupením jetelotrav v osevním postupu, množství posklizňových zbytků na povrchu půdy (> 20 % Db) a na drsnosti povrchu. V lesích špatné hydrologické podmínky znamenají, že lesní hrabanka, stromy a keře jsou nedostatečně zastoupeny nebo poškozeny; dobré podmínky znamenají, že hrabanka nebo bylinné patro dobře kryje půdu [26].

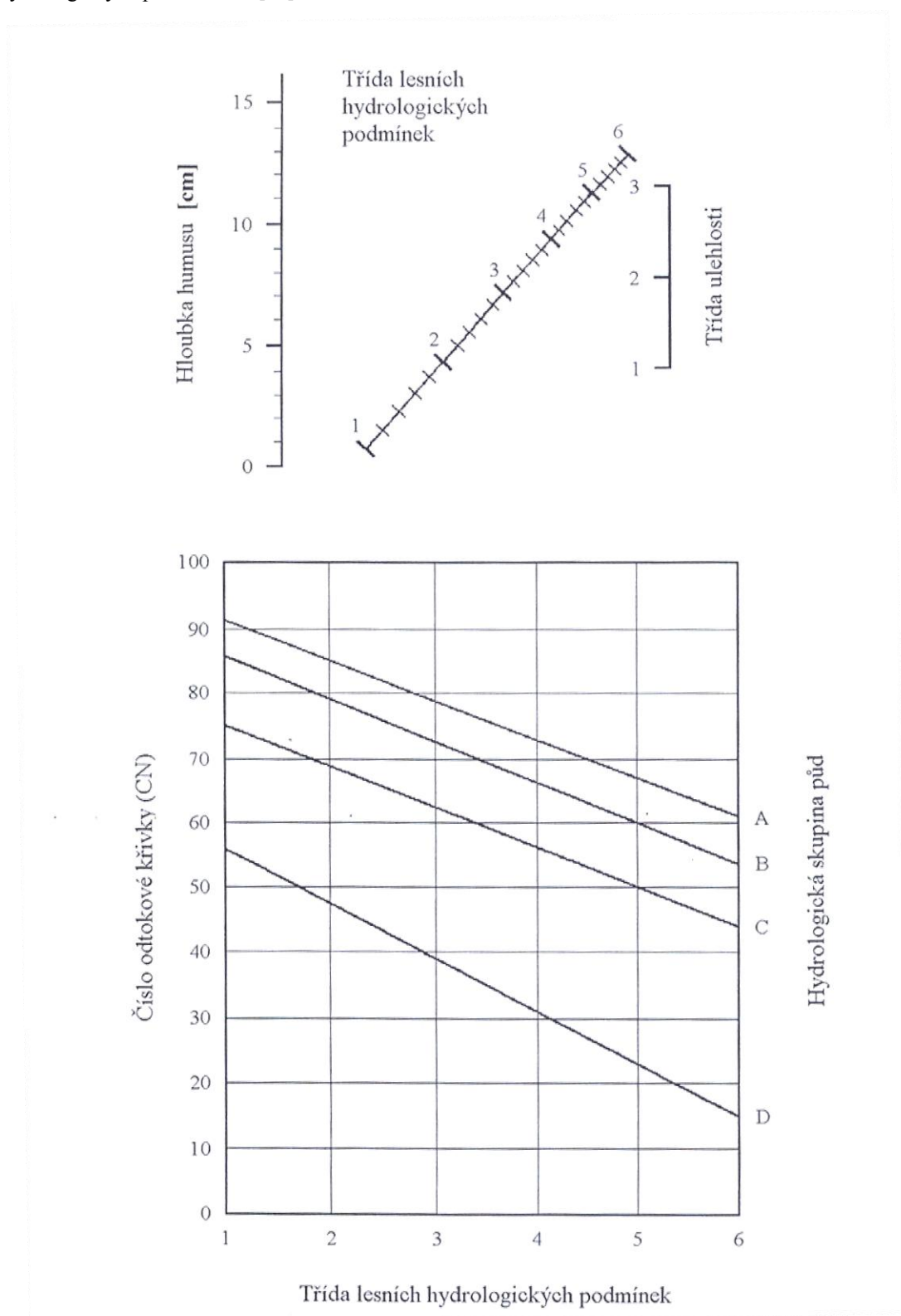
Průměrná čísla křivek odtoku – CN (obr. 4) odpovídají průměrným hospodářským podmínkám během vegetačního období. Sezónní změny CN lze vyjadřovat tak, že pro období orání a setí (sázení) CN odpovídá úhoru. Mezi výsevem (výsadbou) a před vrcholovým růstem odpovídají CN průměrům. V období vrcholového růstu, zpravidla před sklizní, je $CN = 2 CN_{\emptyset} - CN_{\text{úhor}}$. Po sklizni závisí CN na zakrytí povrchu půdy rostlinnými zbytky. Pokud jsou 2/3 povrchu bez pokryvu, pak CN odpovídá úhoru, pokud je 1/3 bez pokryvu, odpovídá průměrnému CN [26].

Hydrologické podmínky lesních porostů jsou závislé především na hustotě pokryvu, vegetace, hrabanky apod. Nerozložené listí, jehličí, větévky, kůra a jiné zbytky vegetace na lesní půdě tvoří hrabanku, ze které vzniká vrstva nadložního humusu. Nadložní humus se podle metody CN – křivek hodnotí podle (obr. 7). Při dobrém obhospodařování je nadložní humus pórovitý a má velkou vsakovací a akumulaci schopnost. Pro určení hydrologických podmínek lesa je zpravidla nutné pomocí sond zjistit skupinu půdy, hloubku hrabanky, typ a hloubku humusu a z obr. 6 odečíst číslo křivky CN. Jeli vrstva hrabanky menší než 1 cm, pak se nadložní humus považuje za nechránící a třída hydrologických podmínek se redukuje koeficientem 0,5. Při kombinovaném využití území (plochy propustné, nepropustné) se hodnota odtokové křivky stanoví jako vážený průměr z čísel odtokových křivek jednotlivých ploch [26].

Tabulka 24 Hodnocení nadložního humusu podle metody CN – křivek [11]

Humus	Třída ulehlosti
zcela slehlý	1
málo slehlý	2
kyprý a sypký	3

Obrázek 7 Nomogramy pro určení čísla odtokové křivky (CN) v závislosti na skupině půd a lesních hydrologických podmínkách [11]



5.4.2 Kulminační průtok

Určení kulminačního (vrcholového) průtoku Q_{pH} je obtížnou částí nepřímých hydrologických metod. Povodí s podstatně rozdílnými čísly CN a dobami koncentrace povrchového odtoku v důsledku různých svahů, půd a způsobů jejich využití, je nutné rozdělit na dílčí povodí.

Při výpočtu kulminačního průtoku se v metodě odtokových křivek používá poměru počáteční akumulace k jednodennímu maximálnímu srážkovému úhrnu I_a/H_s , obr. 8. Pro poměr I_a/H_s se podle doby koncentrace určí jednotkový kulminační průtok q_{pH} z nomogramu, obr. 9. Kulminační průtok se stanoví ze vztahu [11]:

$$Q_{pH} = 0,00043 \cdot q_{pH} \cdot P_p \cdot H_0 \cdot f \quad [m^3 \cdot s^{-1}]$$

kde q_{pH} - jednotkový kulminační průtok,

P_p - ploch povodí [km^2],

H_0 - výška odtoku [mm],

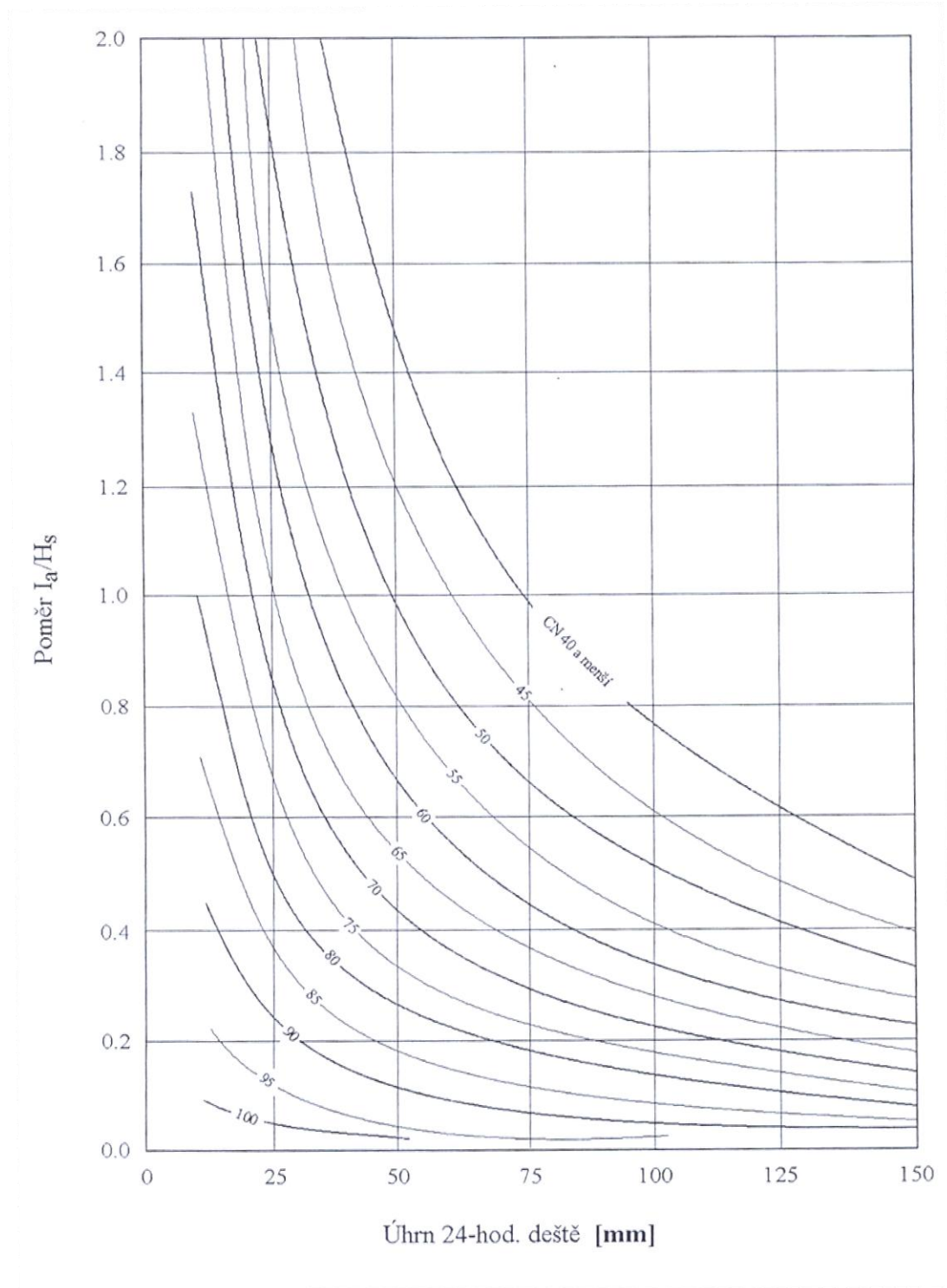
f - opravný součinitel pro rybníky a mokřady.

Tabulka 25 Opravný součinitel (f) pro nádrže, rybníky a mokřady [11]

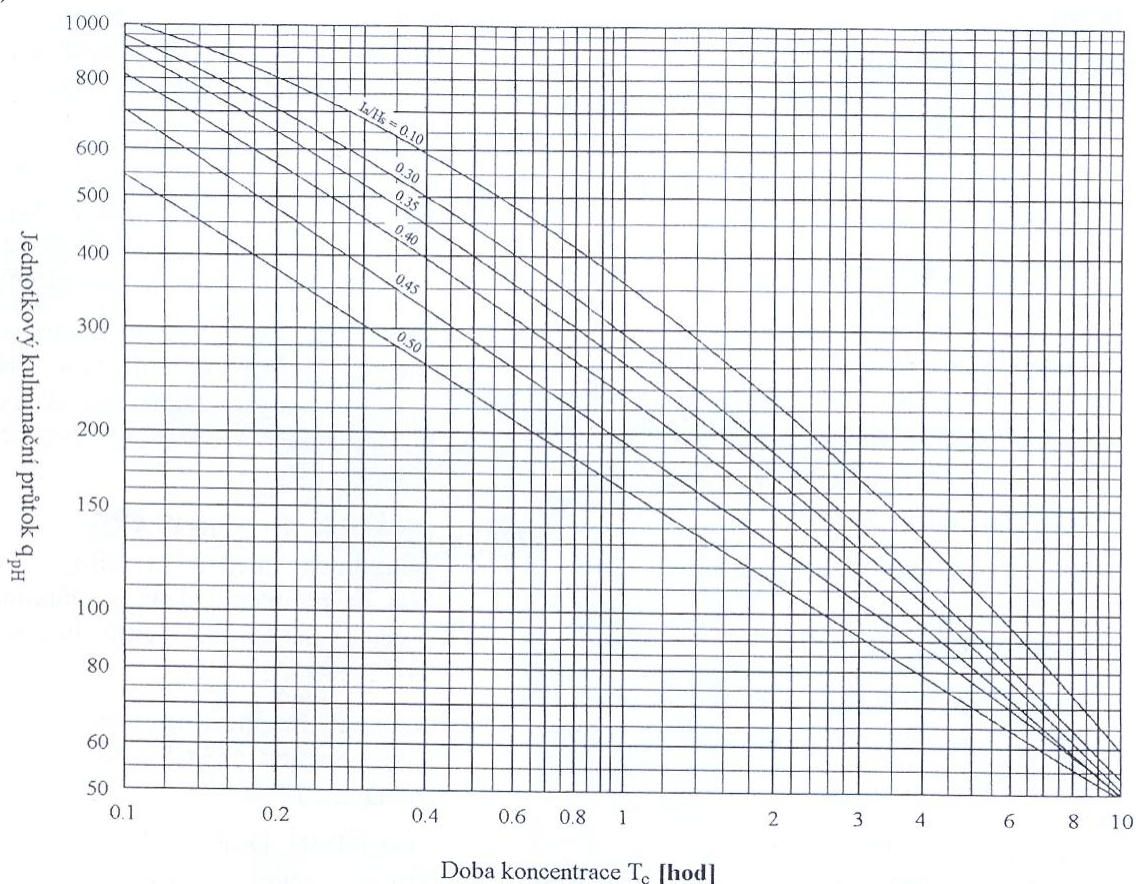
Procento ploch nádrží, rybníků a mokřadů v povodí	Opravný součinitel (f)
0,0	1,00
0,2	0,97
1,0	0,87
3,0	0,75
5,0	0,72

Poznámka: Opravný součinitel (f) se používá, jestliže se v povodí vyskytují nádrže, rybníky a mokřady mimo hydraulickou dráhu povrchového odtoku, takže s nimi není počítáno při určování doby doběhu, resp. doby koncentrace.

