

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCA**

2022

**SIMONA
ROŽŇOVJAKOVÁ**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

**KATEDRA HYDROMELIORACÍ A KRAJINNÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



DIPLOMOVÁ PRÁCA

**Návrh opatření ke snížení negativních dopadů výstavby
dálničního odpočívadla na dálnici D3 u Týnce nad Sázavou
se zaměřením na problematiku dešťových vod**

Control measures design to limit negative effects of
highway resting area D3/Týnec nad Sázavou with special
focus on rain water retention

Vedúci diplomovej práce: doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál

Máj 2022

SIMONA ROŽŇOVJAKOVÁ

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc.Rožňovjaková Jméno: Simona Osobní číslo: 468541
Zadávací katedra: K143
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh opatření ke snížení negativních dopadů výstavby dálničního odpočívadla na dálnici D3 u Týnce nad Sázavou se zaměřením na problematiku dešťových vod

Název diplomové práce anglicky: Control measures design to limit negative effects of highway resting area D3/Týnec nad Sázavou with special focus on rain water retention

Pokyny pro vypracování:

Cílem diplomové práce je analyzovat negativní vlivy plánovaného dálničního odpočívadla na přilehlé území z hlediska odvádění dešťových vod. Na základě analýzy teoretických možností nakládání s dešťovými vodami navrhněte vhodná opatření pro řešenou lokalitu určenou k výstavbě odpočívadla na dálnici D3 u Týnce nad Sázavou, která sníží zatížení vodních toků odtokem dešťových vod z plochy odpočívadla. Opatření by měla zahrnovat jak možnosti bezpečného odvedení vod do recipientu po předchozím předčištění, tak možnosti retence v krajině. Stanovte odtoková množství vody z plochy odpočívky pro různé srážky. Zpracujte scénáře řešení odvodu a retence vody. navrhněte vhodná opatření. Řešení zpracujte v úrovni studie.

Seznam doporučené literatury:

- Mapové podklady,
- DMT,
- Zpracované projekty týkající se tohoto území.

Jméno vedoucího diplomové práce: Tomáš Dostál, doc.Ing.Dr.

Datum zadání diplomové práce: 22.2.2022 Termín odevzdání diplomové práce: 15.5.2022
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som celú diplomovú prácu vypracovala samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry v súlade s metodickým pokynom ČVUT 1/2009 „O dodržovaní etických princípov pri príprave vysokoškolských záverečných prací“.

V Prahe dňa

.....

Simona Rožňovjaková

Pod'akovanie

Rada by som pod'akovala vedúcemu mojej diplomovej práce, pánu doc. Dr. Ing. Tomášovi Dostálovi za odbornú pomoc a podnetné pripomienky pri tvorbe tejto práce. Moje pod'akovanie patrí aj Ing. Lud'kovi Strouhalovi, PhD. a Ing. Janovi Devátému, PhD., za prípravu a poskytnutie dátových vrstiev.

Taktiež by som rada pod'akovala mestskému úradu v Týnci nad Sázavou za cenné rady pre vypracovanie tejto diplomovej práce a za poskytnutú dokumentáciu k územnému rozhodnutiu výstavby diaľnice D3 Praha – Václavice.

Zoznam skratiek

BPEJ	Bonitovaná pôdně ekologická jednotka
Bpv	Balt po vyrovnání
ČSN	České technické normy
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMR4G	Digitální Model Reliéfu České republiky 4 generácie
DUN	Dažďová usadzovacia nádrž
DUR	Dokumentácia k územnému rozhodnutiu
GIS	Geografický Informačný Systém
HEC – HMS	Hydrologic Engineering Centre – Hydrologic Modeling System
HSP	Hydrologická skupina pôdy
IPS	Index predchádzajúcich zrážok
LPIS	Land Parcel Identification System - veřejný registr půdy
RN	Retenčná nádrž
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic ČR
SCS CN	Soil Conservation Services - Curve number
TP	Technické podmienky
UH	Unit Hydrograph
USDA	The United States Department of Agriculture
VN	Vsakovacia nádrž
VÚPOM	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
WPS	Webová procesingová služba
ZABAGED	Základní báze geografických dat České republiky

OBSAH

strana

Absktrakt	10
Kľúčové slová	10
Abstract	11
Key words	11
1. Úvod	12
2. Úvod do problematiky	13
2.1 Všeobecné pravidlá.....	13
2.2 Geologický prieskum a podmienky vsakovania	14
2.3 Legislatívne požiadavky pre odvádzanie zrážkových vôd	15
2.4 Klasifikácia odvádzaných zrážkových vôd	16
2.5 Znečistenie zrážkových vôd	17
2.5.1 Delenie zrážkových vôd z hľadiska znečistenie.....	17
2.5.2 Spôsoby predčistenia zrážkových vôd	19
2.6 Nakladanie s vodami z parkovísk a odpočívadiel.....	21
2.6.1 Vplyv chemických látok zimnej údržby.....	21
3. Stavby pre vsakovanie, zadržiavanie a odvádzanie dažďových vôd	23
3.1 Vsakovanie dažďovej vody	23
3.1.1 Povrchové vsakovacie zariadenia.....	23
3.1.2 Podzemné vsakovacie zariadenia	24
3.2 Zadržiavanie dažďovej vody	26
3.2.1 Retenčné vsakovacie dažďové nádrže.....	27
3.2.2 Umelé mokrade	28
3.3 Návrhové parametre vsakovacích a retenčných zariadení.....	29
3.4 Zariadenia na odvádzanie dažďovej vody	31
3.4.1 Otvorené odvodňovacie zariadenia	32
3.4.2 Kryté odvodňovacie zariadenia	32
4. Zrážkovo – odtokový proces	34
4.1 Zložky zrážkovo – odtokového procesu	34
4.1.1 Intercepcia	34
4.1.2 Povrchová retencia	35
4.1.3 Evapotranspirácia	35
4.1.4 Infiltrácia	35

4.2	Základné typy odtoku	36
4.3	Hydrologická bilancia.....	36
5.	Hydrologické modelovanie.....	38
5.1	Delenie hydrologických modelov	38
5.1.1	Stochastické a deterministické modely	39
5.1.2	Celistvé a distribuované modely	40
5.2	Model HEC - HMS	41
5.2.1	Základné komponenty programu HEC – HMS	42
5.2.2	Oddelené modely programu HEC – HMS	42
5.2.3	Model transformácie priameho odtoku	43
5.2.4	Podporné programové prostriedky pre HEC - HMS	44
5.3	Metóda SCS – CN	45
5.3.1	Možnosti aplikácie metódy SCS – CN.....	45
5.3.2	Obmedzenie metódy CN kriviek.....	46
5.3.3	Objem priameho odtoku	46
5.3.4	Stanovenie maximálnej potenciálnej retencie	46
5.3.5	Čísla odtokových kriviek CN	47
5.3.6	Určenie výšky priameho odtoku	49
6.	Riešenie nakladania s dažďovými vodami z odpočívadla Dunávice na diaľnici	
	D3 u Týnca nad Sázavou	50
6.1	Úvod.....	50
6.2	Charakteristika záujmového územia	50
6.2.1	Geomorfológia	51
6.2.2	Pedológia.....	52
6.2.3	Klimatológia.....	53
6.2.4	Hydrológia.....	54
6.3	Terénny prieskum záujmovej oblasti.....	55
7.	Odpočívadlo Dunávice.....	57
7.1	Úvod do problematiky odpočívadiel	57
7.2	Charakteristika odpočívadla Dunávice	57
7.3	Odvodnenie odpočívadla Dunávice	58
8.	Príprava vstupných dát a modelu pre simuláciu povrchového odtoku	60
8.1	Zrážkové úhrny	60

8.1.1	Voľba návrhovej zrážky	60
8.2	Príprava dát	62
8.2.1	Vytvorenie čiastkových povodí.....	62
8.3	Stanovenie čísel odtokových kriviek	64
8.3.1	Hydrologické skupiny pôd	64
8.3.2	Vrstva využitia územia (Landuse).....	65
8.3.3	Hodnoty CN kriviek	66
8.4	Príprava modelu HEC - HMS	68
8.4.1	Tvorba riečnej siete a čiastkových povodí v ArcHydro	68
8.4.2	Výpočet charakteristík povodí v HEC-GeoHMS	70
8.4.3	Export hydrologického modelu	71
8.5	Priebeh modelovania v programe HEC – HMS	71
8.5.1	Modelovanie priameho odtoku z odpočívadla Dunávice	75
9.	Výstupné údaje z programu HEC - HMS	76
10.	Návrh prvkov pre zadržanie a vsakovanie zrážkovej vody z odpočívadla Dunávice	80
10.1	Predčistiace zariadenia – dažďové usadzovacie nádrže (DUN)	81
10.2	Odvodnenie pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov ..	81
10.2.1	Dimenzovanie retenčnej nádrže	82
10.2.2	Technický návrh retenčnej nádrže	85
10.2.3	Posúdenie účinnosti retenčnej nádrže	85
10.3	Odvodnenie ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov...	86
10.3.1	Dimenzovanie vsakovacej nádrže	87
10.3.2	Technický návrh vsakovacej nádrže	89
10.3.3	Posúdenie účinnosti vsakovacej nádrže	89
11.	Záver	91
12.	Zoznamy	94
12.1	Použitá literatúra a zdroje	94
12.2	Zoznam obrázkov	96
12.3	Zoznam tabuliek	98
12.4	Zoznam príloh.....	99

Absktrakt

Cieľom diplomovej práce spracovanej v stupni štúdie je analyzovať negatívne dopady plánovaného odpočívadla diaľnice D3 u Týnca nad Sázavou na príľahlé územie so zameraním na problematiku nakladania so zvýšeným množstvom zrážkovej vody, ktoré sa po výstavbe budú tvoriť v záujmovom území. Za týmto účelom bude zostavený zrážkovo – odtokový model, ktorý bude simulovať rôzne scenáre tvorby odtoku pre zrážkové udalosti s rôznou dobou opakovania.

Súčasťou štúdie je aj návrh konkrétnych prvkov na retenciu, vsakovanie a odvádzanie zvýšeného množstva zrážkovej vody, ktoré budú dimenzované na veličiny, získané modelovaním povrchové odtoku v programe HEC – HMS pre zvolenú návrhovú zrážku. Následne budú posúdené vplyvy navrhnutých prvkov na príľahlé územie pre rôzne zrážkové udalosti s inou dobou opakovanie ako je zrážka návrhová.

Výsledkom je návrh takých prvkov, ktoré pri prechode návrhovej zrážkovej udalosti zachytenia potrebné množstvo vody a tým budú zachované pôvodné hydrologické podmienky v dotknutých recipientoch vodných tokov.

Kľúčové slová

odpočívadlo Dunávice, zrážková voda, predčistenie, povrchový odtok, návrhová zrážka, ArcGis, model HEC – HMS, metóda SCS – CN, jednotkový hydrogram, retenčná nádrž, vsakovacia nádrž, účinnosť

Abstract

The aim of the diploma thesis processed in the study stage is to analyze the negative impacts of the planned rest area of the D3 motorway near Týnec nad Sázavou on the adjacent area with a focus on the issue of handling the increased amount of rainwater that will be formed in the area of interest after the construction. For this purpose, a rainfall-runoff model will be constructed, which will simulate different runoff generation scenarios for rainfall events with different recurrence times.