Obrázek 8 Nomogram k určení I_a / H_s z 24 - hod. úhrnu deště pro různá čísla odtokových křivek (CN)



Obrázek 9 Nomogram pro zjištění jednotkového průtoku (q_{pH}) z doby koncentrace (T_c) a poměru (I_a / H_s)



5.4.3 Doba doběhu a koncentrace povrchového odtoku

Doba doběhu (T_1) je čas, který potřebuje voda k přemístění z jednoho místa povodí na jiné. Je to část doby koncentrace (T_c), která představuje čas potřebný pro odtok z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu v povodí do uzávěrového profilu povodí; počítá se jako součet dílčích dob doběhu ve zvolené odtokové dráze. Doba koncentrace ovlivňuje tvar hydrogramu a kulminaci hydrogramu odtoku. Intenzifikace zemědělského využití pozemků v krajině obvykle zkracuje dobu koncentrace, čímž se zvyšuje vrcholový průtok [26].

Voda z povodí stéká z horních částí jako plošný (svahový) povrchový odtok, přechází v soustředěný odtok o malé hloubce a končí soustředěným odtokem v otevřeném korytě.

Pro plošný (svahový) povrchový odtok kratší než 100 m lze použít pro výpočet doby doběhu T_{ta} Manningovu kinematickou rovnici. Hodnoty Manningova součinitele drsnosti (n) pro plošný odtok o maximální hloubce do 3cm, pro různé druhy povrchů, včetně vlivu dopadu dešťových kapek, odporu povrchu (překážek v podobě posklizňových rádků) a transportu sedimentů udává tab. 26.

$$T_{ta} = \frac{0,007 \cdot \left(\frac{n \cdot l}{0,3048}\right)^{0,8}}{\left(\frac{Hs_2}{25,4}\right)^{0,5} \cdot S^{0,4}}$$

kde T_{ta} - doba doběhu [h],

n - Manningův součinitel drsnosti,

l - délka proudění [m],

Hs_2 - úhrn 24 hod. deště s dobou opakování 2 roky [mm],

s - hydraulický sklon povrchu [tg].

Tabulka 26 Manningův součinitel drsnosti (n) pro plošný povrchový odtok

Popis povrchu	Manningův součinitel drsnosti pro plošný povrchový odtok (n)
Hladký povrch (beton, asphalt, štěrk, holá půda)	0,011
Úhor bez posklizňových zbytků	0,05
Obdělávaná půdy s posklizňovými zbytky pokrývajícími < 20 % povrchu; > 20 % povrchu	0,06; 0,17
Travní porost: nízký; středně vysoký; hustý	0,15; 0,24; 0,41
Les s bylinným porostem – povrchový odtok do 3 cm: porost řídký; porost hustý	0,40; 0,80

Tento zjednodušený tvar Manningova kinematického řešení je založený na předpokladu ustáleného proudění v tenké vrstvě, konstantní intenzitě efektivního deště v době trvání 24 hodin a malém vlivu rychlosti infiltrace na době doběhu.

Po cca 100 m se plošný odtok zpravidla mění na soustředěný odtok o malé hloubce. Doba doběhu (T_{tb}) je dána podílem délky proudění a jeho rychlosti [11]:

$$T_{tb} = \frac{l}{3\,600 \cdot v}$$

kde T_{tb} - doba doběhu [h],

l - délka proudění [m],

v - průměrná rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Průměrnou rychlost lze určit z obr. 10 pro zpevněný a nezpevněný povrch. Pro sklony menší než 0,005 lze užít vztahy založené na řešení Manningovy rovnice pro nezpevněný povrch $n = 0,05$ a hydraulický poloměr $R = 0,12$ m, pro zpevněný povrch $n = 0,025$ a $R = 0,06$ m [11].

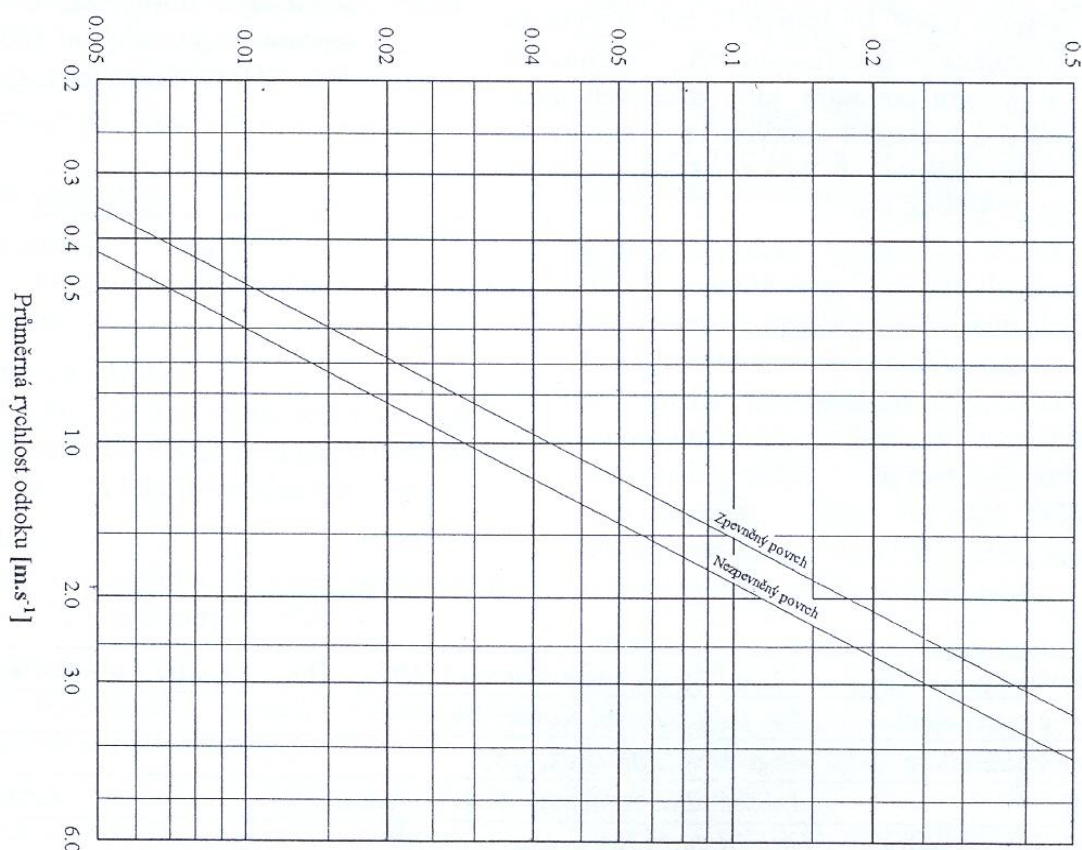
Pro nezpevněný povrch: $v = 4,918 \cdot s^{0,5}$

Pro zpevněný povrch: $v = 6,196 \cdot s^{0,5}$

kde v - průměrná rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

s - sklon odtokového prvku [$\text{tg}\alpha$].

Obrázek 10 Průměrné rychlosti pro stanovení doby doběhu pro soustředný odtok o malé hloubce
Sklon odtokové dráhy [m.m⁻¹]



Otevřená koryta začínají tam, kde lze změřit příčný profil nebo kde jsou zakreslena na mapách, apod. Průměrná rychlost proudění se obvykle stanoví pro průtok otevřeným korytem podle rovnice Manninga [11]:

$$V = \frac{l}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

kde v - průměrná rychlost [m. s⁻¹],

R - hydraulický poloměr [m]; $R = F/O$,

F - plocha příčného profilu [m²],

O - omočený obvod [m],

s - sklon koryta toku [tg α],

n - Manningův součinitel drsnosti pro průtok otevřeným korytem.

Tabulka 27 Manningův součinitel drsnosti (n) pro otevřená koryta

Charakteristika koryta	Manningův součinitel drsnosti pro otevřená koryta (n)
Betonové tvárnice spárované	0,012
Betonové tvárnice	0,013
Struskobetonové tvárnice „Klas“	0,014
Kamenná dlažba spárovaná	0,022
Polovegetační tvárnice	0,025
Zemní koryto pravidelné, kosené	0,025
Kamenná dlažba na sucho, hrubá	0,029
Kamenná rovnanina	0,032
Polovegetační tvárnice, vzrostlý drn	0,033
Zemní koryto pravidelné, nekosené	0,033

Doba doběhu (T_{tc}) se vypočte podle vztahu:

$$T_{tc} = \frac{l}{3\,600 \cdot v} \quad [h]$$

Doba koncentrace povrchového odtoku (T_c) je součtem dob doběhu (T_t) pro různé po sobě následující úseky proudění [11]:

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

5.4.4 Výpočet objemu přímého odtoku metodou čísel odtokových křivek

Základní vztah pro určení výšky přímého odtoku

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

kde H_0 - přímý odtok [mm],

H_s - úhrn návrhového deště [mm],

A - potenciální retence [mm], vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek

$$(CN): A = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right).$$

Objem přímého odtoku

$$O_{pH} = 1000 \cdot P_p \cdot H_0 \quad [m^3]$$

kde P_p - plocha povodí [km²].

Tabulka 28 Hodnoty pro výpočet objemu přímého odtoku.

pozemek	CN	H_s	A	H_0	P_p
P2	72	89,9	98,7	29,2	0,068
P3					0,056
P4					0,083
P1+TTP	58	89,9	183,931	11,9	0,07
Les	69	89,9	114,116	24,8	0,377

Kulminační průtok

$$Q_{pH} = 0,00043 \cdot q_{pH} \cdot P_p \cdot H_0 \cdot f \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

kde q_{pH} - jednotkový kulminační průtok,

P_p - ploch povodí [km²],

H_0 - výška odtoku [mm],

f - opravný součinitel pro rybníky a mokřady.

Tabulka 29 Hodnoty pro výpočet kulminačního průtoku.

pozemek	q_{pH}	H_0	P_p	f
P2	900	29,2	0,068	1
P3			0,056	
P4			0,083	
P1+TTP	550	11,9	0,07	
Les	600	24,8	0,377	

Doba koncentrace a doběhu je v tabulce kapitoly 11.4.

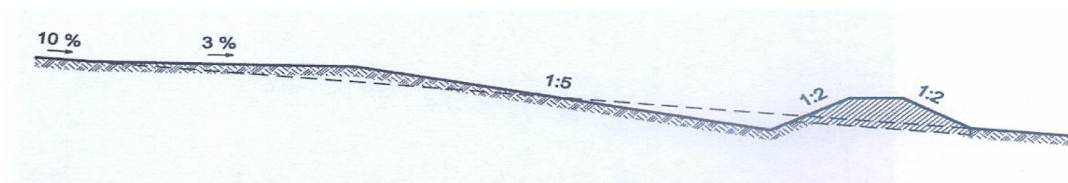
6 Návrh technických opatření

6.1 Návrh a dimenzování protierozních hrázek

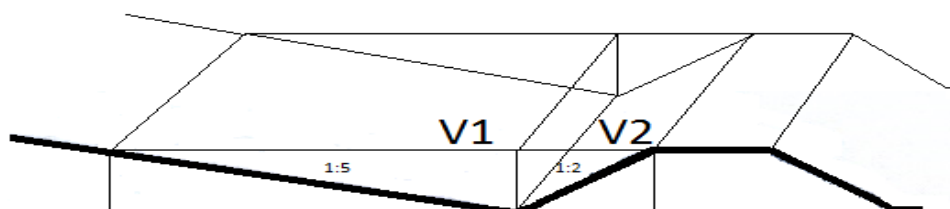
6.1.1 Výpočet výšky protierozních hrázek

Výšku protierozní hrázky určuje velikost akumulčního prostoru nutná k pojmání celkového objemu přímého odtoku vypočítané modelem SMODERP a metodou CN – křivek (nejvýše však 1,5 až 2 m). K výšce protierozní hrázky se poté ještě připočítá 20 cm rezervního akumulčního prostoru.

Obrázek 11 Protierozní hrázka



Obrázek 12 Výpočet výšky protierozní hrázky



Výška protierozní hrázky se vypočítá odvozením z rovnice:

$$V = V1 + V2$$

$$V = S \cdot h = \frac{z \cdot v}{2} \cdot h$$

kde S = obsah trojúhelníku; h = délka protierozní hrázky

z = libovolná strana trojúhelníku; V = objem přímého odtoku

v = výška k dané straně trojúhelníku (výška protierozní hrázky)

6.1.2 Doba prázdňení akumulčního prostoru hráze

Protierozní hráz je plánována jako suchá retenční nádrž. Pro odtok dešťových vod z akumulčního prostoru hráze nebude navrženo žádné výpustné zařízení. Jako hlavní řešení odvodnění akumulčního prostoru bude sloužit vsak vody do půdního podloží a výpar vody do ovzduší.

Vsak vody do půdního podloží

Pro lepší vsak vody do půdního podloží je vhodné navrhnout protierozní hrázku jako vsakovací nádrž dle TNV 75 9011.

Vsakovací nádrž je objekt s výraznou retenční funkcí se vsakováním přes zatravněnou humusovou vrstvu.

O vsakovací nádrž se jedná, pokud je poměr mezi redukovanou odvodněnou plochou a plochou pro vsakování $A_{\text{red}}/A_{\text{vsak}} > 15$. Je doporučeno, aby hydraulická vodivost podloží byla $K > 1 \cdot 10^{-5}$ m/s. V opačném případě je vsakovací výkon nádrže nízký a doba zatopení nádrže příliš dlouhá.

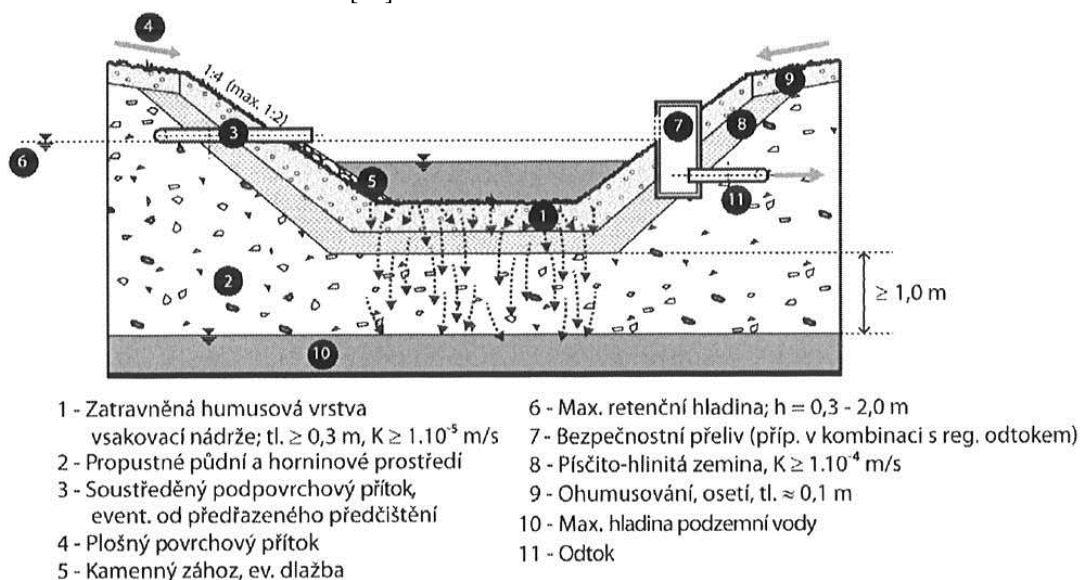
Hloubky nadržení ve vsakovacích nádržích se pohybují v rozmezí 0,3 m až 2,0 m.

Sklon svahů nádrže by neměl být větší než 1:4 s ohledem na bezpečnost pohybu osob a živočichů. Větší sklonitost svahů se navrhuje pouze výjimečně a především v intravilánu by měla být doprovázena bezpečnostními opatřeními (např. oplocení nádrže). Vzhledem ke stabilitě zatravněné humusové vrstvy nesmí být sklon svahů nádrže větší než 1:2.

Vysoké hydraulické zatížení vsakovací plochy A_{vsak} zvyšuje riziko kolmatace objektu a snížení jeho vsakovací schopnosti po dobu životnosti. Proto se při návrhu doporučuje zvýšit součinitel bezpečnosti vsaku podle ČSN 75 9010 (až na hodnotu $f = 5$).

V případě bodového zaústění přívodu srážkové vody do vsakovací nádrže je vhodné individuálně zvážit nutnost předčištění pro zamezení kolmatace (kalová jámka, přívod přes zatravněné příkopy apod.) a místního opevnění vsakovací nádrže v místě zaústění přívodu. [47]

Obrázek 13 Suchá retenční nádrž. [47]



Výpočet vsaku vody do půdy

Doba prázdnění vsakovacího zařízení T_{pr} [s], která nemá překročit 72 h, se stanoví podle vztahu [46]:

$$T_{pr} = \frac{f \cdot V_{vz}}{k_v \cdot A_{vsak}}$$

kde: V_{vz} - retenční objem vsakovacího zařízení [m^3],

f – součinitel bezpečnosti vsaku,

k_v – koeficient vsaku [m/s],

A_{vsak} – plocha propustného dna vsakovacího zařízení [m^2].

Tabulka 30 Koeficient vsaku.

Druh zeminy	k_v [$m \cdot s^{-1}$]
jíl	$1 \cdot 10^{-8}$ a méně
písčítá hlína	$1 \cdot 10^{-6}$
ulehlý hlinitý písek	$1 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-6}$
písky s jílovitými částicemi	$1 \cdot 10^{-6}$ až $2 \cdot 10^{-6}$
jemný písek a kyprý hlinitý písek	$1 \cdot 10^{-5}$ až $5 \cdot 10^{-5}$
hrubozrnný písek	$1 \cdot 10^{-4}$ až $5 \cdot 10^{-4}$
štěrkopísek	$2 \cdot 10^{-4}$ až $1 \cdot 10^{-3}$ i více

Tabulka 31 Hodnoty pro výpočet doby vsaku vody.

	P1	P2	P3	P4
V_{vz}	1338,19	1887,91	1438,12	2063,17
f	5			
k_v	$1 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-6}$ (doporučený koeficient vsaku min. $1 \cdot 10^{-5}$)			
A_{vsak}	1087,75	1432,13	1387,93	1818,35

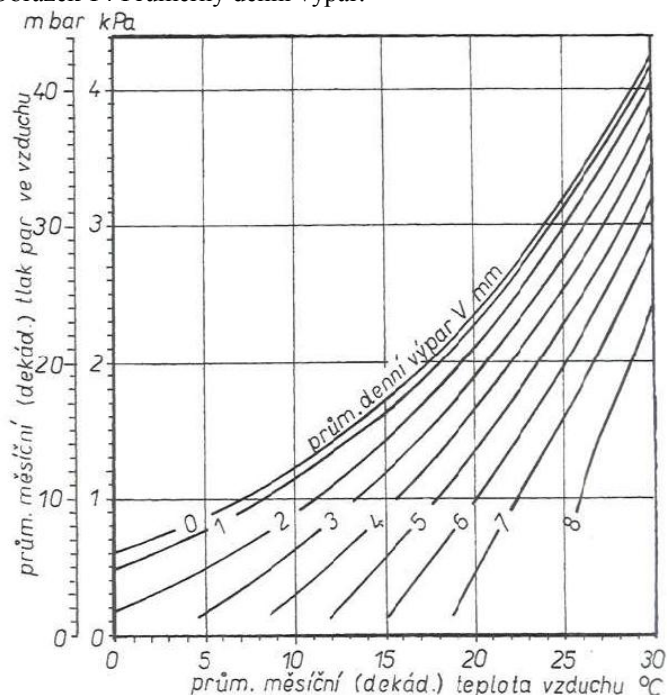
Tabulka 32 Úkony údržby suchých retenčních nádrží. [47]

Typ údržby	Úkon údržby	Četnost údržby
Pravidelná údržba	Odstranění odpadků jako prevence ucpání přítoku	1x měsíčně po přívalových deštích
	Kosení trávy na přístupových a příjezdových cestách a ve veřejných zónách	1x měsíčně (během vegetační sezóny)
	Kosení trávy na loukách v okolí nádrže	1x za 6 měsíců podle potřeby
	Odstranění náletové vegetace	Po dobu 3 let 1x měsíčně, pak dle potřeby
	Odstranění mrtvého dřeva před vegetační sezonou	Každoročně či dle potřeby
	Odstranění sedimentů z nátoků nebo výtoku	Každoročně
Příležitostná údržba	Dosetí ploch poškozené/nezdravé vegetace	Každoročně či dle potřeby
	Prořezání a pročištění keřů a stromů	1x za 2 roky či dle potřeby
	Odstranění sedimentů z předřazené sedimentační nádrže	1x za 3 až 10 let či dle potřeby
Opravy	Oprava dosetí míst poškozených erozí	Dle potřeby
	Oprava případného opevnění břehů	Dle potřeby
	Oprava nátoků, výtoku a přelivu	Dle potřeby
	Oprava nerovných povrchů, popř. jejich srovnání do projektové výšky	Dle potřeby
Kontrola	Kontrola funkčnosti (zejména průchodnosti) nátoků, výtoku a přelivu	1x měsíčně / po přívalových deštích
	Kontrola fyzického poškození stavebních součástí	1x měsíčně / po přívalových deštích
	Kontrola zanášení nádrže	1x za 6 měsíců
	Kontrola stavidel a případných dalších mechanických součástí	1x za 6 měsíců

Výpar vody do ovzduší

Ztráta výparem představuje u malých nádrží podstatné ztrátové množství, neboť v našich klimatických poměrech je průměrný roční výpar z volné vodní hladiny v rozmezí 640 mm až téměř 1000 mm podle nadmořské výšky a vodní plochy. Průměrný denní výpar v závislosti na průměrném měsíčním (dekádním) tlaku par ve vzduchu a průměrné měsíční (dekádní) teplotě vzduchu vyznačuje obr. 14 [34].

Obrázek 14 Průměrný denní výpar.



K posouzení měsíční výparové ztráty z vodní hladiny se používá vztah podle B. V. Poljakova.

$$E = 18,6 (1 + 0,2w) \cdot d^{2/3} [\text{mm} \cdot \text{měsíc}^{-1}]$$

kde: w – průměrná měsíční rychlost větru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

d – průměrný měsíční sytostní doplněk [mm].

Při určování výparové ztráty vody z vodní hladiny se však nesmí přehlížet zvláště u malých vodních nádrží zvýšení výparu vlivem transpirace vodních rostlin, která je značně vysoká, např. v srpnu 3,5krát a v červenci 5krát vyšší než výpar z volné hladiny. Ve výpočtu celkové výparové ztráty se proto rostlinný výpar hodnotí samostatně, přičemž se uvažuje, že zarostlá plocha zaujímá obvykle 10 – 30 % vodní rozlohy o hloubce vody do 400 mm [34].

Pro období s teplotami výparu E nad 5°C platí Shendelův vztah, vycházející z průměrné měsíční teploty vzduchu t a relativní vlhkosti vzduchu e_r : [34]

$$E = 0,135 \frac{t}{e_r}$$

Kromě výparu z vodní hladiny tvoří velkou část výparu v přírodě transpirace rostlin. V rybnících a nádržích se vyskytuje na zarostlých vodních plochách. Tyto plochy porostlé tvrdými rostlinami mají větší ztrátu vody evapotranspirací, než je samotný výpar z vodní hladiny. Podobně i pobřežní vlhkomilné rostliny mají velkou transpiraci, pokud je půda dobře nasycena vodou. Výpar ze zarostlé hladiny závisí zejména na stupni vývoje vegetace, tab. 33 a 34 [34].

Tabulka 33 Opravný součinitel pro stanovení výparu ze zarostlých vodních ploch.

Oblasti	Podíl zarostlé plochy [%]			
	10	30	50	75
Lesostepní a lesní	1,03	1,08	1,14	1,22
Stepní a polopouštní	1,04	1,14	1,24	1,34

Tabulka 34 Průběh výparu ze zarostlých ploch vyjádřený v % celkového výparu.

Oblasti	Podíl měsíčního výparu ze zarostlé plochy [%]					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
Lesní	11	22	27	23	13	4
Stepní	7	23	27	25	15	3

6.1.3 Výpočet bezpečnostního přelivu

Jedná se o odtok dešťových vod, který by akumuláční prostor hráze už nebyl schopen pojmout a při kterém by hrozilo přelití hráze a její možné poškození. Bezpečný odtok dešťových vod z rezervního akumuláčního prostoru hráze je řešen bezpečnostním kruhovým přelivem, který při úplném naplnění akumuláčního prostoru hráze bude odvádět veškeré maximální průtoky dešťových vod z rezervního akumuláčního prostoru hráze [43,44]. Pro výpočet kruhového přelivu můžeme použít vztah podle Stause a Sandena [44] nebo odečtem z grafu dle M. Janečka [42].