The study also includes the design of specific elements for the retention, infiltration and conveyance of the increased amount of rainfall water, which will be sized to the quantities obtained by modelling the surface runoff in the HEC - HMS program for the selected design rainfall event. Subsequently, the impacts of the proposed features on the adjacent area will be assessed for various rainfall events with different recurrence times than the design rainfall.

As a result, the design of the elements will be such that the necessary amount of water will be captured during the passage of the design rainfall event, thereby maintaining the original hydrological conditions in the affected watercourse reaches.

Key words

rest area Dunávice, water from rainfall, pre-cleaning, surface runoff, návrhová zrážka, ArcGis, model HEC – HMS, method SCS – CN, Unit hydrograph (UH), retention reservoir, infiltration reservoir, efficiency

1. Úvod

V súčasnej dobe je celosvetovým problémom globálne otepľovanie a s tým spojená nevyspytateľnosť počasia. Čoraz častejšie sa vyskytujúce privalové dažde spôsobujú bleskové povodne nie len na veľkých vodných tokoch, ktoré sú na to čiastočne pripravené (zabezpečená protipovodňová ochrana intravilánov miest a obcí), ale aj na drobných vodných tokoch, kde ochrana územia na prechod veľkých vôd v prevažnej miere nie je dostatočná (ide o prirodzené korytá vodných tokov s ich nedostatočnou kapacitou pre odvedenie prietokov Q_{100}). Povodne vyskytujúce sa na týchto drobných vodných tokoch majú častokrát fatálne následky pre obyvateľov, spôsobujú škody na štátnom aj súkromnom majetku v priľahlom území.

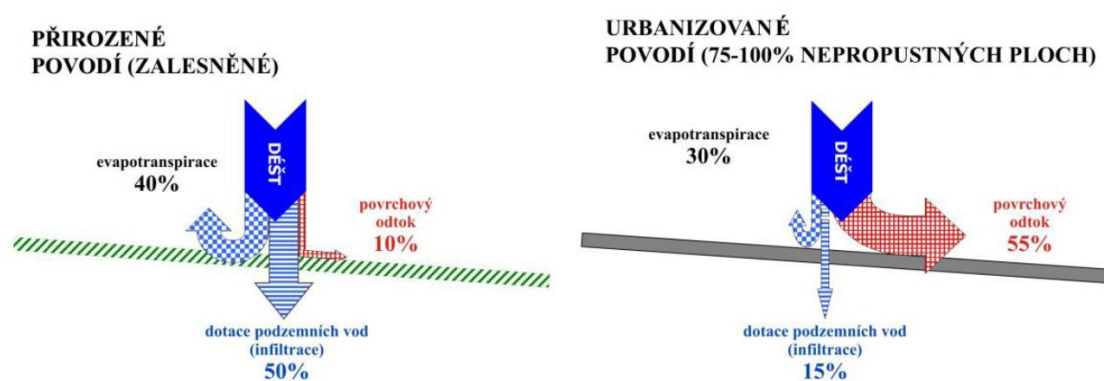
Aby sa predchádzalo vzniku škôd z povodní, je potrebné v rámci plánovaných investičných stavieb súvisiacich s rozsiahlou zástavbou územia, venovať pozornosť aj návrhu vhodných technických opatrení v priľahlom území zameraných na zdržiavanie dažďových vôd, a tým znížiť a spomaliť odtok vody, ktorý sa následne dostane priamo do koryta vodných tokov.

Veľkým problémom je zväčšovanie zastavaných plôch (objekty, spevňovanie plôch nepriepustným povrchom, atď.), ktoré každým rokom pribúdajú na úkor zelene. Predovšetkým sú to novostavby v mestách, obciach a taktiež výstavba nových líniových stavieb - ciest a diaľnic, v rámci ktorých je aktuálnym trendom zabezpečiť dostatočné množstvo plôch na státie. Všetky tieto stavby zasahujú do prirodzenej krajiny, znižujú plochu pôdy a tým zabraňujú prirodzenému vsakovaniu dažďovej vody.

Cieľom tejto diplomovej práce je posúdiť negatívne vplyvy výstavby plánovaného odpočívadla Dunávice v úseku diaľnice D3 u Týnca nad Sázavou. Hlavná časť bude venovaná odvádzaniu dažďovej vody zo zastavanej plochy do vodného toku, pričom na základe simulačného modelovania zrážkovo – odtokového procesu pre návrhových zrážku pre dané územie, budú navrhnuté technické opatrenia na zdržanie vôd v tomto území, čím sa zníži zaťaženie koryta vodného toku v dotknutom úseku toku počas privalových dažďov, ktoré sú hlavnou príčinou vzniku povodní v tejto lokalite.

2. Úvod do problematiky

Postupným zvyšovaním nepriepustných plôch najmä výstavbou sa zväčšuje aj množstvo dažďovej vody, ktoré odteká po povrchu. V urbanizovanom území, kde je vysoký podiel nepriepustných plôch odtečie po povrchu až 55% zrážok a len 15% z nich prirodzene vsiakne do zeme. V území s prirodzeným zemským povrchom vsiakne až 50% vody z dažďa a povrchový odtok tvorí 10% z týchto zrážok. Toto porovnanie poukazuje na to, že pri akomkoľvek zásahu do krajiny výstavbou, je dôležité venovať pozornosť zadržiavaniu vody v krajine a odvádzaniu zrážkových vôd z tohto územia. [1]



Obr. 1 – Porovnanie množstva povrchového odtoku v urbanizovanom a prirodzenom území [7]

2.1 Všeobecné pravidlá

Pri návrhu nových pozemných komunikácií, ako aj pri ich následnej prevádzke, je potrebné odvádzat' povrchovú vodu zo spevnených plôch tak, aby nebola ovplyvnená kvalita podzemných a povrchových vôd. Návrh odvodnenia by mal bezpečne zachytiť a odviešť vodu do vhodného recipientu.

Najnovšie prístupy, ako nakladať s dažďovými vodami zo spevnených plôch, vychádzajú z metodiky Európskej únie, ktorá poukazuje na fakt, že prednostne by mali dažďové vody infiltrovať do podlažia na mieste ich vzniku. Takéto odvádzanie dažďových vôd na území ich vzniku najmä formou vsakovania a retencie rešpektuje všetky princípy prírody blízkeho nakladania s dažďovými vodami.

Aj napriek značným výhodám prirodzeného vsakovania dažďových vôd z pozemných komunikácií, ktoré spočívajú predovšetkým v tom, že nie je potrebné budovať dlhé privádzače k recipientu, ale dažďové vody zostávajú v mieste ich výskytu, sa tento spôsob

odvodnenia využíva zriedkavo. Aj pri porovnaní nárokov na predčistenie dažďových vôd odvádzaných z rizikových plôch priamo do recipientu alebo pri ich vsakovaní v mieste vzniku, sú tieto nároky na predčistenie takmer porovnateľné. Nevýhodou vsakovania je nutnosť vykonania geologického prieskumu a posúdenie územia z hľadiska prípustnosti vsakovania.

2.2 Geologický prieskum a podmienky vsakovania

Podmienkou pre prirodzené vsakovanie dažďových vôd do podłożia je znalosť geologických a hydrogeologických pomerov. Z geologického hľadiska je potrebné poznať vlastnosti horninového prostredia, najmä jeho vsakovacie schopnosti, podľa ktorých sa určuje priestorová náročnosť vsakovacieho zariadenia. Vsakovacia schopnosť horninového prostredia je daná koeficientom vsaku, ktorý určuje potrebnú plochu vsakovacieho zariadenia a úrovňou hladiny podzemnej vody, ktorá limituje možnú hĺbku vsakovacieho zariadenia. [2]

Z hľadiska geologického prieskumu pre vsakovanie sa prírodné pomery delia na [3]:

- a) *jednoduché* – geologická stavba je jednotvárna v horizontálnom aj vertikálnom smere, hladina podzemnej vody sa nachádza 2 m a viac pod úrovňou terénu a nie je napätá
- b) *zložitá* – územie tvoria horniny s rozdielnymi fyzikálne-mechanickými parametrami, hladina podzemnej vody je napätá alebo sa nachádza menej ako 2 m pod úrovňou terénu, územie leží v ochrannom pásme vodných zdrojov alebo v inundačnom území, územie zo zistenými zosuvmi a inými svahovými deformáciami

Hydrogeologickým prieskumom sa overujú vsakovacie pomery lokality. Vyhľadávací prieskum, ktorý je možno použiť pre nenáročné stavby sa vykonáva formou rešerše archívnych údajov hydrogeologických výskumov a predchádzajúcich geologických štúdií. Súčasťou je taktiež rešerš klimatických pomerov, ochranných pásiem, vodárenských zdrojov a hladiny podzemnej vody. Výsledkom je záverečná správa o vsakovacích pomeroch danej lokality.

Podrobný hydrogeologický prieskum popisuje podrobnejšie stanovenie hydrogeologických pomerov pre danú lokalitu s cieľom vylúčiť alebo odporučiť vhodnosť

vsakovania dažďových vôd. Výsledná správa musí obsahovať hodnotenie možnosti vsakovania zrážkových vôd, stanovenie koeficientu vsaku na základe vsakovacej skúšky a posúdenie prípadného vplyvu na režim podzemných vôd.

„Základným nástrojom pre overenie geologickej a hydrogeologickej situácie na posudzovanej lokalite sú geologické vrty (sondy). Sledovanie hladiny podzemnej vody sa uskutočňuje pomocou hladinomeru s ručným alebo automatickým záznamom, v sondách sa môže aj odmernou tyčou. Sleduje sa hĺbka (vzdialenosť od úrovne terénu) a úroveň hladiny podzemnej vody s presnosťou na 0,01 m. Pri uskutočňovaní etapy vyhľadávacieho, alebo podrobného hydrogeologického prieskumu je riešiteľ povinný postupovať v súlade s platnou legislatívou. Za správnosť uskutočnených zmien zodpovedá riešiteľ hydrogeologického prieskumu pre vsakovanie.“ [4]

2.3 Legislatívne požiadavky pre odvádzanie zrážkových vôd

Základné požiadavky na odvádzanie zrážkových vôd formuluje Vodný zákon (§5 odst. 3 zákona č. 254/2001 Sb.) v plnom znení:

„Pri provádění staveb nebo jejich změn nebo změn jejich užívání je stavebník povinen podle charakteru a účelu užívání těchto staveb je zabezpečit zásobováním vodou a odváděním odpadních vod kanalizací k tomu určenou. Není-li kanalizace v místě k dispozici, odpadní vody se zneškodňují přímým čištěním s následným vypouštěním do vod povrchových nebo podzemních. V případě technické neproveditelnosti způsobů podle vět první a druhé lze odpadní vody akumulovat v nepropustné jímce (žumpě) s následným vyvážením akumulovaných vod na zařízení schválené pro jejich zneškodnění. Dále je stavebník povinen zabezpečit omezení odtoku povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (dále jen „srážková voda“) akumulací a následným využitím, popřípadě vsakováním na pozemku, výparem, anebo, není-li žádný z těchto způsobů omezení odtoku srážkových vod možný nebo dostatečný, jejich zadržováním a řízeným odváděním nebo kombinací těchto způsobů. Bez splnění těchto podmínek nesmí být povolena stavba, změna stavby před jejím dokončením, užívání stavby ani vydáno rozhodnutí o dodatečném povolení stavby nebo rozhodnutí o změně v užívání stavby.“ [5]

Z vyššie uvedeného odstavca Vodného zákona vyplýva povinnosť riešiť nakladanie so zrážkovými vodami, stanovené vo vyhláske (č. 501/2006 Sb.) k stavebnému zákonu, presnejšie v § 20 odst. 5 písmeno c), kde sa požaduje prednostne dažďové vody vsakovať ak

to umožňujú hydrogeologické podmienky a vsakováním nie je ohrozené okolie. Ak vsakovanie nie je umožnené, tak je nutné zrážkové vody regulovane odvádzať do povrchových vôd a ak ich nie je možné odvádzať ani týmto spôsobom, odvádzajú sa do jednotnej kanalizácie.