Pro kruhový přeliv platí vztah podle Stause a Sandena:

$$Q = \mu_p \cdot q_i \cdot D^{5/2}$$

kde pro součinitel přepadu platí: $\mu_p = 0,555 + 0,041 \frac{h}{D} + 0,00909 \frac{D}{h}$,

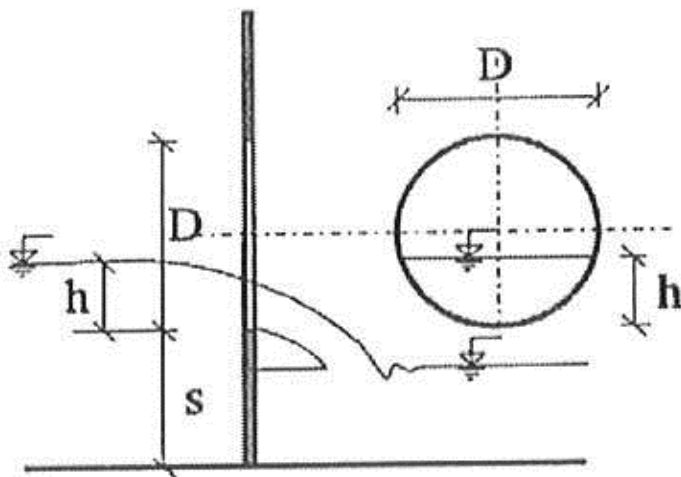
a pro hodnotu pomocného průtoku q_i ($l \cdot s^{-1}$) přelivem s průměrem $D = 0,1$ m, platí podle Rampoliniho výraz: $q_i = 10,12 \left(\frac{h}{D}\right)^{1,975} - 2,66 \left(\frac{h}{D}\right)^{3,78}$

kde Q – kulminační průtok,

h – výška přelivného paprsku,

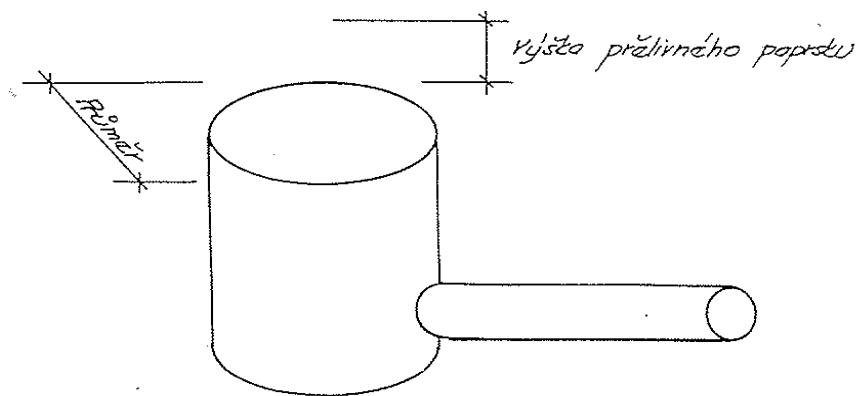
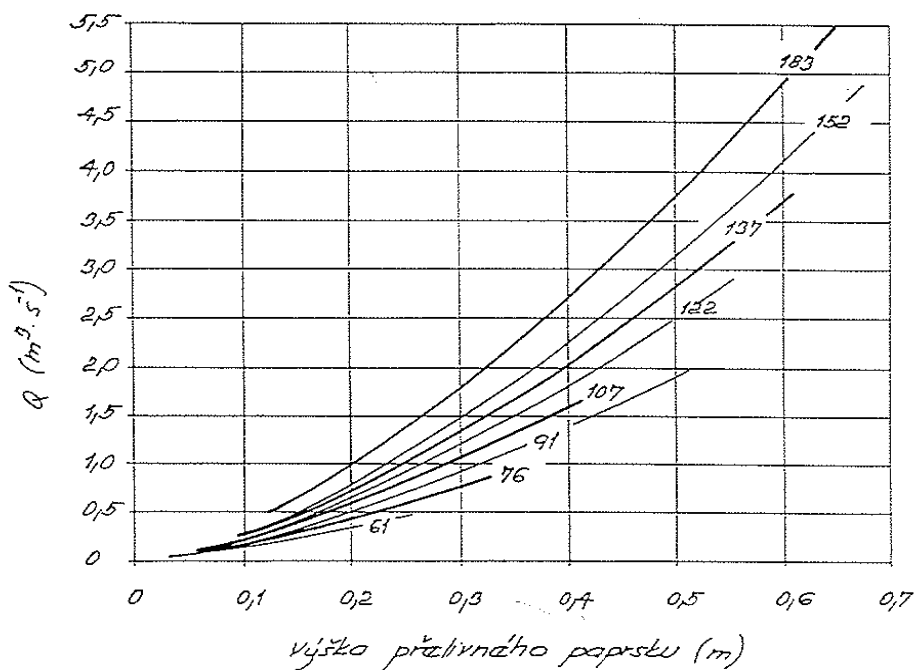
D – průměr kruhového přelivu.

Obrázek 15 Kruhový přeliv [44].



Průtočná kapacita kruhového přelivu dle M. Janečka:

Obrázek 16 Průtočná kapacita kruhového přelivu [42].



Kruhový přeliv je potřeba vybavit zařízením pro zachycení splavenin proti zanášení potrubí – česlicemi.

Tabulka 35 Vztah DN odběrného potrubí a doporučené světlosti mezi česlicemi.

DN odběrného potrubí	Světlost mezi česlicemi (mm)
pod 500	≤ 60
od 500 do 800	≤ 90
nad 800	≤ 120

6.1.4 Návrh průtoku dešťových vod odpadním potrubím kruhového přelivu

Návrh a posouzení průtoku odpadním potrubím vychází z návrhu a posouzení splaškového kanalizačního potrubí dle rovnice:

$$Q_{rw} = Q_{ww} + Q_c + Q_p + Q_o$$

kde Q_{rw} - výsledný průtok, v l/s,

Q_{ww} - průtok splaškových vod, v l/s,

Q_c - trvalý průtok, v l/s,

Q_p - čerpaný průtok, v l/s,

Q_o - regulovaný odtok srážkových vod z retenční dešťové nádrže nebo vsakovacího zařízení, v l/s.

V našem případě je Q_{ww} , Q_c a $Q_p = 0$, potom platí rovnice:

$$Q_{rw} = Q_o (Q_r)$$

kde Q_o - pokud je odtok srážkových vod přiváděný do svodného potrubí regulován na odtoku z retenční dešťové nádrže nebo vsakovacího zařízení srážkových vod

Q_r - pokud odtok srážkových vod přiváděný do svodného potrubí není regulován na odtoku z retenční dešťové nádrže nebo vsakovacího zařízení srážkových vod

$Q_o (Q_r)$ – výpočet maximálních průtoků dešťových vod z pozemku je stanoven z výpočtů modelu SMODERP a metodou CN - křivek.

Pro ustálené rovnoměrné proudění vody ve stoce s volnou hladinou platí vztah podle Chézyho rovnice:

$$Q = S \cdot C \sqrt{R \cdot I}$$

kde Q – průtok vody, v m³/s,

S – průtočná plocha, v m²,

C – rychlostní součinitel podle Chézyho, v m^{1/2}/s,

R – hydraulický poloměr, v m,

I – sklon čáry energie (za výše uvedeného předpokladu rovnoměrného proudění je číselně roven sklonu dna stoky, v m/m).

Pro stanovení rychlostního součinitele C , v m^{1/2}/s, se doporučuje používat empirický vzorec podle Pavlovského s odpovídající volbou hodnoty součinitele drsnosti n :

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y$$

kde pro exponent y platí následující vztah:

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,10)$$

kde n – Pavlovského součinitel drsnosti pro stoky. Jeho číselné hodnoty (obvykle $n = 0,014$) a rozměr lze nalézt v odborné literatuře,

R – hydraulický poloměr, v m.

Maximální dovolený průtok odpadním potrubím zvoleného vnitřního průměru d a spádu odpadním potrubí I.

$$Q_{\max} = v \cdot S \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

kde v – průřezová rychlost v příčném profilu, v m/s,

S – průtočná plocha, v m^2 .

Podle Manningovy rovnice se vypočte průřezová rychlost v příčném profilu v , v m/s:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

kde n – Manningův drsnostní součinitel. Jeho číselné hodnoty se v závislosti na materiálu vnitřního povrchu stoky liší. Mohou nabývat přibližně hodnot od $n = 0,011$ až $0,015$. Příslušnému materiálu odpovídající hodnoty lze nalézt v odborné literatuře.³

R – hydraulický poloměr, v m,

I – sklon čáry energie (za výše uvedeného předpokladu rovnoměrného proudění je číselně roven sklonu dna stoky, v m/m).

³ $\left(K = \left(\frac{1}{n} \right) \text{ viz celkové hydraulické ztráty} \right)$

Celkové hydraulické ztráty

Existují dva postupy ke stanovení celkových hydraulických ztrát:

- sečítání místních ztrát se ztrátami třením v potrubí,
- zohlednění místních tlakových ztrát za předpokladu vyšší hydraulické drsnosti potrubí při výpočtu tlakových ztrát v potrubí.

Když se použijí doporučené hydraulické drsnosti potrubí nebo rychlostní součinitelé, je nutno vysvětlit, zda byly zohledněny místní ztráty. Pro k se běžně používají hodnoty v rozsahu od 0,03 mm do 3,0 mm a pro K v rozsahu od $70 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ do $90 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$.

Výpočty podle rychlostní rovnice mohou být porovnány přibližně pomocí rovnice:

$$K = 4 \cdot \sqrt[6]{g \left(\frac{32}{D}\right)} \cdot \log_{10} \left(\frac{3,7D}{k}\right)$$

Kde: K – je součinitel podle Manninga v $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$,

g – gravitační zrychlení v $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,

D – vnitřní průměr potrubí v m,

k – hydraulická drsnost potrubí v m.

Při provádění nové konstrukce musí být potrubí uloženo podle EN 1610 provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení nebo popř. EN 12889. Odpadní potrubí je situováno v relativně nejnižších polohách v reliéfu území, je vedeno v přímém směru. Potrubí větších délek musí být rozděleny šachticemi na úseky max. délky 400 m. Hloubka uložení odpadního potrubí by neměla být zmenšena pod 0,70 m. Největší průměrná profilová rychlost při návrhovém průtoku v potrubí u trubek z plastů je $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (ČSN 64 3212:1985). [39,40,41]

U stokových potrubí o průměru do 100 cm a sklonu větším než 35 ‰ a u potrubí o průměru přes 100 cm a sklonu větším než 30 ‰ bylo uvažováno i provzdušnění vodního proudu. Provzdušněný proud je charakterizován zvětšením objemového průtoku v důsledku vytvoření směsi vody a vzduchu a snížením součinitele tření.
[45]

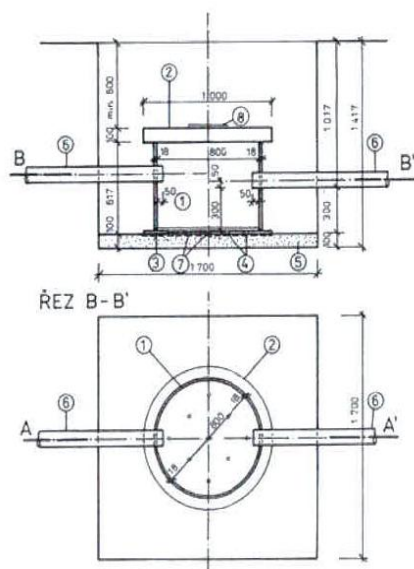
6.1.5 Objekty na odpadním potrubí

Šachtice

Stokové šachtice vytvářejí podmínky pro řádnou údržbu, kontrolu funkce i bezporuchový provoz odpadního potrubí (stokové sítě). Obvyklým materiálem pro jejich konstrukci jsou betonové a železobetonové skruže a desky, trubky z plastů nebo celé prefabrikované šachty ze železobetonu, kameniny nebo plastů. Podle funkce, kterou zajišťují, rozeznáváme: [35,39,40,41]

- Normální šachtice, která se navrhuje v místě náhlého zlomu sklonu dna stokové sítě (při nebezpečí zanášení spodního úseku), zkrácení úseku stokové sítě (pro umožnění následného čištění) nebo spojení několika stokových potrubí. Obvykle se tyto šachtice navrhuje o průměru 0,6 m nebo 0,8 m a zakrývají se zemínou v hloubce cca 0,6 m (aby nepřekážely při obdělávání půdy).

Obrázek 17 Normální šachtice z plastů.

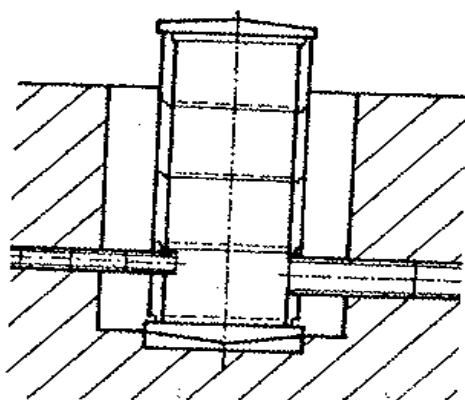


1 – plastová skruž,
3 – deska z polypropylenu,
5 – štěrkopískový podsyp,
7 – otvory,

2 – betonová deska,
4 – geotextilie,
6 – trubka,
8 – ocelová deska tl. 15mm.

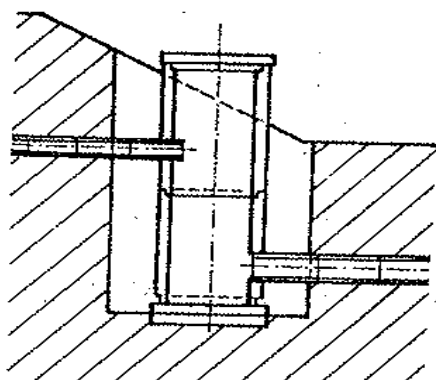
- Revizní šachtice, které mohou být navrženy ve stejných místech jako normální šachtice. Osazují se tam, kde je vyžadována z hlediska bezporuchového provozu stokové sítě občasná kontrola funkce sítě, nebo výjimečně jsou v šachticích osazena měrná zařízení. Tyto šachtice přesahují úroveň povrchu terénu a navrhují se o průměru 0,8 m nebo 1,0 m. navýšení nad úroveň terénu zabraňuje vtékání povrchových vod, vnášení zemitých částic a s ohledem na provozní bezpečnost (osob, techniky) se vždy zakrývají víkem. Pokud je stokové potrubí navrženo o průměru větším než 200 mm a průtok dešťové vody je větší než $50 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, případně hloubka uložení drenáže je větší než 2 m, doporučuje se osadit šachtice kanalizačního typu.

Obrázek 18 Revizní šachtice.



- Spadištní šachtice se navrhují v místech potřeby překonávání výškového rozdílu ve dnech stokového potrubí, například ve svažitém území, u vysokých mezí apod.