V závislosti na type odvodňovacieho povrchu, a spôsobe odvádzania zrážkových vôd je niekedy potrebné riešiť predčistenie týchto vôd pred ich odvedením do recipientu vodného toku. Pri poukázaní na znečistenie dažďových vôd a pri prípadnej inštalácii predčistiaceho zariadenie, nie je nutné nakladať s týmito vodami ako s vodami odpadnými, pokiaľ vodoprávny úrad nerozhodne inak.

2.4 Klasifikácia odvádzaných zrážkových vôd

Delenie vôd z povrchového odtoku s ohľadom na vsakovanie [3]:

- zrážkové vody prípustné* – možno vsakovať cez nenasýtenú oblasť bez predčistenia
- zrážkové vody podmiennečne prípustné* – pred vsakovaním nutnosť aplikovať vhodný spôsob fyzikálneho predčistenia (podľa druhu znečistenia a typu vsakovacieho zariadenia)
- zrážkové vody neprípustné* – odvádzane vsakovaním je zakázané, výnimočne po potrebnej úprave a so súhlasom vodoprávneho úradu, po predčistení odvádzané jednotnou alebo delenou kanalizáciou na ČOV



Obr. 2 – Rozhodovacia schéma pre odvádzanie zrážkových vôd [3]

Zrážková voda prípustná – nepredstavuje riziko z hľadiska znečistenia pôd a ohrozenia kvality podzemných vôd. Sú to vody zo zatrávených plôch, komunikácií pre peších a cyklistov, vjazdov do individuálnych garáží a príjazdov k rodinným domom.

Zrážková voda podmiennečne prípustná – zrážková voda, ktorej kvalita môže byť zhoršená obsahom špecifického znečistenia. Jedná sa o povrchový odtok z pozemných komunikácií pre motorové vozidlá, parkovísk motorových vozidiel do 3,5 t a autobusov, komunikácií priemyslových a poľnohospodárskych plôch.

Zrážková voda neprípustná – zrážková voda povrchovo zmývaná zo znečistených plôch. Odtok z parkovísk nákladných aut, letísk, šrotovísk alebo areálov manipulujúcimi s ľahkými kvapalinami.

2.5 Znečistenie zrážkových vôd

K prvotnému znečisteniu zrážkových vôd dochádza v atmosfére, kde sa do zrážky dostávajú látky obsiahnuté vo vzduchu, ktoré sú predovšetkým produktom dopravy a priemyslu. K ďalšiemu znečisteniu dochádza pri obmývaní povrchu, na ktorom sa držia látky, ktoré sa nahromadili v období bez dažďa. [6]

2.5.1 Delenie zrážkových vôd z hľadiska znečistenie

Odpadové vody sa podľa pôvodu a spôsobu znečistenia (ČSN 75 6101, čl.5.2.1) delia do niekoľkých základných skupín, pričom jednu z nich tvoria vody zrážkové (dažďové vody vrátane vôd z topenia snehu a ľadu). Presnejšie delenie zrážkových vôd po ich styku s povrchom môže byť [2]:

- a) *znečistené* – odtekajúce zo znečistených povrchov napr. priemyselné a poľnohospodárske areály, parkoviská a odstavné plochy
- b) *neznečistené* – odtekajúce z neznečistených povrchov napr. z peších zón, parkov a záhrad, striech a pozemných komunikácií z nízkou intenzitou prevádzky

Znečistené zrážkové vody by mali byť odvádzané jednotnou kanalizáciou alebo delenou zrážkovou kanalizáciou na čistiareň odpadných vôd. Neznečistené zrážkové vody podľa ČSN 75 6101 nie sú odpadnými vodami a preto je doporučený prirodzený spôsob odvádzania týchto vôd napr. vsakovaním, ak to je v danom prostredí možné a nemá to negatívne dopady na okolie alebo ich odvádzat' samostatným zariadením priamo

do recipientu vodného toku. Prirodzené odvádzanie neznečistených zrážkových vôd znižuje prietok odpadných vôd a tým znižuje záťaž na čistiarenské procesy [2].

Tabuľka 1 – Typické znečisťujúce látky na pozemných komunikáciách a očakávaná miera znečistenia zrážkových vôd [2]

Typ plochy		Hrubé nečistoty, splaveniny	Jemné častice	Ťažké kovy	Uhl'ovodíky	Chloridy
Zatrávnené plochy		1 - 3	1 - 3	0	0	0
Komunikácie pre chodcov a cyklistov		2	1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Pozemné komunikácie	málo frekventované (príjazdy k domom) ^A	2	1	1	1	1
	stredne frekventované ^B	2	2	2	2	2
	vysoko frekventované ^C	2	3	3	3	3
Parkoviská	málo frekventované (osobné auta)	2	1	1	1	1
	vysoko frekventovaná (os. auta a autobusy)	2	2	2	2	2
	nákladné auta ^D	3	3	3	3	2
0	neznečistená zrážková voda					
1	mierne znečistená zrážková voda					
2	stredne znečistená zrážková voda					
3	vysoko znečistená zrážková voda					
A	< 300 automobilov za 24 h, napr. príjazdy k domom a miestne komunikácie v obytnej zástavbe					
B	B 300 automobilov až 15 000 automobilov za 24 h					
C	C nad 15 000 automobilov za 24 h, obvykle diaľnice a rýchlostné cesty					
D	parkoviská, ktoré nie sú súčasťou verejných komunikácií					

2.5.2 Spôsohy predčistenia zrážkových vôd

Vzhľadom na znenie súčasnej legislatívy, ktorá uprednostňuje vsakovanie zrážkovej vody, je dôležité venovať zvýšenú pozornosť jej úprave. Zariadenie na predčistenie zrážkovej vody sa odporúča navrhovať v závislosti na prietoku a akosti vody v recipiente vodného toku a vzhľadom na mieste podmienky. [2]

- **zachytenie hrubých nečistôt** – zachytávanie hrubých splavenín z pozemných komunikácií najčastejšie mrežami, kalovými košmi a lapačmi splavenín
- **odbúravanie prírodnými procesmi** – pre pozemné komunikácie možno použiť vsakovanie cez vegetačnú vrstvu (napr. drenážna ryha vyplnená kamenitým materiálom a drenážou pre odvedenie vody v dne, ktorá je doplnená vodotesnou izoláciou s priamym naviazaním na pláň pozemnej komunikácie proti miestnemu vsaku aj priesaku do okolia)
- **gravitačná separácia látok** – sedimentácia, je jedným z hlavných spôsobov oddeľovania pevných látok pri predčistení zrážkových vôd (napr. odlučovače ropných látok)
- **filtrácia** – pre zachytenie jemných a hrubých častíc sa najčastejšie používa mechanická filtrácia cez pieskové a štrkopieskové filtre alebo geotextílie (pred týmto spôsobom predčistenia je potrebné osadenie zariadenia na zachytenie plávajúcich a usaditeľných látok)
- **adsorpčná filtrácia** – proces, pri ktorom sa hromadí odlučovaná látka na povrchu pevnej látky účinkom medzipovrchových príťažlivých síl (použitie nutné zvážiť vzhľadom na náročnú a nákladnú údržbu týchto zariadení)
- **koalescencia** – zhlukovanie disperzných častíc do väčších celkov, čím je umožnené ich rýchlejšie odlúčenie (častejšie používanie pre nižšiu náročnosť na údržbu ako adsorpčné filtre)

Tabuľka 2 – Spôsoby predčistenia zrážkových vôd pri vsakovaní a účinnosť pre rôzne druhy znečistenia [4]

Spôsob znečistenia	Zariadenie	Hrubé nečistoty, splaveniny	Jemné častice	Ťažké kovy a ich nerozpustné zlúčeniny	Uhl'ovodíky (minerálne oleje, ropné látky)	Organické látky (nepatria k jemným alebo hrubým časticiam)	Živiny
Zachytenie hrubých nečistôt	Vtokové mriežky	++	--	--	--	--	--
	Lapače	++	--	--	--	--	--
	Česle	++	--	--	--	--	--
	Sitá	+0	--	--	--	--	--
Vsakovanie cez filtračnú vrstvu	Vsakovacia nádrž	++	++	++	++	++	++
	Vsakovacia ryha						
Sedimentácia	Kalová nádrž	++	++	++	++	--	--
	Usadzovacia nádrž						
Mechanická filtrácia	Odlučovače ľahkých kvapalín	++	++	+	++	--	--
	Pieskové a štrkové filtre	++	++	+	--	--	+
Adsorpčná filtrácia	Geotextília	++	++	+	--	--	--
	Aktívne uhlie, koks	0	0	++	++	++	--
	Zeolity	0	0	++	++	+	--
	Hydroxidy železa a hliníku	0	0	++	--	--	--
	Adsorbenty olejov	--	--	--	++	--	--
++	vhodné						
+	podmienečne vhodné						
0	spojené s ďalšími opatreniami						
-	skôr nevhodné						
--	nevhodné						

2.6 Nakladanie s vodami z parkovísk a odpočívadiel

Pri odvádzaní zrážkových vôd z komunikácií za bežnej prevádzky a údržby sa uvažuje s priemerným znečistením vôd. Pri návrhu avšak musí byť zohľadnené riziko havarijného znečistenia pri nehode, ktoré bez potrebného zabezpečenia môže mať väčší dosah ako bežné znečistenie s menšou koncentráciou znečisťujúcich látok. Ešte väčší dôraz je potrebné klásť na havarijné zabezpečenie parkovísk a odpočívadiel, kde je mnohonásobný výskyt užívateľov ako pri bežnej prevádzke na pozemnej komunikácii.

Pri voľbe vhodného spôsobu odvodu je preto potrebné mať znalosti o miere znečistenie dažďových vôd a miere rizika havarijného úniku nebezpečných látok. Tieto znalosti o dažďových vodách sú iba nepriame a sú definované prostredníctvom vôd z povrchového odtoku a to umožňuje ich vypúšťanie do podzemných vôd.

Pre plochy, ktoré sú výraznejšie znečistené, napr. parkoviská a odpočívadlá, nie je vhodné odvádzané dažďové vody vsakovať. Výnimku môže udeliť vodoprávny úrad na základe vhodného stupňa predčistenia dažďových vôd. Častejšie sa však odporúča takéto vody po vhodnom predčistení odvádzať do povrchových vôd.

2.6.1 Vplyv chemických látok zimnej údržby

Za určitých podmienok možno odvádzanú vodu z pozemných komunikácií považovať za odpadovú (znečistenú) a to najmä v zimnom období. Pri udržiavaní komunikácií v zimnom období sa používajú chemické rozmrazovacie látky. Jedná sa o znečisťujúce látky na báze chemických solí, ktoré sa vedome aplikujú na komunikáciu a povrchovým odtokom sa časť z nich odvádza priamo do recipientu vodného toku. Pri odvádzaní takto zaťažených vôd je nutné rešpektovať limity koncentrácie chloridov stanovené nariadením vlády č. 61/2003 Sb. zákonov v aktuálnom znení. [4]

Prvotne sa predpokladá, že všetky chemické rozmrazovacie látky aplikované na vozovku sa rozpustia vo vode, ktorá vozovku oplachuje a následne odteká do recipientu vodného toku. Po sledovaní koncentrácií týchto látok v odtokovej vode sa ukazuje, že iba určitá časť týchto látok sa dostane priamo do vodných tokov. Určité množstvo sa dostane do pôdy, rozpráši vo vzduchu v kryštalických formách alebo je zachytená vegetáciou. Pri určovaní vhodného spôsobu odvodu sa však počíta iba s celkovým množstvom odvádzaných vôd, ale je pri tom potrebné bilancovať množstvo chemických rozmrazovacích látok a to formulovať pre

konkrétne miestne podmienky. Uvažuje sa s celoročnou bilanciou a aj s bilanciou v zimnom období (mesiace november – marec), kedy je používanie týchto látok dominantné. Predpokladá sa, že v Českej republike za toto zimné obdobie odtečie 35% vôd z celkového ročného množstva [2].

3. Stavby pre vsakovanie, zadržiavanie a odvádzanie dažďových vôd

3.1 Vsakovanie dažďovej vody

„Základným princípom funkcie všetkých druhov vsakovacích systémov je čo najrýchlejšie odvedenie dažďovej vody pod zemský povrch a tam ju s časovým oneskorením buď nechať vsiaknuť späť do okolitej zeminy, alebo previesť regulovaný odtok dažďovej vody zo systému vsakovania do dažďovej kanalizácie, prípadne do retenčnej nádrže.“ [4]

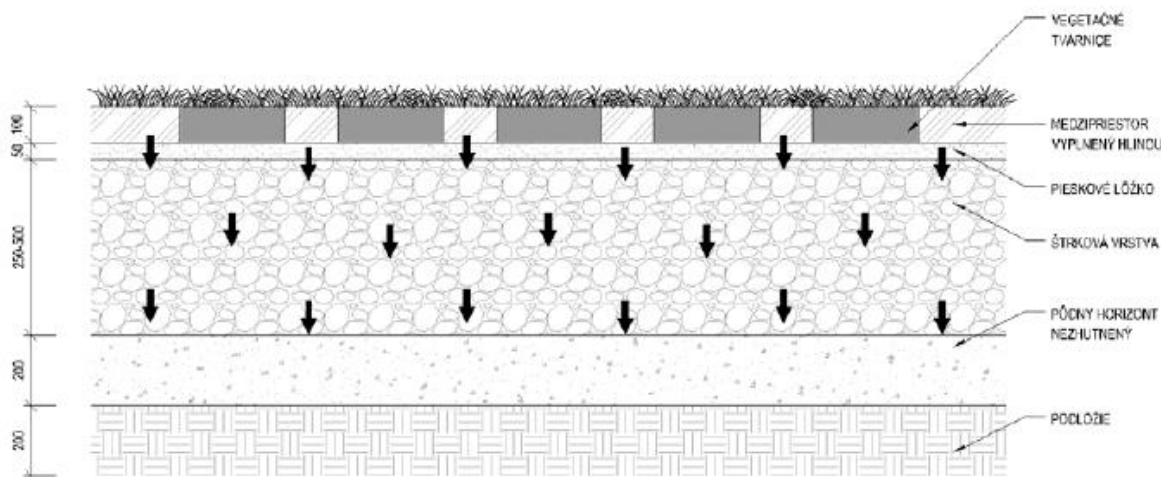
Pri návrhu a samotnej realizácii vsakovacích zariadení je potrebné rešpektovať geomorfologické a klimatické charakteristiky danej lokality a z technického hľadiska návrhu je nutné rešpektovať priestorové možnosti umiestnenia vsakovacieho zariadenia. Taktiež je potrebné voliť vhodné infiltračné materiály tak, aby boli zabezpečené požadované hydraulické vlastnosti, voliť vhodný vegetačný porast tak, aby podporoval infiltračnú schopnosť daného zariadenia za predpokladu určitého znečistenia. Najdôležitejším kritériom na určenie vhodného spôsobu vsakovania sú kvalitatívne ukazovatele zrážkových vôd odvádzaných z pozemných komunikácií, na základe ktorých sa rozhoduje o predčistení dažďovej vody pred samotným vsakovaním. [4]

Vsakovacie zariadenia musia spĺňať nasledujúce kritéria:

- vytvorenie takých podmienok, aby bolo možné vsiaknutie zrážkovej vody do pôdneho a horninového prostredia;
- schopnosť akumulovať zrážkové vody ak je množstvo vsakujúcej vody menšie ako pritekajúcej;
- predčistenie vody v prípade nutnosti.

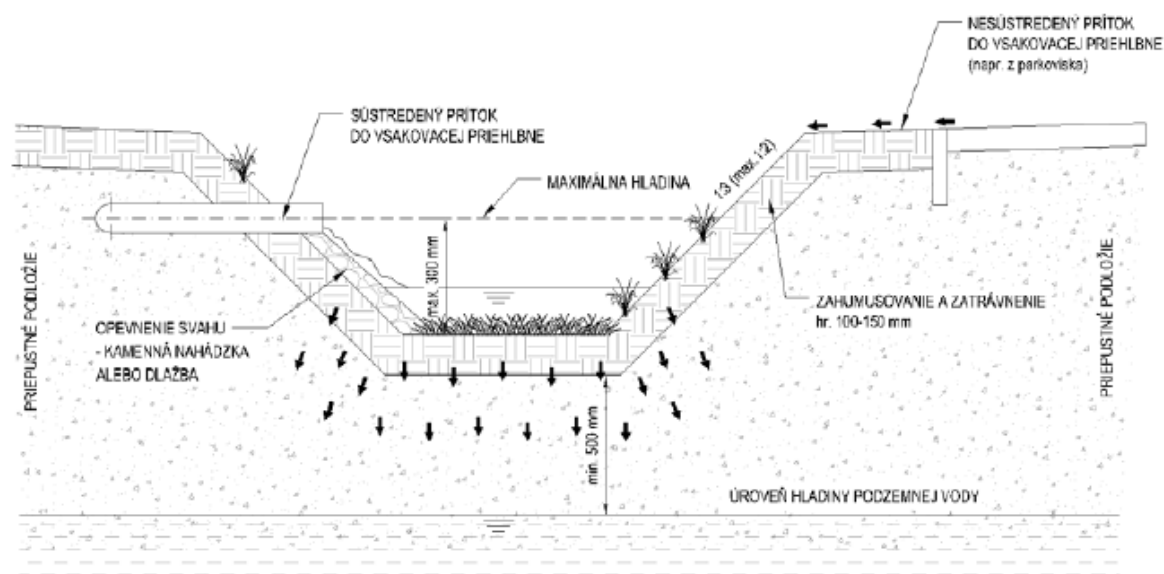
3.1.1 Povrchové vsakovacie zariadenia

Objekty plošného vsakovania – navrhujú sa pri odvodnení z veľkých plôch, kde sa nepredpokladá krátkodobá retencia zrážkových vôd. Navrhujú sa so zatrávnenou plochou, pri parkoviskách s vegetačnými tvárniciami.



Obr. 3 – Príklad riešenia plošného vsakovacieho zariadenia [4]

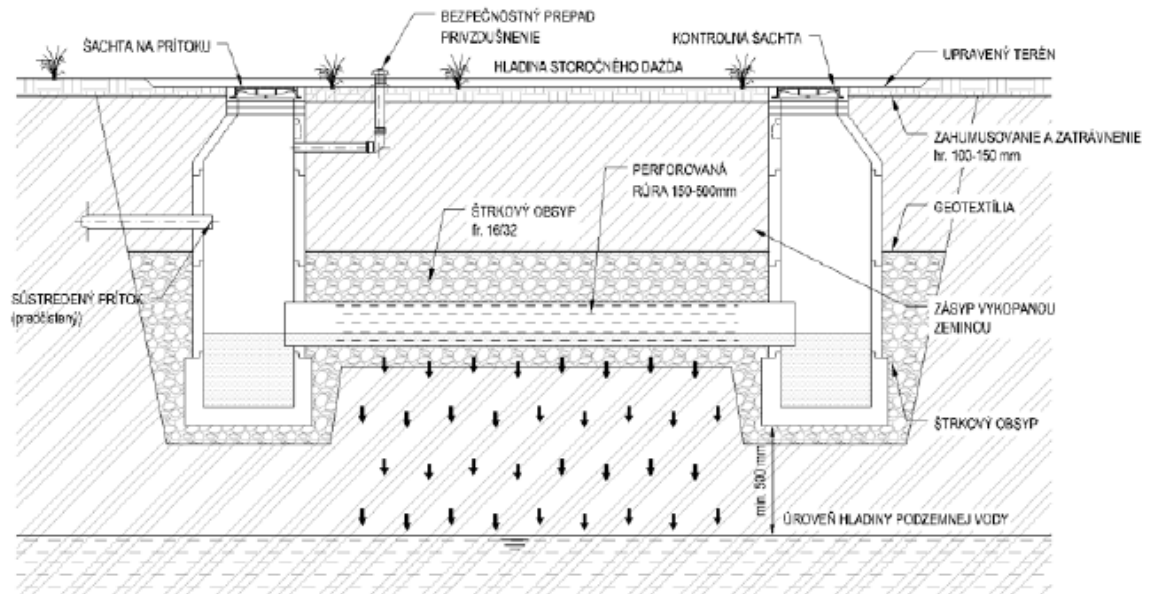
Vsakovacie priehlbne – umelo vytvorené plytké zníženie v teréne so zatrávením povrchu, určené na vsakovanie s krátkodobou retenciou dažďových vôd. Tieto zariadenia sa navrhujú pri priestorových obmedzeniach, kde nie sú na pozemku dostatočne veľké plochy na plošné vsakovanie.