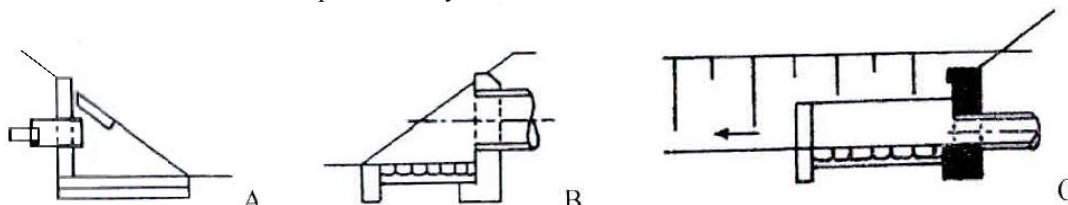
Obrázek 19 Spadištní šachtice.



Výústě odpadního potrubí

Drenážní výústě zajišťují odtok dešťových vod do recipientů bez erozního ohrožení jeho svahu a dna. Podle velikosti odpadního potrubí a průtočného množství dešťových vod volíme konstrukční a materiálové provedení tohoto objektu. U malého profilu a nízkého průtoku vody se obvykle ukončí stokové potrubí betonovou nebo kameninovou (mrazuvzdornou) trubkou a kolem ní na vzdálenost cca 0,5 m se opevní kamennou dlažbou do cementového lože (na pískové lože u středně těžkých a těžkých půd), případně betonovými dlaždicemi. V ostatních případech se k vyústění odpadního potrubí využijí betonové prefabrikáty, případně se výúst' vybuduje jako monolit z betonu nebo kamene s vyspárováním cementovou maltou. Odpadní výúst' se optimálně navrhuje osadit kolmo na osu recipientu nebo výjimečně šikmo po směru toku vody v recipientu, přičemž výškově je nutné ji osadit nejméně 0,2 m, optimálně 0,3 m (v místech zanášení dna recipientu vždy více než 0,3 m) nad úroveň 210denní vody v recipientu s trvalým průtokem. V případech možného ohrožení funkce odpadního potrubí zpětným vzduším kalné vody, nebo přemnoženou faunou, ukončí se stoka kameninou, nebo ocelí s osazenou zpětnou klapkou. [35,39,40,41].

Obrázek 20 Schéma různého provedení výústí.



A – z betonových prefabrikátů,

B – z monolitického betonu,

C – z lomového kamene.

V této práci se počítá s vyústěním odpadního potrubní do suché nádrže.

6.2 Návrh ochranné suché nádrže

Vodohospodářské řešení ochranné nádrže spočívá ve stanovení podmínek a okolností zajištění ochrany níže ležícího území před velkými vodami v závislosti na požadovaném stupni zabezpečení. V podstatě se jedná o výběr vhodné lokality, stanovení velikostí ovladatelného a neovladatelného ochranného (retenčního) objemu nádrže v závislosti na požadovaném stupni ochrany zájmového území a určení kapacity výpustí a bezpečnostních přelivů. Při návrhu potřebných ochranných objemů je třeba počítat s objemem splavenin, které se usadí v ochranné nádrži, a s cykly jejich vyklízení. Při vyhodnocení je třeba počítat s kapacitou výpustí, které se obvykle navrhují tak, aby průtok výpustmi nepřekročil kapacitu koryta pod nádrží. U malých ochranných nádrží se navrhují převážně výpustě a bezpečnostní přelivy nehrazené. Transformace návrhové povodňové vlny se nejčastěji stanoví:

- simulací provozu nádrže při povodňovém řízení toku;
- grafickým řešením součtových čar přítoku a odtoku;
- početně z objemové čáry, která umožňuje stanovit závislost mezi objemem ochranného prostoru a odtokem aj.

Podrobnosti vodohospodářského řešení ochranných (retenčních) nádrží uvádí ČSN 75 2405 a ČSN 75 2410. Ochranný (retenční) prostor snižuje (transformuje) povodňovou vlnu v závislosti na jeho objemu nádrže a parametrech bezpečnostního přelivu. Při stanovení ochranné funkce nádrže se vychází z diferenciální nebo diferenční rovnice

$$dV_r = Q_p \cdot dt - Q_0 \cdot dt \quad \cdot \quad \Delta V = Q_p \cdot \Delta t - Q_0 \cdot \Delta t$$

kde dV_r - je změna objemu vody v nádrži za čas dt ;

Q_p - přítok;

Q_0 - odtok.

Neškodný průtok z nádrže Q_0 se stanoví jako minimum rozdílu neškodného průtoku ve vodním toku Q_{ne} a přírůstku průtoku z mezipovodí ΔQ_p . [34]

Tabulka 36 N- leté průtoky vodního toku [18]

Vodní tok	Řetovka						
Číslo hydrologického pořadí	1-02-02-0600-0-00						
Souřadnice v S JSTK	x= -604835 m; y= -1077030 m						
Profil	Řetová, křížení s místní komunikací u areálu zemědělského podniku, cca 8,36 ř. km						
Plocha povodí A ^{a)}	7,49 km ²						
N- leté průtoky Q_n m ³ ·s ⁻¹							
1	2	5	10	20	50	100	třída
2,16	3,52	5,87	8,09	10,7	14,7	18,3	III.

7 Souhrn

7.1 Ohroženost pozemku vodní erozí

7.1.1 Výsledky rovnice USLE

Tabulka 37 Výsledné hodnoty bez protierozních opatření

Výsledné hodnoty					
Odtokové linie	Celková délka [m]	Průměrný sklon [%]	Faktor L	Faktor S	Faktor C
Linie 1	218,14	11,21	3,52	1,37	0,07
Linie 2	377,53	11,69	4,76	1,45	0,05
Linie 3	393,42	12,09	4,87	1,52	0,05
Linie 4	450,85	11,50	5,25	1,42	0,05
Linie 5	442,52	10,60	4,75	1,27	0,06
Linie 6	513,22	9,79	5,13	1,14	0,06
Linie 7	187,75	11,23	3,24	1,38	0,08
Linie 8	198,39	9,91	3,13	1,16	0,09

Faktor R - 31,3; Faktor K - 0,38; Faktor P - 1

Tabulka 38 Dlouhodobá průměrná ztráta půdy bez protierozních opatření

dlouhodobá průměrná roční ztráta půdy G				
Odtokové linie	Kukuřice C = 0,61	Pšenice ozimá C = 0,12	Jetel červený C = 0,015	Řepka ozimá C = 0,22
Linie 1	53,56	10,54	1,32	12,63
Linie 2	42,27	8,32	1,04	15,25
Linie 3	54,04	10,63	1,33	19,49
Linie 4	43,76	8,61	1,08	15,78
Linie 5	50,09	9,85	1,23	18,07
Linie 6	26,26	5,17	0,65	9,47
Linie 7	32,34	6,36	0,80	11,66
Linie 8	35,02	6,89	0,86	12,63

Výsledné hodnoty faktoru C (faktor ochranného vlivu vegetace; tabulka 37) a výsledné hodnoty faktoru G (dlouhodobá průměrná roční ztráta půdy vodní erozí; tabulka 38) nám určuje jako vhodnou pěstební plodinu víceleté pícniny (např. jetele a vojtěšky) nebo přerážení zemědělského pozemku na trvalý travní porost. Výsledky jsou pro celý pozemek (nedělený) bez využití protierozních opatření ($P = 1$).

7.1.2 Výsledky modelu SMODERP

Návrh protierozních opatření, z výsledných hodnot modelu SMODERP, nám pozemek rozděluje na několik menších pozemků. Velikost pozemků je dána podle velikosti tečného napětí a rychlosti odtoku. Na místech, kde začíná docházet k intenzivním erozním procesům, model SMODERP přeruší odtokovou dráhu, tabulka 39.

Tabulka 39 Hodnoty přípustné délky pozemku a počtu jeho rozdělení.

Linie	Vzdálenost od počátku [m]	Vzdálenost přerušení [m]
Linie 1	55; 94; 133; 163; 207	55; 38; 39; 30; 45
Linie 2	31;87;139;191;226;276; 306;353	31;57;51;52;36;50;30;47
Linie 3	29;74;128;176;229;261 328;381	29;44;54;49;53;32;68;53
Linie 4	29;88;134;194;221;261 296;345;398;451	29;59;46;60;27;40;35;48 53;53
Linie 5	45;105;144;203;227;274 323;404	45;60;39;59;24;47;49;81
Linie 6	49;95;153;201;239;290 337;399;464	49;46;59;48;37;51;48;61 65
Linie 7	45; 98; 145	45; 53; 47
Linie 8	49; 90; 134; 189	49; 41; 44; 54

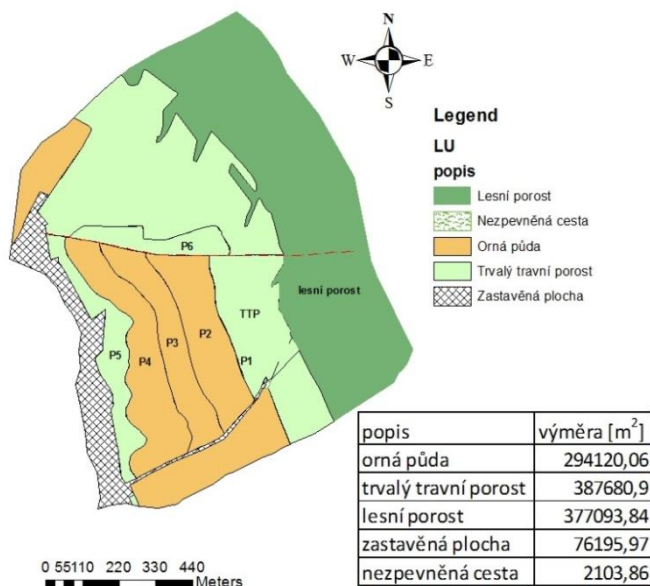
Hodnoty jsou počítány pro pěstování úzkořádkových plodin.

7.2 Návrh protierozních opatření

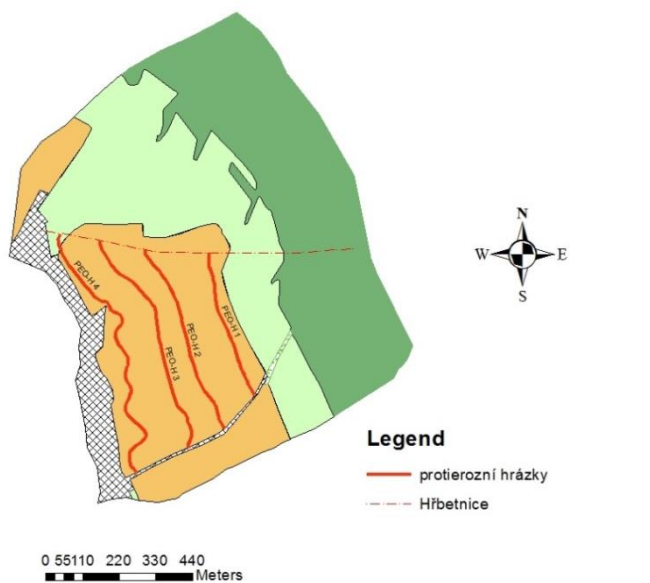
Výsledný návrh protierozních opatření je zpracován zejména na základě výpočtů rovnice USLE. Pro potřeby protierozní ochrany pozemku jsou z této rovnice důležité tři faktory: přípustná délka svahu l , faktor ochranného vlivu vegetace C a faktor protierozních opatření P . Příslušné hodnoty faktorů získáme odvozením z rovnice USLE při dané povolené průměrné roční ztrátě půdy.

Přípustná délka svahu l

Obrázek 21 Rozdělení pozemku dle rovnice USLE



Obrázek 22 Počet a umístění protierozních hrázek.



Tabulka 40 Přípustná délka svahu l [m]

Přípustná délka svahu l [m]					
	Pozemek P1	Pozemek P2	Pozemek P3	Pozemek P4	Pozemek P5
Linie 1	-	-	84,44	99,36	-
Linie 2	43,46	138,45	74,57	73,13	47,92
Linie 3	26,99	130,93	72,45	72,82	51,96
Linie 4	40,60	131,19	80,42	105,24	93,40
Linie 5	43,55	139,92	83,66	120,15	55,22
Linie 6	58,61	139,51	86,05	140,00	89,06
Linie 7	-	93,38	94,37	-	-
Linie 8	-	-	86,51	111,89	-

Tabulka 40 nám určuje přípustnou délku svahu po spádnici. Z výsledků je patrné, že je nutné rozdělit zemědělský pozemek na menší zemědělské bloky k přerušení povrchového odtoku. Pro přerušení povrchového odtoku jsou na zájmovém území navrženy protierozní hrázky (obrázek 22). Výsledný počet navržených protierozních hrázek je kompromisem určujících hodnot: přípustné délky svahu, přípustné ztráty půdy vodní erozí, faktor ochranného vlivu vegetace a návrhu protierozních hrázek, které by měli vést po vrstevnici. U pozemku P1 a P5, které budou zatravněné, se nejedná o přípustnou délku svahu. Pozemek P5 je určen pro jedno z možných řešení na umístění suché nádrže (poldru) pro akumulaci vody z protierozních hrázek. Pozemek P1 je svažitéjší část pozemku, která by spolu s pozemkem P2 překračovala přípustné hodnoty dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy vodní erozí. Výsledky rovnice USLE nám zemědělský pozemek dělí na tři menší zemědělské pozemky, které jsou odděleny zatravněnými pásy na nichž jsou protierozní hráze. Travní pásy slouží k sedimentaci půdních částic, minimální šířka travních pásů je 5 metrů.

Faktor ochranného vlivu vegetace C

Na pozemku je vhodné pěstovat pouze úzkořádkové plodiny. Volí se plodiny s dlouhou vegetační dobou, využívá se kořenový systém plodin a velká listová pokrytost. Z tohoto důvodu je kukuřice, v osevním postupu tab. 1, nevhodná.