Obr. 4 – Príklad riešenia vsakovacej priehlbne [4]

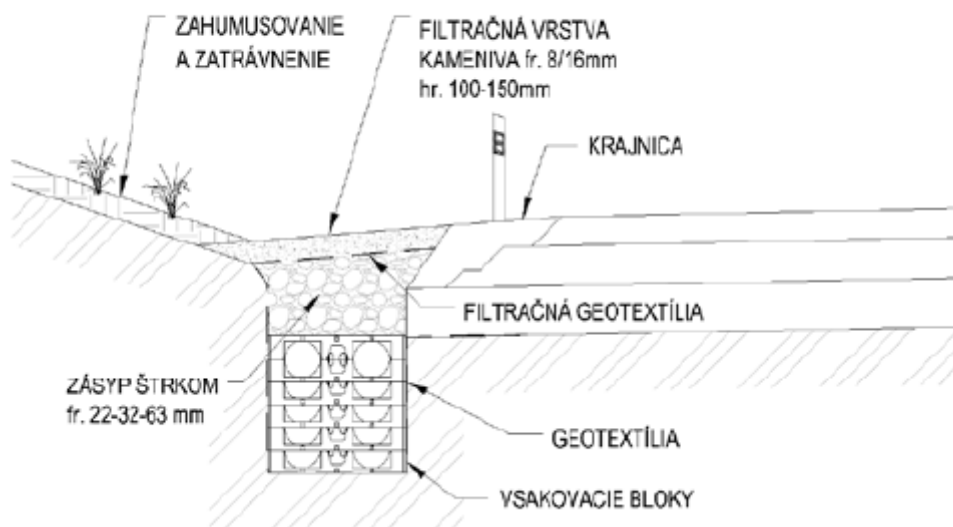
3.1.2 Podzemné vsakovacie zariadenia

Vsakovacie ryhy – líniové podzemné vsakovacie zariadenia s retenčnou schopnosťou. Zariadenia sú vyplnené buď štrkom a perforovanou drenážou alebo plastovými blokmi. Prítok do vsakovacej ryhy môže byť riešený plošne cez zatrávený pás alebo revíznou šachtou, pričom zariadenie musí obsahovať aj revízne šachty pre prípadné kontroly.



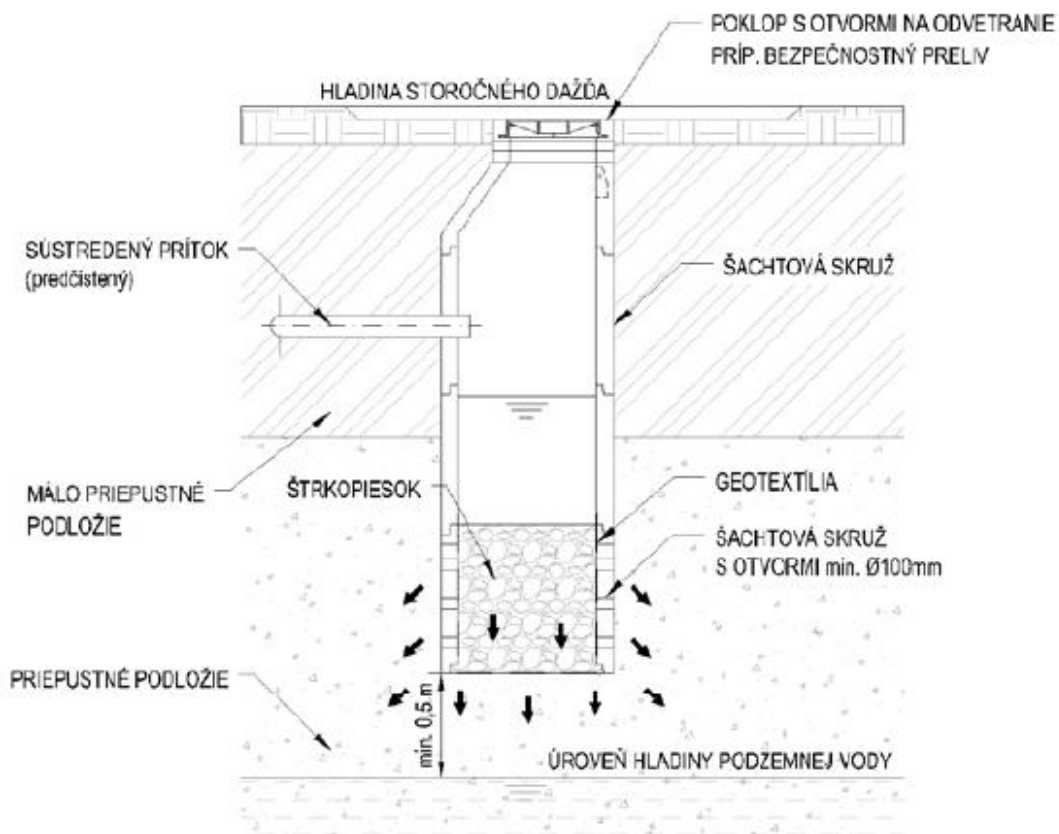
Obr. 5 – Príklad riešenia vsakovacej ryhy vyplnenej štrkom s drenážou [4]

Vsakovacie priekopy – kombinácia cestnej priekopy a vsakovacej ryhy. Odvádzajú vodu z komunikácií a voda, ktorá nevsiakne je odvedená do recipientu, pričom sa na vsakovanie využíva aj retenčná schopnosť samotnej priekopy.



Obr. 6 – Príklad riešenia vsakovacej priekopy s plastovými blokmi [4]

Vsakovacie šachty – podzemné decentralizované vsakovacie zariadenia, ktoré sú určené pre bodové vsakovanie. Pred vtokom dažďových vôd je nutné zaradiť prvok na ich predčistenie, aby nedochádzalo k zahlteniu splaveninami.



Obr. 7 – Príklad riešenia vsakovacej šachty [4]

3.2 Zadržovanie dažďovej vody

Stavby pre zadržiavanie zrážkovej vody majú za úlohu zadržať povrchovú vodu a regulovane ju vypúšťať do recipientu tak, aby sa predišlo jeho hydraulickému preťaženiu. Najčastejšie sú tieto stavby retenčné nádrže, mokrade, suché nádrže - poldre alebo taktiež zväčšené profily priekop. Pri návrhu týchto zariadení je potrebné ich vhodne tvarovať a začleniť do okolitej krajiny. [2]

Vzhľadom k prirodzenému charakteru týchto nádrži je vhodnejšie voliť otvorené zemné nádrže s trvalou hladinou vody. V prípade, že podložie nie je dostatočne nepriepustné alebo sa predpokladá zvýšené havarijné zaťaženie, je nutné zabezpečiť nádrž tesnením. Pri potrebe predčistenia povrchových vôd z pozemných komunikácií je možné použiť kombináciu retenčnej nádrže a sedimentačnej nádrže. Zaradenie sedimentačnej nádrže pred retenčnú nádrž je vhodné predovšetkým pre jednoduchšie čistenie menšieho priradeného sedimentačného priestoru ako veľkého retenčného priestoru a častokrát to znamená aj menší záber celkovej stavby.

Dôležitú pozornosť pri návrhu retenčnej nádrže je potrebné venovať aj polohe hladiny podzemnej vody. Ak sa predpokladá, že hladina podzemnej vody trvale siaha nad úroveň dna nádrže, je potrebné dno zabezpečiť tak, aby nedošlo k poškodeniu tesnenia dna od vztlaku podzemnej vody respektíve, aby nebola znížená retenčná kapacita nádrže priesakom podzemnej vody. Výrazný vplyv hladiny podzemnej vody je možné predpokladať v prípade priepustného podložia tvoreného prevažne štrkopieskovými sedimentami.

Prehľad objektov, ktoré by mali obsahovať zariadenia na zadržiavanie dažďovej vody:

- retenčný priestor pre akumuláciu zadržanej vody (ovládateľný a neovládateľný);
- regulačné zariadenie pre reguláciu prietoku odvádzanej vody;
- bezpečnostný preliv;
- spodný výpusť pre vypúšťanie nádrže pre účely údržby,
- sedimentačná nádrž pre potreby predčistenia povrchovej vody z pozemných komunikácií.

3.2.1 Retenčné vsakovacie dažďové nádrže

Retenčné vsakovacie nádrže slúžia najmä na odvodnenie väčších redukovaných plôch. Tento typ zariadenia pre vsakovanie a zadržiavanie zrážkových vôd sa navrhuje vždy ako otvorená nádrž. Slúži na zachytenie celého privedeného objemu dažďových vôd z povrchového odtoku cestných komunikácií. Prívádzané zrážkové vody je nutné pred vypustením do nádrže predčistiť. [5]

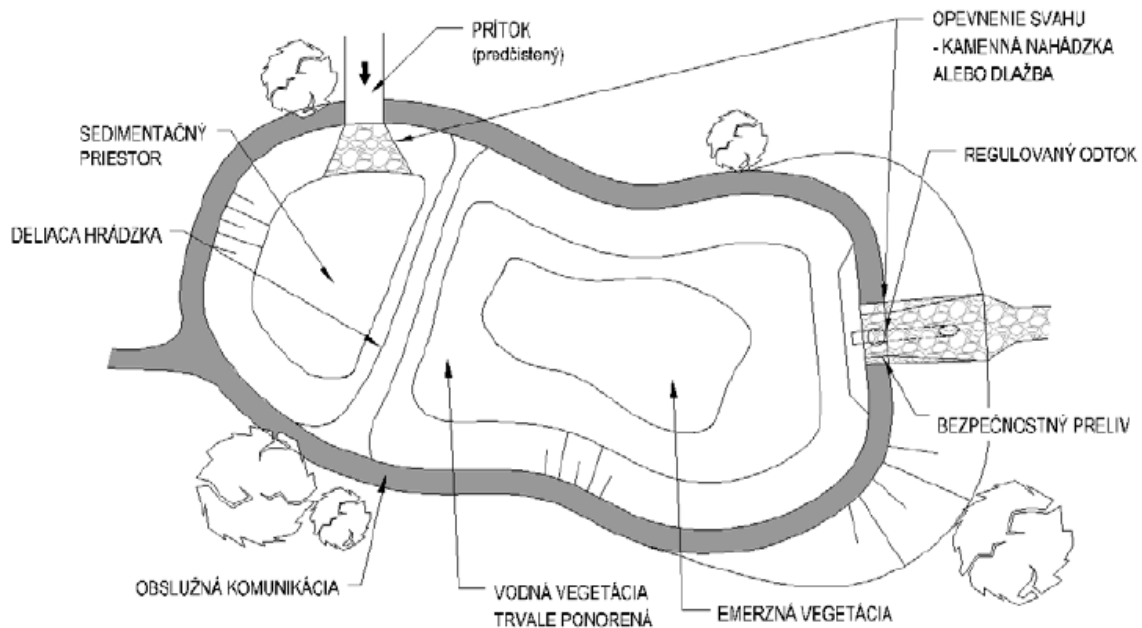
„Privedený objem dažďových vôd vsakuje do dna a svahov nádrže. Sklony svahov sa navrhujú menšie ako 1:2 tam, kde sú vhodné priestorové podmienky. Na retenčných dažďových nádržiach musí byť navrhnutý bezpečnostný preliv. Odporúča sa navrhnuť opevnenie v okolí miesta sústredeného prítoku do nádrže.“ [4]



Obr. 8 – Možné riešenie retenčnej vsakovacej nádrže [5]

3.2.2 Umelé mokrade

Umelé mokrade sú plytké nádrže s trvalým objemom vody a s vodnými rastlinami plniacich funkciu biologického čistenia dažďových vôd. Tieto nádrže predstavujú kombináciu retenčno-vsakovacej a detenčnej funkcie, keď dažďový prítok, ktorý začína vyplňať priestor nad trvalou hladinou čiastočne vyplňa detenčný priestor a čiastočne vsakuje do bočných svahov nádrže. „Pre obmedzenie vnesenia nerozpustených látok a sedimentov do celej nádrže sa odporúča na vtoku do nádrže vytvoriť konštrukčne oddelený usadzovací priestor. Hĺbka trvalej hladiny vody by mala byť maximálne 1,5 m, hĺbka maximálnej dočasnej hladiny má byť maximálne 3,0 m.“ [4] Ako aj v prípade retenčnej vsakovacej nádrže, tak aj pre umelé mokrade musí byť navrhnutý bezpečnostný preliv pre prípad, že prítok do nádrže bude väčší ako je objem nádrže.



Obr. 9 – Pôdorys možnej umelej mokrade [4]

3.3 Návrhové parametre vsakovacích a retenčných zariadení

Návrhové parametre pre dimenzovanie retenčných a vsakovacích zariadení vychádzajú z normy ČSN 75 9010 *Vsakovací zařízení srážkových vod* [8] a s pravidla sa navrhujú na návrhovú zrážku s dobou opakovania $N = 5$ rokov ($p = 0,2 \text{ rok}^{-1}$). U retenčných vsakovacích zariadení s regulovaným odtokom je prípustný odtok stanovený správcom kanalizácie alebo správcom vodného toku. Základnými návrhovými parametrami pre retenčné zariadenia je okrem návrhových zrážok a prípadného prípustného odtoku aj redukovaná odvodňovaná plocha S_{red} , doba vyprázdňovania retenčného priestoru a v prípade vsakovacích zariadení aj hodnota vsakovaného odtoku. [9]

Jednoduché metódy návrhu spočívajú v hydrologickej bilancii prítoku a odtoku do priestoru zariadenia. Táto bilancia sa prevedie pre rôzne doby trvania zrážky t s periodicitou p a pre návrh retenčného objemu je rozhodujúca taká zrážka o dĺžke trvania t a periodicitou p , ktorá spôsobí najväčší rozdiel medzi objemom prítoku a odtoku. Pre dimenzovanie vsakovacích a retenčných zariadení sa využívajú aj simulačné modely, ktoré zohľadňujú tvorbu odtoku v povodí.

Redukovaná odvodňovaná plocha sa najčastejšie stanovuje racionálnou metódou výpočtu pomocou vzorca [4]:

$$S_{red} = \sum_{i=1}^n S_i * \Psi_i \quad (3.1)$$

S_i – odvodňovaná plocha podľa druhu (m^2)

Ψ_i – súčiniteľ odotoku pre príslušnú odvodňovanú plochu (-)

n – celková počet odvodňovaných plôch

Vsakovacia plocha S_v sa pre podzemný priestor stanoví podľa vzťahu [4]:

$$S_v = L * b' = L * \left(\frac{h_{vz}}{2} + 2\right) \quad (3.2)$$

S_v – vsakovacia plocha (m^2)

L – dĺžka podzemného priestoru (mm)

b – šírka podzemného priestoru (m)

b' – šírka vsakovacej plochy podzemného priestoru (m)

h_{vz} – výška priepustných stien (m)

Vsakovaný odtok predstavuje množstvo zrážkovej vody za jednotku času Q_v (m^3/s), ktoré sa stanoví podľa vťahu [4]:

$$Q_v = \frac{1}{f} * k_v * S_v \quad (3.3)$$

f – súčiniteľ bezpečnosti vsakovania (odporúčaná hodnota $f \geq 2$)

k_v – koeficient vsaku (m/s)

S_v – vsakovacia plocha (m^2)

Vsakovacie zariadenie musí mať určitý retenčný objem v prípade, že prítok zrážkových vôd do nádrže je väčší ako vsakovaný odtok. Retenčný objem sa stanoví V_{vz} (m^3) sa stanoví podľa nasledujúceho vzťahu [4]:

$$V_{vz} = \frac{h_z}{1000} * (S_{red} + S_v) - \frac{1}{f} * k_v * S_v * t_c * 60 \quad (3.4)$$

h_z – návrhový úhrn zrážok s dobou trvania t_c a periodicitou p (mm)

S_{red} – redukovaná odvodňovaná plocha (m^2)

f – súčiniteľ bezpečnosti vsakovania (odporúčaná hodnota $f \geq 2$)

k_v – koeficient vsaku (m/s)

S_v – vsakovacia plocha (m^2)

S_{vz} – plocha hladiny vsakovacieho zariadenia (m^2)

t_c – doba trvania zrážky podľa periodicity p (min)

Doba prázdnenia T_{pr} vsakovacieho zariadenia sa stanoví podľa vt'ahu [4]:

$$T_{pr} = \frac{V_{vz}}{Q_v} \quad (3.5)$$

V_{vz} – návrhový objem vsakovacieho zariadenia (m^3)

Q_v – vsakovaný odtok (m^3/s)

Odporúčaná doba prázdnenia vsakovacieho zariadenia je 48 h (maximálne 72 h).

3.4 Zariadenia na odvádzanie dažďovej vody

Najjednoduchší spôsob odvádzania povrchovej vody do recipientu vodného toku je jej prirodzený odtok bez predchádzajúceho zadržiavania. V tomto prípade si voda hľadá cestu najmenšieho odporu, odteká po povrchu pričom časť sa vsakuje do zemského povrchu. V prípade, že vsakovanie nie je dostatočné, je potrebné zabezpečiť dostatočnú retenciu povrchového odtoku, aby bol ochránený recipient. Pri samotnom návrhu a dimenzovaní odvodňovacích zariadení sa musí brať do úvahy aj kapacita recipientov tak, aby nedošlo k preťaženiu samotného zariadenia a aj recipientu. Pokiaľ možno vylúčiť prítok z plôch mimo pozemných komunikácií a v neposlednom rade vhodné začlenenie zariadenia do krajiny. [2]

Pri voľbe vhodného typu odvodnenia územia sú dôležité tieto kritéria:

- znečistenie dažďových vôd (dopravné zaťaženie komunikácie, používanie rozmrazovacích prostriedkov, havarijné stavy;
- množstvo odvádzaných vôd do jednotnej kanalizácie resp. vodného toku v pomere k základnému prietoku v recipiente;
- charakter povodia;
- kvalita biotopu;
- ochranné pásma vodárenských zdrojov a zariadení;
- geologické a hydrogeologické pomery územia.

3.4.1 Otvorené odvodňovacie zariadenia

Rigoly – slúžia na zhromažďovanie povrchovej vody, ktorá priteká z plôch pozemných komunikácií. Opevnenie musí byť prispôsobené množstvu a agresivite odvádzanej vody.

Priekopy – plnia podobnú úlohu ako rigoly, ale sú kapacitnejšie. Oddelujú komunikáciu od príľahlého terénu a často zachytávajú povrchovú vodu z príľahlého povodia, na čo je potrebné myslieť pri návrhu kapacity odvodňovacej priekopy. Opevnenie priekop musí vždy zodpovedať množstvu a agresivite prevádzanej vody. *„Priekopy je možné opevňovať tvárniciami, nahádzkou z lomového kameňa alebo vegetačným osiatím. O type opevnenia rozhoduje pozdĺžny sklon dna (viď ČSN 73 6101) a ďalej podmienka, že priekopa musí odolávať do prietoku aspoň dvadsaťročnej vody bez poškodenia. O type opevnenia rozhoduje aj hladisko zaistenia nepriepustnosti priekopy v ochranných pásmach vodárenských zariadení. Tesnenie priekopy zachytávajúcej a odvádzajúcej vodu z pozemnej komunikácie a parkovísk je nutné zabezpečiť, zvlášť pri priekope prechádzajúcej ochranným pásmom vodárenského zdroja.“* [2]

„Sklzy – svojim opevnením zodpovedajú priekope. Opevnenie musí spoľahlivo odolávať pôsobeniu tečúcej vody. Pri návrhu sklzov je nutné dodržať podmienku odolnosti opevnenia minimálne na dvadsaťročnú vodu. Vhodné sú balvanité sklzy a sklzy s opevnením z prefabrikovaných dielcov navzájom zviazaných. Pri návrhu sklzov a rigolov z prefa dielcov je nutné preferovať tie, ktoré majú jednotlivé diely pružne spojené. Pri sklzoch je nutné vykonať zabezpečenie proti pozdĺžnemu posunu (napr. prahy) a na koncovej časti navrhnuť vhodný tlmiaci objekt (vývar), pokiaľ to nadväzujúci recipient vyžaduje. Vývar nie je nutný pri balvanitých sklzoch.“ [2]

3.4.2 Kryté odvodňovacie zariadenia

Drenáž – zariadenie na zachytávanie a odvádzanie podpovrchovej a podzemnej vody do vhodného recipientu. Umožňujú voľný prechod vody v horizontálnom aj vertikálnom smere. Drenáž je prevažne tvorená perforovaným potrubím, ale často sa využíva aj štrková vrstva alebo konštrukcia zo špeciálnej geotextílie. [2]

Základné funkcie drénov:

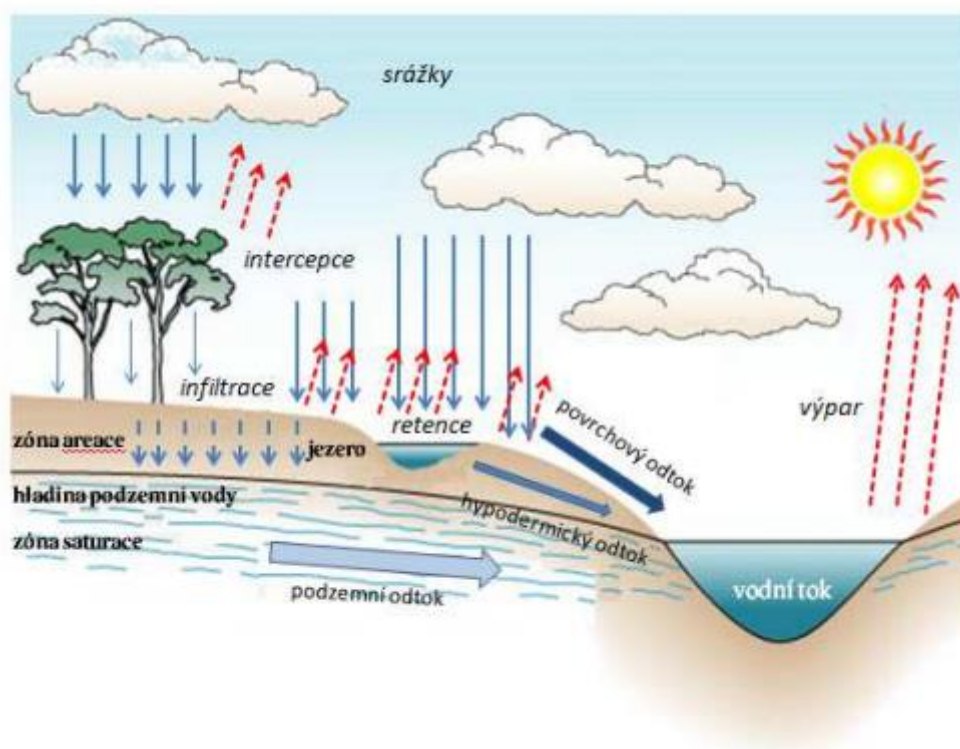
- trvale znižovanie hladiny podzemnej vody;
- zachytenie a odvedenie presakujúcej vody z konštrukčných častí vozovky;

- u vodohospodárskych objektov zabrániť vztlaku pod nepriepustnými vrstvami (tesnenie nádrží);
- sanačné drény umožňujú prestup vody medzi jednotlivými geologickými a konštrukčnými vrstvami.