Návrh vhodného osevního postupu by měl obsahovat plodiny jako je např. jetel, pšenice ozimá, ječmen ozimý, řepka ozimá, pšenice ozimá, žito ozimé, luskovinoobilní směs s podsevem.

Doporučené řešení protierozních opatření nabízí technologie setí ozimé obilniny po obilnině nebo řepce s využitím mělké podmítky. Technologie je určena pro pozemky s vyšší ohrožeností půdy erozí, při kterém je maximum rostlinných zbytků ponecháno na povrchu půdy.

Doporučená technika:

- Radličkový kypřič vybavený podřezávacími radličkami pro celoplošné mělké zpracování půdy bez výraznějšího mísení rostlinných zbytků se zeminou (většina rostlinných zbytků zůstane na povrchu půdy).
- Postřikovač pro aplikaci neselektivního herbicidu k potlačení plevelů a vzešlého výdrolu předplodiny.
- Secí stroj pro setí do nezpracované nebo do minimálně zpracované půdy (zpravidla s možností podpovrchového zapravení průmyslových hnojiv mimo zónu uložení osiva).

Pro zvýšení protierozní ochrany půdy při pěstování ozimé řepky je vhodné využít rozdrcenou slámu obilniny jako mulč na povrchu půdy. Podmínkou je rovnoměrné rozptýlení rozdrcené slámy a použití rozmetadel plev na sklízecích mlátičkách [4].

Faktor protierozních opatření P

Pro pozemek bylo, jako nejsprávnější varianta faktoru protierozních opatření, zvoleno hrázkování, respektive přerušované brázdování podél vrstevnic. Pro sklon pozemku 7 -12 % je faktor protierozních opatření roven hodnotě 0,30.

K přerušení povrchového odtok je použito technické opatření, protierozní hrázky.

7.3 Návrh suché retenční nádrže

Protierozní hrázky slouží ke dvěma účelům, za prvé přerušují přípustnou délku pozemku (l), akumulují a bezpečně odvádí srážkovou vodu čímž plní funkci protierozní ochrany pozemku, za druhé musíme, kvůli ochraně přilehlé obce pod pozemkem, správně dimenzovat protierozní hrázky pro správnou funkci protipovodňové ochrany obce. Návrh protipovodňových opatření vychází z modelu SMODERP, pro zemědělské pozemky, a metodou CN - křivek, pro lesní porost. Výška protierozních hrázek byla počítána pro srážku o intenzitě 120 minut a periodiku 0,01 (1x za 100 let), z údajů poskytnutých Českým hydrometeorologickým ústavem. Výška protierozních hrázek byla zvýšena o 20 centimetrový akumulací prostor. Odtokové potrubí kruhového přelivu bylo počítáno dle ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky a ČSN 75 6110 Odvodňovací systém vně budov.

7.3.1 Výsledné hodnoty povrchového odtoku modelu SMODERP

Pro dimenzování technických protierozních opatření je potřeba zajistit návrhové dimenzační hodnoty (objem odtoku, maximální průtok). SMODERP je možné pro tyto návrhy použít, předpokládá to například ČSN 75 4500 – Protierozní ochrana zemědělské půdy [21].

Pozemek P2	Max. průtok	Celkový odtok	Pozemek P3	Max. průtok	Celkový odtok
Linie 2	352,4	320085	Linie 1	30,4	22584
Linie 3	524,6	471463	Linie 2	187,8	133803
Linie 4	535,7	462402	Linie 3	657,5	458999
Linie 5	260,5	239227	Linie 4	309,4	222327
Linie 6	344,1	311960	Linie 5	254,3	187046
Linie 7	108,4	82774	Linie 6	255,6	191765
			Linie 7	135,3	106865
			Linie 8	152,5	114735

Pozemek P4	Max. průtok	Celkový odtok	Pozemek P1+ttp	Max. průtok	Celkový odtok
Linie 1	356,2	290607	Linie 1	107,2	222942
Linie 2	298	247105	Linie 2	330,4	345022
Linie 3	554,4	505951	Linie 3	595,4	617080
Linie 4	501,5	394806	Linie 4	143	153145
Linie 5	233,3	201058			
Linie 6	326,6	305365			
Linie 8	142,8	118277			

Kde: maximální průtok [l/s],
celkový odtok [l].

Objem přímého odtoku (Celkový odtok):

P1 + trvalý travní porost: $O_{pH} = 1\,338\,189$ [l] = $1\,338,189$ [m³]

P2: $O_{pH} = 1\,887\,911$ [l] = $1\,887,911$ [m³]

P3: $O_{pH} = 1\,438\,124$ [l] = $1\,438,124$ [m³]

P4: $O_{pH} = 2\,063\,169$ [l] = $2\,063,169$ [m³]

7.3.2 Výsledné hodnoty povrchového odtoku metodou CN - křivek

V projekční praxi může být metoda odtokových křivek použita k navrhování hydrotechnických protierozních opatření, jako jsou dráhy soustředěného povrchového odtoku zatravněné údolnice, průlehy, záchytné příkopy, zasakovací pásy a malé vodní nádrže a pro posuzování vlivu protierozních opatření na povrchový odtok, ale pouze v souladu s ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“. Metoda není vhodná pro výpočet odtoku z tání sněhu [11].

Objem přímého odtoku (O_{pH}) a kulminační průtok (Q_{pH}):

Pozemek 2

- O_{pH} – objem přímého odtoku = 1 934,035 [m³] = 1 934 035 [l]
- Q_{pH} – kulminační průtok = 0,7646 [m³ · s⁻¹] = 764,6 [l · s⁻¹]

Pozemek 3

- O_{pH} – objem přímého odtoku = 1 611,949 [m³] = 1 611 949 [l]
- Q_{pH} – kulminační průtok = 0,6373 [m³ · s⁻¹] = 637,3 [l · s⁻¹]

Pozemek 4

- O_{pH} – objem přímého odtoku = 2 374,741 [m³] = 2 374 741 [l]
- Q_{pH} – kulminační průtok = 0,9363 [m³ · s⁻¹] = 936,3 [l · s⁻¹]

Pozemek 1 + trvalý travní porost nad pozemkem

- O_{pH} – objem přímého odtoku = 1 068,192 [m³] = 1 068 192 [l]
- Q_{pH} – kulminační průtok = 0,1969 [m³ · s⁻¹] = 196,9 [l · s⁻¹]

Lesní porost

- O_{pH} – objem přímého odtoku = 1 602,71 [m³] = 1 602 710 [l]
- Q_{pH} – kulminační průtok = 0,4135 [m³ · s⁻¹] = 413,5 [l · s⁻¹]

7.3.3 Výška protierozních hrázek

Tabulka 41 Výška protierozních hrázek.

Výšky protierozních hrázek		
Pozemek	Výška protierozní hrádky [m]	+20 cm akumuláční prostor [m]
P1	0,95	1,15
P2	0,95	1,15
P3	0,77	0,97
P4	0,82	1,02

7.3.4 Výpočet doby prázdnění akumulčního prostoru hráze

Tabulka 42 Doba prázdnění akumulčního prostoru hráze.

Pozemek	Koeficient vsaku - k_v	Doba prázdnění		
		sekund	hodin	dnů
P1	$1 \cdot 10^{-6}$	2460472	683,4643	28,47768
	$5 \cdot 10^{-6}$	492094,3	136,6929	5,695536
	min. $1 \cdot 10^{-5}$	246047,2	68,34643	2,847768
P2	$1 \cdot 10^{-6}$	2636517	732,3659	30,51524
	$5 \cdot 10^{-6}$	527303,4	146,4732	6,103049
	min. $1 \cdot 10^{-5}$	263651,7	73,23659	3,051524
P3	$1 \cdot 10^{-6}$	2072337	575,6491	23,98538
	$5 \cdot 10^{-6}$	414467,4	115,1298	4,797076
	min. $1 \cdot 10^{-5}$	207233,7	57,56491	2,398538
P4	$1 \cdot 10^{-6}$	2269276	630,3544	26,26477
	$5 \cdot 10^{-6}$	453855,2	126,0709	5,252954
	min. $1 \cdot 10^{-5}$	226927,6	63,03544	2,626477

Z výpočtů vyplívá že plocha propustného dna vsakovacího zařízení (A_{vsak}) nebude schopna, dle normy ČSN 75 9010, do 72 hodin převést veškerý objem akumulčního prostoru hráze do půdy. Pro zlepšení doby prázdnění vsakovací nádrže můžeme změnit půdní podloží propustné plochy dna vsakovacího zařízení (podle tabulky 28 třeba jemný písek a kyprý hlinitý písek) nebo může být plocha propustného dna vsakovacího zařízení doplněna o drenáž, která bude zaústěna do odtoku kruhového přelivu.

7.3.5 Výsledné hodnoty kruhového přelivu

Výsledné hodnoty jsou počítány pro odtokovou linii číslo 4.

Tabulka 43 Návrh kruhového přelivu.

Návrh kruhového přelivu			
Pozemek	Q – kulminační průtok	h – výška přelivného paprsku [cm]	D – průměr kruhového přelivu [cm]
P1	143	2,3	18
P2	535,7	4,2	23
P3	309,4	3,2	22
P4	501,5	4,1	23

Kruhový přeliv je konstruován pro dokonalý přepad vody. Při dokonalém přepadu vody nedochází, při vzrůstajících průtocích, k zahlcování průtočné kapacity šachty.

7.3.6 Výsledný průtok dešťových vod potrubím

Výsledné hodnoty jsou počítány pro odtokovou linii číslo 4.

Tabulka 44 Průtok dešťových vod potrubím, pozemek P1.

Pozemek P1	
Průměr potrubí	minimálně DN 250
Vnitřní průměr potrubí d [m]	0,29
Max. dovolené plnění potrubí h [%]	70
Sklon potrubí I [%]	19
Součinitel drsnosti potrubí PVC k_{ser} [mm]	0,4
Průtočný průřez potrubím S [m ²]	0,049386
Rychlost proudění v [m/s]	5,421
Max. dovolený průtok Q_{max} [l/s]	267,72

Tabulka 45 Průtok dešťových vod potrubím, pozemek P2.

Pozemek P2	
Průměr potrubí	minimálně DN 400
Vnitřní průměr potrubí d [m]	0,3804
Max. dovolené plnění potrubí h [%]	70
Sklon potrubí I [%]	19
Součinitel drsnosti potrubí PVC k_{ser} [mm]	0,4
Průtočný průřez potrubím S [m ²]	0,084975
Rychlost proudění v [m/s]	6,506
Max. dovolený průtok Q_{max} [l/s]	552,84

Tabulka 46 Průtok dešťových vod potrubím, pozemek P3.

Pozemek P3	
Průměr potrubí	minimálně DN 400
Vnitřní průměr potrubí d [m]	0,3804
Max. dovolené plnění potrubí h [%]	70
Sklon potrubí I [%]	19
Součinitel drsnosti potrubí PVC k_{ser} [mm]	0,4
Průtočný průřez potrubím S [m ²]	0,084975
Rychlost proudění v [m/s]	6,366
Max. dovolený průtok Q_{max} [l/s]	540,924

Tabulka 47 Průtok dešťových vod potrubím, pozemek P4.

Pozemek P4	
Průměr potrubí	minimálně DN 400
Vnitřní průměr potrubí d [m]	0,3804
Max. dovolené plnění potrubí h [%]	70
Sklon potrubí I [%]	19
Součinitel drsnosti potrubí PVC k_{ser} [mm]	0,4
Průtočný průřez potrubím S [m ²]	0,084975
Rychlost proudění v [m/s]	6,366
Max. dovolený průtok Q_{max} [l/s]	540,924

Největší sklon nivelety kanálu je omezen nejvyšší přípustnou rychlostí proudění pro navržený druh potrubí a technickými podmínkami pro ukládání a spojování potrubí podle ČSN64 3212:1985. Diplomová práce počítá s použitím trub z tvrdého polyvinylchloridu, pro které je daná nejvyšší přípustná rychlost proudění $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
[39]

Odpadní potubí kruhových přelivů budou zaústěna do ochranné suché nádrže, která je umístěna na zatravněném pozemku P5.

8 Diskuse

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení erozní ohroženosti zemědělsky využívaného pozemku a návrh protierozních opatření s ohledem na ochranu obce Řetová před následky povodní.

Hodnoty pro návrh a dimenzování protierozních opatření byly spočteny za pomoci Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), modelu SMODERP a metody CN – křivek. Tyto metody hodnocení erozní ohroženosti pozemku jsou historicky odzkoušené a aktualizované pro správné a dostatečně přesné potřeby jejich užití. Rovněž tak vstupní data erozních modelů jsou dlouhodobě měřena a poskytována odbornými orgány státní správy. Výsledky erozních modelů jsou celkem podobné i když upřednostnění jejich využití při návrhu protierozních opatření (USLE x SMODERP) nebo výpočtu celkového objemu odtoku a kulminačních průtoků (SMODERP x metoda CN – křivek) má své opodstatnění.

Zásadní funkční objekt protierozní hrázky, pro její bezpečnou funkci, je návrh kruhového přelivu. Správnou funkci kruhového přelivu určuje poměr h/D (výška přelivného paprsku/ průměr kruhového přelivu). Z dostupných materiálů nebyl poměr těchto veličin určen. Pro správnou funkci kruhového přelivu i za extrémních průtoků máme k dispozici několik přesnějších metod: matematická extrapolace, hydraulický výpočet, CFD (Computational Fluid Dynamics), fyzikální modelování.

Jelikož suchá retenční nádrž není vybavená výpustným zařízením a její prázdnění je závislé na vsaku vody do půdy je vhodné určit koeficientu vsaku k_v z geologického průzkum pozemku pro vsakování.

Správný návrh suché retenční nádrže přispívá k obohacování podzemní vody v místě spadu deště, a jejímu možnému dalšímu využití. Část akumulované vody se dostane výparem do ovzduší a přispívá ke stabilitě místního klimatu (malého vodního cyklu).