Odvodňovacie potrubie – alebo aj zrážková kanalizácia, je podzemné potrubné vedenie, ktoré slúži k odvádzaniu dažďových vôd do vhodného recipientu. Pri navrhovaní zrážkových kanalizácií platia požiadavky a podmienky pre navrhovanie, posudzovanie a realizovanie gravitačných stokových sietí, ktoré sú podrobne uvedené v ČSN 75 6101. Sklon a profil stok sa navrhuje tak, aby nedochádzalo k zanášaniu stoky a mala by byť dodržaná kapacitná rýchlosť odtoku dažďových vôd maximálne 5 m/s. Pri vyšších rýchlostiach by mohlo dochádzať k opotrebovaniu materiálu stien stoky a tým zníženiu jej životnosti. [2]

4. Zrážkovo – odtokový proces

Atmosférická zrážka vznikajúca v povodí je základným vstupným údajom pre zrážkovo – odtokový proces prebiehajúci v danom povodí. Zjednodušene možno tento proces popísať takto: časť zrážky, ktorá dopadne na zemský povrch sa vsiakne do pôdy, odkiaľ sa pomocou podzemného odtoku dostáva do vodného toku, alebo sa stane súčasťou organickej hmoty rastlín a živočíchov, z ktorých sa následne uvoľňuje transpiráciou (dýchaním). Zrážky dopadajúce na nepriepustné plochy sa hromadia na povrchu (retencia) a následne môže dochádzať k výparu alebo rovno odtekajú po povrchu v smere spádu priamo do recipientu vodného toku. Časť zrážok nedopadne na zemský povrch a zachytí sa na vegetácii alebo iných predmetoch (intercepcia). [10]



Obr. 10 – Zrážkovo – odtokový proces v povodí [10]

4.1 Zložky zrážkovo – odtokového procesu

4.1.1 Intercepcia

Intercepcia je proces, pri ktorom časť zrážok zachytáva vegetácia (listy rastlín, koruny stromov) alebo iné predmety, z ktorých sa táto voda časom vyparuje do atmosféry alebo postupne steká na povrch. Najväčšiu intercepčnú schopnosť majú ihličnaté stromy, ktoré

dokážu zadržať až polovicu z celkového množstva zrážok. [10]

4.1.2 Povrchová retencia

Zrážky dopadajúce na zemský povrch vyplňajú terénne depresie alebo sú zachytávané hladinou vodných plôch, čím je zadržovaná voda v povodí. Z terénnych depresií voda postupne odteká do recipientu vodného toku alebo infiltruje do podzemia.

4.1.3 Evapotranspirácia

Evapotranspirácia alebo výpar je proces, kde sa voda mení na vodnú paru za dodania energie z atmosféry alebo zo slnečného žiarenia, z čoho vyplýva, že veľkosť výparu je ovplyvnené množstvom prístupnej energie. Výpar je definovaný ako výška vrstvy vody vyparenej za určitý časový interval z určitej plochy a vyjadruje sa v mm.

Rozlišujú sa dva základné druhy výparu a to fyzikálny výpar (evaporácia) a fyziologický výpar, ktorý prebieha rastlinami ako výdaj vody povrchom listov pri fotosyntéze a dýchaní (transpirácia). Spolu sa tento proces nazýva evapotranspirácia, čo je celkový výpar z určitého územia. V podstate to možno rozdeliť na aktuálny výpar z povodia, ktorý zohľadňuje aktuálne podmienky stavu vody a prísun energie a potenciálny výpar, ktorý predstavuje maximálny možný výpar, ktorý možno dosiahnuť pri ideálnych klimatických podmienkach. Aktuálny výpar v suchom období je podstatne nižší ako potenciálny výpar a k vyrovnaniu dochádza iba pri prechode zrážkovej udalosti. [10]

4.1.4 Infiltrácia

Infiltrácia je jedným zo základných procesov, ktoré ovplyvňujú tvorbu povrchového odtoku. To, či pôda bude infiltrovať efektívnu zrážku, závisí na vlastnostiach pôdy v tom danom momente a to najmä na počiatočnom nasýtení pôdy a infiltračnej rýchlosti. Ak je prekročená jedná z týchto charakteristík dochádza k povrchovému odtoku.

Vznik priameho odtoku v povodí ovplyvňujú prírodné ale aj antropogénne podmienky, predovšetkým priebeh zrážkovej udalosti, vegetačný pokryv a vlastnosti pôd. K priamemu odtoku dochádza v momente, keď je pôda nasýtená po predchádzajúcich zrážkach alebo po privalom daždi, kedy voda nestíha dostatočne rýchlo vsakovať do pôdy. Voda, ktorá nevsiakne do pôdy alebo neakumuluje v terénnych depresiách vytvára povrchový odtok. [10]

4.2 Základné typy odtoku

Pre lepšie pochopenie modelovania povrchového odtoku je potrebné si zadefinovať, čo vlastne odtok je, ako vzniká a z akých čiastkových odtokov sa skladá. Celkový odtok z povodia možno definovať ako objem vody, ktorý odtečie z povodia za jednotku času.

Čiastkové odtoky, ktoré tvoria celkový odtok:

- a) **povrchový odtok** – „časť celkového odtoku, ktorá steká priamo po povrchu terénu. Môže byť sústredený (tzn. v rámci hydrografickej siete vodných tokov) alebo nesústredený (tzv. plošný splach).“ [10]
- b) **podpovrchový odtok** – „tzv. hypodermický odtok – voda, ktorá sa infiltruje do podložia a odteká v rámci pôdneho profilu tesne pod povrchom terénu a nie je v kontakte s podzemnou vodou.“ [10]
- c) **podzemný odtok** – je tvorený vodou, ktorá sa infiltrovala a odteká podzemím. Oproti povrchovému a podpovrchovému odtoku je značne spomalený. [10]

Povrchový a podpovrchový odtok, ktorý nastáva už počas zrážky alebo bezprostredne po jej skončení, tvorí tzv. priamy odtok. Priamy odtok je hlavným zdrojom zvýšeného množstva vody v recipientoch vodných tokov a je predmetom pre návrh opatrení proti povodniam.

Podzemný a oneskorený podpovrchový odtok tvoria tzv. základný odtok, ktorý zdrojom vody v recipientoch vodných tokov aj počas obdobia bez zrážok.

4.3 Hydrologická bilancia

Hydrologická bilancia pre povodia obsahuje dva typy prvkov a to veličiny, ktoré majú rozmery tokov (zrážky, výpar, prietok, základný odtok) a veličiny, ktoré sú v rozmeroch zásoby (pôdna voda, snehová pokrývka, podzemná voda). Nie všetky prvky hydrologickej bilancie sú ľahko merateľné a dajú sa presne určiť (zmena zásoby podzemnej vody, potenciálny výpar, atď.). K ich určeniu je potrebné používať špeciálne modely výpočty.

Pre zjednodušenú hydrologickú bilanciu v rámci povodia je možné sa riadiť rovnicou [11]:

$$H_s = H_0 + H_v + /-R \quad (4.1)$$

H_s – celková výška zrážok (mm)

H_0 – celková výška odtoku (mm)

H_v – celková výška výparu (mm)

R – zmena výšky zásob v povodí (mm)

5. Hydrologické modelovanie

Zrážkovo – odtokový model môžeme zjednodušene chápať ako napodobenie zložitých hydrologických procesov prebiehajúcich v prírode, ktoré sú interpretované v podobe určitého algoritmu vo virtuálnom prostredí. Je to prevažne matematický model, ktorý pomocou rovníc a premenných simuluje hydrologický cyklus, ktorý prebieha v reálnom prostredí a predstavuje zjednodušený kvantitatívny vzťah medzi vstupnými a výstupnými veličinami hydrologického systému. [12]

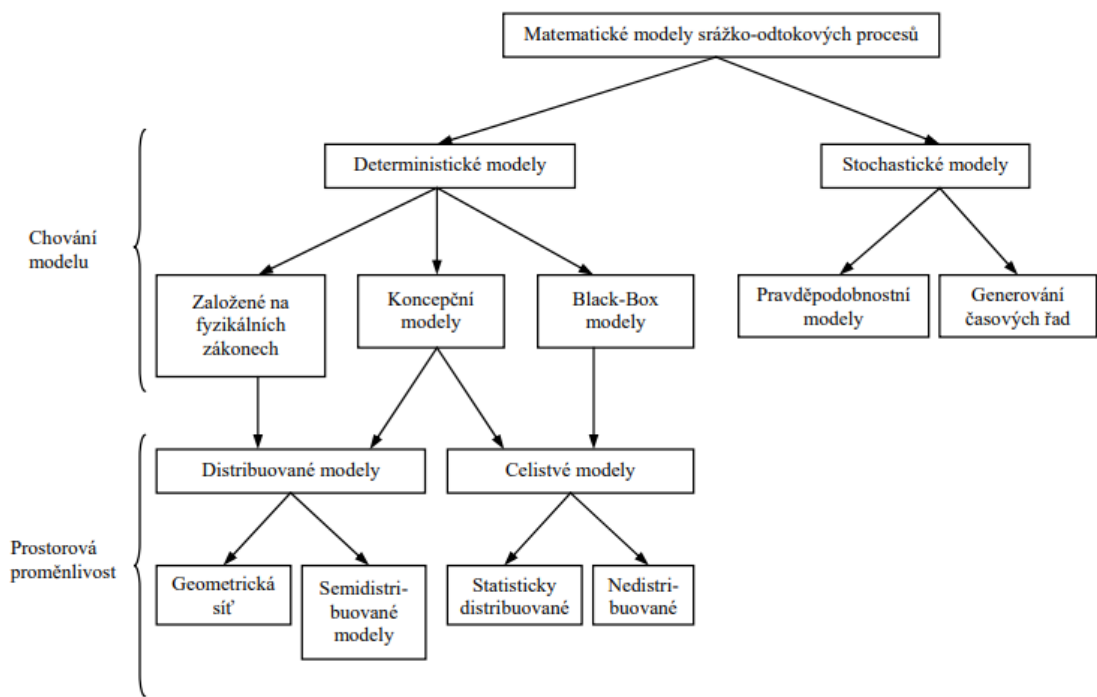
Proces hydrologického modelovania pozostáva z troch častí, kde ako prvé je potrebné pripraviť a spracovať vstupné dáta, v druhej časti sa vytvára hydrologická predpoveď požadovaných ukazovateľov a v poslednej tretej fáze prebieha spracovanie získaných výsledkov, ktoré následne slúžia pre účely navrhnutia konkrétnych opatrení. [12]

Matematické modelovanie zrážkovo - odtokového procesu je veľmi zložitý proces, pretože nie vždy je možné pri tvorbe takýchto modelov zachádzať do detailov. Prílišná podrobnosť pri riešení vedie k veľmi zložitým modelom, ktoré majú problém predovšetkým so vstupnými dátami, kedy nie je možné poskytnúť všetky potrebné informácie, a preto je potreba tieto dáta často odhadovať, čím sa znižuje kvalita výstupu. Na druhú stranu zjednodušené modely poskytujú veľmi hrubé odhady. Preto je potrebné vždy hľadať prijateľnú formu zjednodušenia. [13]

5.1 Delenie hydrologických modelov

Do dnes bola vyvinutá celá rada modelov, ktoré sa od seba odlišujú rôznymi prístupmi k jednotlivým zložkám zrážkovo – odtokového procesu alebo ku štruktúre posudzovaného povodia. Tieto rozdiely v prístupe sú v dôsledku toho, za akým účelom a pre akú oblasť je model vytvorený. Postupom času sa v týchto modeloch spozorovali spoločné prvky alebo naopak odlišnosti, ktoré hydrologické modely začlenili do rôznych kategórií, ktoré by mali pomôcť pri výbere vhodného modelu pre konkrétny problém. [14]

Jednotlivé modely možno klasifikovať podľa množstva kritérií, najčastejšie a taktiež najdôležitejšie kritéria delenia predstavuje stupeň kauzality a delenie podľa priestorovej a časovej diskretizácie.