9 Závěr

Jedním ze základních typů kulturní krajiny je krajina zemědělská, která je výsledkem zásahu člověka do krajiny s cílem přeměnit ji ke svému prospěchu. Abychom docílili lepšího prospěchu, musíme k půdě přistupovat jako k vyčerpateľnému, nenahraditelnému a pomalu se obnovujícímu přírodnímu zdroji, který je potřeba chránit v duchu trvale udržitelného zemědělského hospodaření.

Základem trvale udržitelného zemědělského hospodaření je především ochrana půdy před erozí. Dané klimatické a morfologické poměry společně s nevhodným agrotechnickým postupem napomáhají k rozvoji tzv. zrychlené eroze i všech negativních jevů s erozí spojených. Správnou kombinací protierozních opatření, zahrnujících především vhodné organizační, agrotechnické a technické řešení, docílíme komplexní protierozní ochrany, která zajistí jak ochranu půdy, tak i regulaci povrchového odtoku k ochraně intravilánu obce.

Daná protierozní ochrana zemědělského pozemku řeší jeho ochranu pro možné hospodaření na co možná největší ploše daného pozemku. Další možnosti řešení protierozní ochrany pozemku závisí na individuálních potřebách vlastníka pozemku při jeho hospodaření, spočívající v počtu pásů se zemědělskou půdou a pásů zatravněných až po možné úplné zatravnění celého pozemku.

10 Seznam použité literatury

- [34] HANÁK, K. – KUPČÁK, V. – SKOUPIL, J. – ŠÁLEK, J. – TLAPÁK, V. – ZUNA, J.: Stavby pro plnění funkcí lesa. ČKAIT, 2008, ISBN 978-80-87093-76-4
- [43] HAVLÍK, V. – MAREŠOVÁ, I.: Hydraulika I. České vysoké učení technické v Praze, 1994.
- [44] HAVLÍK, V. – MAREŠOVÁ, I.: Hydraulika II. České vysoké učení technické v Praze, 1995.
- [4] HŮLA, J. - JANEČEK, M. - KOVAŘÍČEK, P. - BOHUSLÁVEK, J.: Agrotechnická protierozní opatření, VÚMOP Praha, 2001, ISBN 1211-3972
- [1] JANEČEK, M.: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, ISBN 978-80-213-1842-7
- [2] JANEČEK, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Powerprint s.r.o., Praha 2007, ISBN 978-80-254-0973-2
- [8] JANEČEK, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, 2005.
- [26] JANEČEK, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí – metodika, Česká zemědělská univerzita v Praze a Ústřední pozemkový úřad, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 2012
- [11] JANEČEK, M. - VÁŠKA, J.: Hydrologické výpočty v protierozní ochraně půdy. ČKAIT, 2001, ISBN 80-86364-40-2
- [13] JANEČEK, M. - VÁŠKA, J.: Aplikace Univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí. ČKAIT, 2002, ISBN 80-86364-63-1
- [35] KULHAVÝ, F. – KULHAVÝ, Z.: Navrhování hydromelioračních staveb. ČKAIT, 2008, ISBN 978-80-87093-83-2
- [3] Ministerstvo zemědělství ČR: Metodický návod – Návrh a hodnocení účinnosti systému komplexních opatření v pozemkových úpravách pro snížení škodlivých účinků povrchového odtoku. Reklamní fabrika, 2009, ISBN 978-80-904027-7-5
- [6] Ministerstvo zemědělství ČR, ÚSTŘEDNÍ POZEMKOVÝ ÚŘAD: Technický standard plánu společných zařízení v pozemkových úpravách. Agroprojekt PSO s.r.o., 2009.
- [7] Ministerstvo zemědělství ČR, Bonitace čs. Zemědělských půd a směry jejich využití 5. díl. Agrodat, 1990.
- [27] Ministerstvo zemědělství ČR, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Příručka ochrany proti vodní erozi, Ministerstvo zemědělství ČR, 2011, ISBN 978-80-7084-996-5
- [42] Ochrana půdy před erozí. Dům techniky České Budějovice. České Budějovice, Zář 1998.
- [5] SKLENIČKA, P.: Základy krajinného plánování. Naděžda Skleničková, Praha, 2003, ISBN 80-903206-0-0
- [45] ŠEREK, M. – ŠÁLEK, J. – MIČÍN, J.: Stokování a odvodnění, vodohospodářské tabulky. Vysoké učení technické v Brně. SNTL – Praha, Listopad 1984.
- [9] VRÁNA, K. - DOSTÁL, T. - ZUNA, J. - KENDER, J.: Krajinné inženýrství. Český svaz stavebních inženýrů, Praha 1998.
- [10] VÁŠKA, L. a kol.: Hydromeliorace. Český svaz stavebních inženýrů, Praha 2000, ISBN 80-86426-01-7
- [12] VÁŠKA, J. - DOSTÁL, T. - VRÁNA, K.: Protierozní ochrana. ČKAIT, 2000.

České technické normy

- [14] ČSN 75 4500 Protierozní ochrana zemědělské půdy. Český normalizační institut, Praha, Červen 1996.
- [15] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod. Český normalizační institut, Praha, Říjen 1997.
- [36] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže. NORMSERVIS s.r.o., Duben 2011.
- [37] ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží. NORMSERVIS s.r.o., Říjen 2004.
- [38] ČSN 75 4200 Hydromeliorace. NORMSERVIS s.r.o., Leden 1994.
- [39] ČSN 75 4210 Hydromeliorace, Odvodňovací kanály. NORMSERVIS s.r.o., Únor 1993.
- [40] ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Duben 2012.
- [41] ČSN 75 6110 Odvodňovací systém vně budov. Český normalizační institut, Říjen 2008.
- [46] ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod. Český normalizační institut, Únor 2012.
- [47] TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. Mze, Březen 2013.

Zákony

- [16] Vyhláška 546/2002 Sb. ze dne 12. prosince 2002, kterou se mění vyhláška 327/1998 Sb., kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup jejich vedení a aktualizaci.
- [25] Vyhláška 5/2011 ze dne 20. prosince 2010 o vymezení hydrologických rajónů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod.

ČGS

- [17] Geodetická mapa ČR 14 - 32 Ústí nad Orlicí v měřítku 1:50 000 + Hydrogeologická mapa ČR Ústí nad Orlicí v měřítku 1:50 000 + vysvětlivky

ČHMU

- [18] Výpis dat

Internetové stránky

- [19] Ministerstvo zemědělství – LPIS (www.eagri.cz)
- [20] VÚMOP – Sowac GIS (www.vumop.cz)
- [24] Pardubický kraj – (www.pardubickykraj.cz)
- [28] <http://gislib.upol.cz/>
- [48] eroze.sweb.cz

SMODERP

- [21] SMODERP – Uživatelský manuál
- [23] Jakubíková, A. - Ochrana a organizace povodí, FSv ČVUT v Praze
- [22] KAVKA, P. - Simulační model povrchového odtoku a erozních procesů (SMODERP) 2008, Juniorstav (Vodní hospodářství a vodní stavby)

Místní zdroje

- [24] ZD Sloupnice

Cizojazyčná literatura

rovnice USLE

- [28] RENARD, K. G. et al.: Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agr. Handbook No. 703, US Dept. of Agriculture, Washington, 1965.
- [29] WISCHMEIER, W. H. – SMITH, D. D.: Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. Agr. Handbook No. 282, US Dept. of Agriculture, Washington, 1978.
- [30] WISCHMEIER, W. H. – SMITH, D. D.: Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Agr. Handbook No 537, US Dept. of Agriculture, Washington, 1978.

metoda CN – křivek

- [31] ENGMAN, E. T.: Rounless coefficients for routing surface runoff . J. of Irrigation and Drainage Engineering 112, 1, 1986.
- [32] FERGUSON, B. K. – DEBO, T. N.: On – site stormwater management. Applications for landscape and engineering. Van Nostrand Reinhold New York, 1990.
- [32] National Engineering Handbook, Hydrolog. Section 4, SCS USDA, Washington D. C., 1976
- [33] OVERTON, D. E. – MEADOWS, M. E.: Storm water modeling. Academic Press. New York, 1976.

11 Seznam obrázků a tabulek

11.1 Seznam Obrázků

Obrázek 1 Zájmové území, současný stav	28
Obrázek 2 Odtokové linie pro rovnici USLE a model SMODERP	41
Obrázek 3 Vrstevnice určující směr odtokových linií.....	41
Obrázek 4 Závislost výšky přímého odtoku (H) na úhrnu deště (H) a čísel odtokových křivek (CN) [11].....	53
Obrázek 5 Průměrná čísla odtokových křivek - CN pro IPS II [11].....	54
Obrázek 6 Vliv obsahu vody v půdě (IPS I - suchá, IPS II - střední, IPS III - nasycená) na změnu čísla odtokové křivky (CN) [11].....	55
Obrázek 7 Nomogramy pro určení čísla odtokové křivky (CN) v závislosti na skupině půd a lesních hydrologických podmínkách [11].....	57
Obrázek 8 Nomogram k určení I_a / H_s z 24 - hod. úhrnu deště pro různá čísla odtokových křivek (CN)	59
Obrázek 9 Nomogram pro zjištění jednotkového průtoku (q_{pH}) z doby koncentrace (T_c) a poměru (I_a / H_s)	60
Obrázek 10 Průměrné rychlosti pro stanovení doby doběhu pro soustředný odtok o malé hloubce	63
Obrázek 11 Protierozní hrázka.....	67
Obrázek 12 Výpočet výšky protierozní hrázky.....	67
Obrázek 13 Suchá retenční nádrž. [47]	69
Obrázek 14 Průměrný denní výpar.	72
Obrázek 15 Kruhový přeliv [44].	74
Obrázek 16 Průtočná kapacita kruhového přelivu [42].....	75
Obrázek 17 Normální šachtice z plastů.....	81
Obrázek 18 Revizní šachtice.	82
Obrázek 19 Spadištní šachtice.	82
Obrázek 20 Schéma různého provedení výustí.....	83
Obrázek 21 Rozdělení pozemku dle rovnice USLE	88
Obrázek 22 Počet a umístění protierozních hrázek.....	88

11.2 Seznam Tabulek

tabulka 1 Osev a protierozní opatření na pozemku 4602 [19,24]	29
Tabulka 2 Klimatický region MT7 [17 (Quitt 1971)].....	30
Tabulka 3 Dlouhodobé srážkové a teplotní průměry naměřené na stanicích v území listu Ústí nad Orlicí. [17]	31
Tabulka 4 Průměrné rozdělení faktoru R do měsíců vegetačního období v ČR. [1].	31
Tabulka 5 Pravděpodobnost výskytu erozně nebezpečných dešťů. [4]	31
Tabulka 6 Hodnoty faktoru R jednotlivých dešťů podle četnosti jejich výskytu. [1]	31
Tabulka 7 Charakteristika BPEJ skupiny půd hnědých. [7]	33
Tabulka 8 Klasifikace zrnitosti půdy. [7].....	33
Tabulka 9 Hydrologická skupina půd. [26]	34
Tabulka 10 Kategorie skeletovitosti (K) a hloubky půdy (H) [5,16].	38
Tabulka 11 Určení přípustné ztráty vodní erozí ($G_{přip.}$) v závislosti na hloubce půdy [5,16].	38
Tabulka 12 Určení přípustné ztráty půdy vodní erozí ($G_{přip.}$) v závislosti na hloubce půdy [1].	38
Tabulka 13 Průměrné hodnoty faktoru R. [5]	39
Tabulka 14 Hodnoty faktoru K podle hlavní půdní jednotky.	39
Tabulka 15 Exponent sklonu svahu	40
Tabulka 16 Hodnoty faktoru P. [5]	42
Tabulka 17 Hodnoty faktoru C pro základní zemědělskou plodinu. [5].....	43
Tabulka 18 Hodnoty faktoru C	43
Tabulka 19 Intensity krátkodobých dešťů v oblasti Ústí nad Orlicí (pro model SMODERP). [18].....	47
Tabulka 20 Intensity krátkodobých dešťů v oblasti Ústí nad Orlicí (pro model SMODERP). [18].....	48
Tabulka 21 Doporučené hodnoty součinitele hydraulické vodivosti K a sorptivity S [21, 22, 23]	48
Tabulka 22 Manningův součinitel drsnosti pro povrchový odtok [21, 22, 23].....	48
Tabulka 23 Střední hodnoty poměrné listové plochy a potenciální intercepce (mm) pro různé druhy plodin [21, 22, 23]	48
Tabulka 24 Hodnocení nadložního humusu podle metody CN – křivek [11]	56

Tabulka 25 Opravný součinitel (f) pro nádrže, rybníky a mokřady [11]	58
Tabulka 26 Manningův součinitel drsnosti (n) pro plošný povrchový odtok	61
Tabulka 27 Manningův součinitel drsnosti (n) pro otevřená koryta	64
Tabulka 28 Hodnoty pro výpočet objemu přímého odtoku.	65
Tabulka 29 Hodnoty pro výpočet kulminačního průtoku.	66
Tabulka 30 Koeficient vsaku.	70
Tabulka 31 Hodnoty pro výpočet doby vsaku vody.	70
Tabulka 32 Úkony údržby suchých retenčních nádrží. [47]	71
Tabulka 33 Opravný součinitel pro stanovení výparu ze zarostlých vodních ploch.	73
Tabulka 34 Průběh výparu ze zarostlých ploch vyjádřený v % celkového výparu. ...	73
Tabulka 35 Vztah DN odběrného potrubí a doporučené světlosti mezi česlicemi. ...	75
Tabulka 36 N- leté průtoky vodního toku [18]	85
Tabulka 37 Výsledné hodnoty bez protierozních opatření	86
Tabulka 38 Dlouhodobá průměrná ztráta půdy bez protierozních opatření.....	86
Tabulka 39 Hodnoty přípustné délky pozemku a počtu jeho rozdělení.	87
Tabulka 40 Přípustná délka svahu l [m].....	89
Tabulka 41 Výška protierozních hrázek.	95
Tabulka 42 Doba prázdnění akumulčního prostoru hráze.....	96
Tabulka 43 Návrh kruhového přelivu.	97
Tabulka 44 Průtok dešťových vod potrubím, pozemek P1.....	97
Tabulka 45 Průtok dešťových vod potrubím, pozemek P2.....	98
Tabulka 46 Průtok dešťových vod potrubím, pozemek P3.....	98
Tabulka 47 Průtok dešťových vod potrubím, pozemek P4.....	98

12 Přílohy

12.1 Výsledné hodnoty pro pěstování úzkořádkové plodiny na celém zemědělském pozemku pro model SMODERP.

Linie 1		Délka pozemku 220 [m]	
Celkové výsledky			
Max. výška hladiny	14,7	Vzdálenost od počátku	55; 94; 133; 163; 207
Max. průtok	861,6	Vzdálenost přerušení	55; 38; 39; 30; 45
Celkový odtok	836551	Max. výška hladiny	2,9; 2,4; 2,4; 1,8; 3,0
Max. rychlost	0,59	Max. průtok	39,3;39,7;25,4;23,7;44,2
Max. tečné napětí	26,70	Celkový odtok	289647;227876;259449; 161267;249388

Linie 2		Délka pozemku 380 [m]	
Celkové výsledky			
Max. výška hladiny	24,6	Vzdálenost od počátku	31;87;139;191;226;276; 306;353
Max. průtok	1330,3	Vzdálenost přerušení	31;57;51;52;36;50;30;47
Celkový odtok	1432668	Max. výška hladiny	1,8;3,6;3,0;3,0;1,8;3,0;1,8 2,4
Max. rychlost	0,54	Max. průtok	21,5;45,2;38,7;41,4;23,5; 41,4;21,5;25,3
Max. tečné napětí	19,97	Celkový odtok	188825;328258;294984 262942;157784;268609 187737;249603

Linie 3		Délka pozemku 397 [m]	
Celkové výsledky			
Max. výška hladiny	20,2	Vzdálenost od počátku	29;74;128;176;229;261 328;381
Max. průtok	1374,6	Vzdálenost přerušení	29;44;54;49;53;32;68;53
Celkový odtok	1538855	Max. výška hladiny	1,8;2,4;2,9;3,0;3,0;1,8 3,5;3,5
Max. rychlost	0,68	Max. průtok	25,6;25,1;39,8;42,4;48,9 21,5;40,0;47,3
Max. tečné napětí	32,20	Celkový odtok	137194;253419;270904 257411;398849;186823 390502;294461

Linie 4		Délka pozemku 455 [m]	
Celkové výsledky			
Max. výška hladiny	12,1	Vzdálenost od počátku	29;88;134;194;221;261 296;345;398;451
Max. průtok	661,3	Vzdálenost přerušení	29;59;46;60;27;40;35;48 53;53
Celkový odtok	103606	Max. výška hladiny	1,8;2,9;3,0;2,9;1,8,3,0;2,4 3,0;2,9;3,6
Max. rychlost	0,55	Max. průtok	24,8;42,3;42,5;37,2;24,4 44,4;52,8;37,6;42,8;82,4
Max. tečné napětí	24,90	Celkový odtok	73048;122123;128350 150814;74682;121117 65270;159886;117898 164451

Linie 5		Délka pozemku 446 [m]	
Celkové výsledky			
Max. výška hladiny	20,1	Vzdálenost od počátku	45;105;144;203;227;274 323;404
Max. průtok	1095,7	Vzdálenost přerušení	45;60;39;59;24;47;49;81
Celkový odtok	1306710	Max. výška hladiny	3,0;2,9;1,8;2,9;1,8;3,0 3,0;4,4
Max. rychlost	0,55	Max. průtok	54,7;37,9;20,0;37,3;29,7 43,5;41,0;56,1
Max. tečné napětí	21,35	Celkový odtok	327694;290426;205242 304882;104180;244753 271140;443330

Linie 6		Délka pozemku 517 [m]	
Celkové výsledky			
Max. výška hladiny	30,2	Vzdálenost od počátku	49;95;153;201;239;290 337;399;464
Max. průtok	1558,4	Vzdálenost přerušení	49;46;59;48;37;51;48;61 65
Celkový odtok	1912575	Max. výška hladiny	3,0;3,0;3,5;3,0;2,4;3,0 2,4;3,5;3,9
Max. rychlost	0,52	Max. průtok	45,5;42,6;55,6;41,7;39,3 39,8;33,5;40,7;57,2
Max. tečné napětí	17,25	Celkový odtok	327807;384837;470178 400854;338550;419852 435478;545495;529826

Linie 7		Délka pozemku 189 [m]	
Celkové výsledky			
Max. výška hladiny	18,1	Vzdálenost od počátku	45; 98; 145
Max. průtok	781,6	Vzdálenost přerušení	45; 53; 47
Celkový odtok	734109	Max. výška hladiny	3,0; 3,0; 3,0
Max. rychlost	0,43	Max. průtok	41,3; 40,7; 42,0
Max. tečné napětí	14,45	Celkový odtok	399848;414029;391429

Linie 8		Délka pozemku 199 [m]	
Celkové výsledky			
Max. výška hladiny	17,7	Vzdálenost od počátku	49; 90; 134; 189
Max. průtok	696,2	Vzdálenost přerušení	49; 41; 44; 54
Celkový odtok	665062	Max. výška hladiny	3,0; 2,4; 3,0; 3,5
Max. rychlost	0,39	Max. průtok	48,5; 25,1; 47,5; 44,5
Max. tečné napětí	12,16	Celkový odtok	204097;127746;105046 164615

12.2 Výsledné hodnoty s použitím protierozních opatření, pro zemědělský pozemek rozdělený na pět zemědělských bloků, řešené rovnicí USLE.

Linie 1								
Pozemek	Průměrný sklon %	Délka linie	Faktor S	Faktor L	G	Cmax	P	plodina
P1	-	-	-	-	-	-	-	-
P2	-	-	-	-	-	-	-	-
P3	12	84,44	1,30	2,01	2,61	0,18	0,7	ú.p.
P4	12	99,36	1,52	2,28	3,47	0,14	0,7	ú.p.
P5	-	-	-	-	-	-	-	-

Linie 2								
Pozemek	Průměrný sklon %	Délka linie	Faktor S	Faktor L	G	Cmax	P	plodina
P1	14	43,46	1,80	1,45	0,16	0,13	1	ttp
P2	10	138,45	1,19	2,59	3,09	0,16	0,7	ú.p.
P3	13	74,57	1,74	1,95	3,39	0,14	0,7	ú.p.
P4	14	73,13	1,78	1,86	3,32	0,14	0,7	ú.p.
P5	8	47,92	0,90	1,58	0,08	0,24	1	ttp

Linie 3								
Pozemek	Průměrný sklon %	Délka linie	Faktor S	Faktor L	G	Cmax	P	plodina
P1	22	26,99	3,17	1,12	0,21	0,09	1	ttp
P2	11	130,93	1,29	2,52	3,25	0,15	0,7	ú.p.
P3	14	72,45	1,80	1,92	3,46	0,14	0,7	ú.p.
P4	14	72,82	1,79	1,93	3,45	0,14	0,7	ú.p.
P5	8	51,96	0,86	1,44	0,07	0,27	1	ttp

Linie 4								
Pozemek	Průměrný sklon %	Délka linie	Faktor S	Faktor L	G	Cmax	P	plodina
P1	15	40,60	1,97	1,41	0,17	0,12	1	ttp
P2	11	131,19	1,29	2,52	3,24	0,15	0,7	ú.p.
P3	12	80,42	1,58	2,09	3,29	0,15	0,7	ú.p.
P4	11	105,24	1,41	2,36	3,31	0,14	0,7	ú.p.
P5	9,5	93,40	0,95	2,27	0,13	0,16	1	ttp

Linie 5								
Pozemek	Průměrný sklon %	Délka linie	Faktor S	Faktor L	G	Cmax	P	plodina
P1	14	43,55	1,80	1,45	0,16	0,13	1	ttp
P2	10	139,92	1,18	2,42	2,85	0,17	0,7	ú.p.
P3	12	83,66	1,50	2,00	2,99	0,16	0,7	ú.p.
P4	10	120,15	1,17	2,41	2,82	0,17	0,7	ú.p.
P5	5	55,22	0,62	1,48	0,07	0,37	1	ttp

Linie 6								
Pozemek	Průměrný sklon %	Délka linie	Faktor S	Faktor L	G	Cmax	P	plodina
P1	10	58,61	1,21	1,66	0,12	0,17	1	ttp
P2	10	139,51	1,18	2,60	3,07	0,16	0,7	ú.p.
P3	12	86,05	1,44	2,03	2,92	0,16	0,7	ú.p.
P4	9,4	140,00	0,94	2,42	2,27	0,21	0,7	ú.p.
P5	6,3	89,06	0,63	1,82	0,07	0,29	1	ttp

Linie 7								
Pozemek	Průměrný sklon %	Délka Linie	Faktor S	Faktor L	G	Cmax	P	plodina
P1	-	-	-	-	-	-	-	-
P2	11	93,38	1,29	2,11	2,73	0,18	0,7	ú.p.
P3	11	94,37	1,27	2,13	2,70	0,18	0,7	ú.p.
P4	-	-	-	-	-	-	-	-
P5	-	-	-	-	-	-	-	-

Linie 8								
Pozemek	Průměrný sklon %	Délka Linie	Faktor S	Faktor L	G	Cmax	P	plodina
P1	-	-	-	-	-	-	-	-
P2	-	-	-	-	-	-	-	-
P3	12	86,51	1,43	2,03	2,91	0,16	0,7	ú.p.
P4	9	111,89	1,00	2,18	2,17	0,22	0,7	ú.p.
P5	-	-	-	-	-	-	-	-

Délka linie [m]

Plodina - ú.p.: úzkořádkové plodiny

- ttp: trvalý travní porost

Faktor R - 31,3; Faktor K - 0,38

12.3 Výsledné hodnoty celkového odtoku řešené v modelu SMODERP.

Pozemek P2	Max. výška hladiny	Max. průtok	Celkový odtok	Max. tečné napětí	Max. rychlost
Linie 2	13,2	352,4	320085	12,97	0,39
Linie 3	10,7	524,6	471463	12,08	0,36
Linie 4	15,2	535,7	462402	11,97	0,38
Linie 5	12,5	260,5	239227	11,07	0,35
Linie 6	13,2	344,1	311960	12,98	0,39
Linie 7	10,8	108,4	82774	11,15	0,35

Pozemek P3	Max. výška hladiny	Max. průtok	Celkový odtok	Max. tečné napětí	Max. rychlost
Linie 1	8,9	30,4	22584	11,57	0,34
Linie 2	8,6	187,8	133803	10,15	0,32
Linie 3	11,5	657,5	458999	15,63	0,42
Linie 4	9,5	309,4	222327	11,75	0,35
Linie 5	12,1	254,3	187046	11,29	0,36
Linie 6	10,9	255,6	191765	11,26	0,35
Linie 7	13,3	135,3	106865	10,67	0,35
Linie 8	13,8	152,5	114735	10,98	0,36

Pozemek P4	Max. výška hladiny	Max. průtok	Celkový odtok	Max. tečné napětí	Max. rychlost
Linie 1	17,5	35,6	29061	19,58	0,20
Linie 2	21,7	298,0	247105	17,70	0,20
Linie 3	23,4	554,4	505951	13,55	0,17
Linie 4	14,3	501,5	394806	12,09	0,38
Linie 5	12,3	233,3	201058	9,41	0,32
Linie 6	14,9	326,6	305365	9,22	0,33
Linie 8	13,9	142,8	118277	9,54	0,33

Pozemek P1+ttp	Max. výška hladiny	Max. průtok	Celkový odtok	Max. tečné napětí	Max. rychlost
Linie 2	23,0	107,2	222942	34,92	0,29
Linie 3	18,9	330,4	345022	37,05	0,29
Linie 4	21,4	595,4	617080	38,06	0,30
Linie 5	20,5	143,0	153145	36,12	0,29

Kde: maximální výška hladiny [mm],
 maximální průtok [l/s],
 celkový odtok [l],
 maximální tečné napětí [Pa],
 maximální rychlost [m/s].

12.4 Výsledné hodnoty doby koncentrace a doby doběhu pro výpočet kulminační průtoku metodou CN – křivek.

Doba koncentrace			
	P2	P3	P4
Linie 1		0,161779	0,185773
Linie 2	0,226393	0,143551	0,139483
Linie 3	0,217706	0,138375	0,138978
Linie 4	0,217942	0,155215	0,19445
Linie 5	0,227661	0,160509	0,210595
Linie 6	0,227307	0,164395	0,230194
Linie 7	0,179008	0,180615	
Linie 8		0,165141	0,207168

Doba doběhu			
	P2	P3	P4
Linie 1		0,039912	0,046964
Linie 2	0,059761	0,036678	0,037319
Linie 3	0,059263	0,036972	0,037161
Linie 4	0,059381	0,038012	0,047635
Linie 5	0,060395	0,039543	0,051862
Linie 6	0,060218	0,040673	0,057338
Linie 7	0,042267	0,042715	
Linie 8		0,04089	0,045825

trvalý travní porost + pozemek 1		
	Doba koncentrace	doba doběhu
Linie 1	0,266128	0 077183
Linie 2	0,203263	0,043499
Linie 3	0,204981	0,044358
Linie 4	0,208714	0,044968

Lesní porost	
Doba koncentrace	Doba doběhu
0,358161	0,119692