Obr. 11 – Klasifikácia hydrologických modelov [14]

5.1.1 Stochastické a deterministické modely

Na základe prítomnosti alebo absencie vzťahu kauzality (vzťah medzi príčinou a dôsledkom) rozlišujeme stochastické a deterministické modely.

Stochastické modely primárne neobsahujú väzbu medzi príčinou a dôsledkom – chýba u nich kauzálny vzťah. Sú to modely pravdepodobnostné a modely, ktoré môžu generovať napríklad časové rady určitej sledovanej veličiny. [15]

Deterministické modely sú popísané vzťahom závislých (výstupných) premenných a nezávislých (vstupných) premenných. U deterministických modelov je viditeľná väzba medzi príčinou a dôsledkom, tzn. určitá vstupná veličina (zrážka) má priamy vplyv na výstupnú veličinu (odtok). Deterministické modely je možné deliť podľa toho, či model poskytuje súhrnný alebo distribuovaný popis územia alebo podľa toho, či je popis hydrologických procesov empirický, konceptný alebo fyzikálne založený. [15]

Fyzikálne založené modely (white box) – hydrodynamické modely založené na fyzikálnom popise zrážko – odtokových procesov so snahou zachovať zákony hmoty, hybnosti a energie. Taktiež využívajú teoretické poznatky z hydrodynamiky, termodynamiky, chémie alebo biológie [12]. Vzhľadom na náročnosť týchto modelov je

takmer nemožné do týchto modelov zasahovať a vykazujú veľké nároky na vstupné údaje, ktoré sú často nedostupné, čo je limitujúce pre použitie týchto modelov.

Koncepčné modely (grey box) - koncepčné modely sú založené predovšetkým na zjednodušených fyzikálnych zákonoch ale obsahujú aj niektoré empirické odvodené vzťahy. V prípade týchto modelov je možné do nich zasahovať a upraviť model tak, aby nedochádzalo ku skresleným výsledkom [14]. Modely predpokladajú zmeny v stavových parametroch v určitých reprezentatívnych bodoch, čím je potlačená priestorová zložka. [16] Koncepčné modely ďalej možno deliť podľa účelu modelovania a dĺžky časového kroku na epizódne modely (s dlhším časovým krokom) a modely bilančné (simulujúce hydrologický proces s kratším časovým krokom).

Koncepčné modely matematicky popisujú hlavné hydrologické procesy:

povrchové procesy – intercepcia, evapotranspirácia, retencia v povrchových depresiách, vznik povrchového odtoku, topenie snehu atď.

podpovrchové procesy – infiltrácia, podpovrchový odtok, tvorba základného odtoku

korytové procesy – vytváranie sústredeného odtoku a jeho transformácia

Empirické modely (black box) – používajú empiricky odvodené vzťahy medzi vstupmi a výstupmi a nerešpektujú riadiace zákony. Používajú metódy systémovej analýzy, ktorými posudzujú chovanie systému, neriešia samotnú štruktúru systému a zmeny stavových veličín. Z týchto dôvodov sa používajú pre systémy s jednoduchou štruktúrou a jednotným chovaním. Proces je riešený iba z hľadiska transformačnej funkcie systému. Chovanie systému sa posudzuje na základe vzťahu medzi vstupnými a výstupnými veličinami, z čoho vyplýva, že aplikácia empirických modelov je možná iba u systémov, kde sú známe obe skupiny dát. [16]

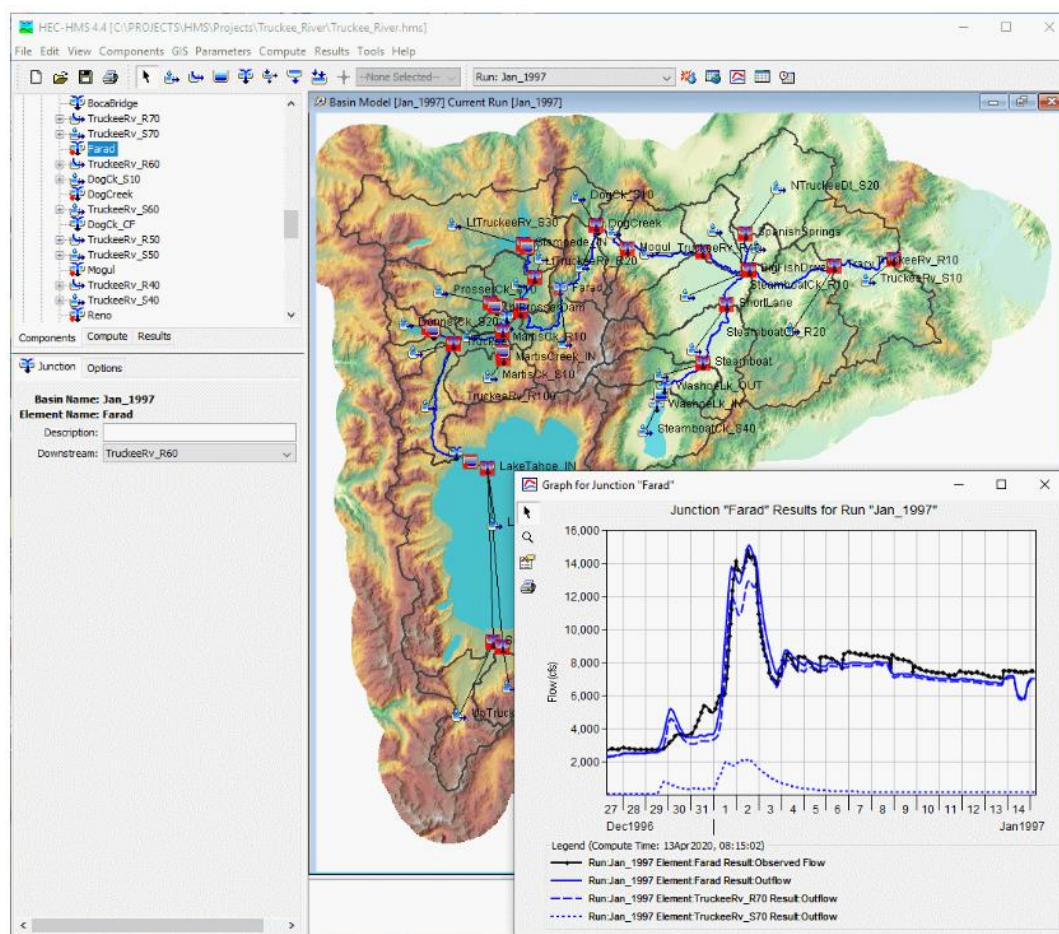
5.1.2 Celistvé a distribuované modely

Súhrnný alebo celistvý model predstavuje povodie ako celok a považuje ho za jednu výpočtovú jednotku, na druhej strane distribuovaný model berie do úvahy priestorovú variabilitu vstupných parametrov, ktoré sú následne transformované na parametre výstupné taktiež poukazujúce na variabilitu priestoru. Distribuovaný model presnejšie vystihuje skutočné správanie systému, pričom rozdeľuje povodie na sieť, ktorej každý grid predstavuje elementárnu odtokovú plochu. Každá odtoková plocha je charakterizovaná hodnotou parametru. Stredný prístup v modelovaní predstavujú semi-distribuované modely, ktorých

princíp spočíva v rozdelení povodia na elementárne odtokové plochy, ktoré sa na rozdiel od distribuovaných modelov vyznačujú homogénnymi priestorovými parametrami (napr. rovnaký pôdny druh v celom povodí). Semi-distribuované modely sa v praxi stále častejšie aplikujú, pretože predstavujú optimálnu kombináciu oboch vyššie uvedených modelov. [14] [15]

5.2 Model HEC - HMS

Model HEC – HMS (Hydrologic Engineering Centre – Hydrologic Modeling System) je verejne dostupný a bezplatne poskytovaný zrážkovo – odtokový model vyvíjaný v USA inžiniermi americkej armády (Army Corps of Engineers). Je často využívaný v Českej republike, ale aj vo svete a umožňuje riešiť celú radu hydrologických úloh. Umožňuje stanoviť veľkosť priameho a základného odtoku a k tomu dokáže riešiť transformačnú odozvu povodia na priebeh príčných zrážok, čím je vhodný pre určité charakteristik povodne ale aj pre simuláciu odtoku. [17]



Obr. 12 – Ukážka s modelu HEC - HMS [zdroj: US Army Corps of Engineers]

5.2.1 Základné komponenty programu HEC – HMS

Model povodí (basin model) – využíva sa pre parametrizáciu povodia na čiastkové povodia, definovanie vodných tokov a sútokov, určenie uzáverových profilov a umožňuje zapojenie aj ďalších prvkov ako nádrž, zdroj, odber.

Meteorologický model – slúži k prepojeniu zrážkovej udalosti s konkrétnym modelom povodí (basin model).

Editor časových rad (time - series data) – slúži na vloženie časových rad návrhových zrážok. Editor umožňuje zvolenie časového intervalu simulácie, ohraničuje počiatočné a koncové hodnoty. Takto definované časové rady zrážok sú pomocou metrologického modelu priradené ku konkrétnemu modelu povodí.

Control specification manager – slúži k nastavení okrajových hodnôt simulácie a taktiež k nastaveniu časového kroku simulácie.

5.2.2 Oddelené modely programu HEC – HMS

Program HEC – HMS používa k vyjadreniu jednotlivých zložiek odtoku od zrážok až po výsledný prietok v uzáverovom profile niekoľko oddelených modelov, ktoré môžu byť zostavené z rôznych komponentov tak, aby štruktúra modelu čo najlepšie odpovedala požadovanému účelu. Základne používané komponenty sú vyššie uvedené subpovodie (Subbasin), úseky tokov (Reach) a sútoky (Junction). Program taktiež ponúka ďalšie komponenty ako nádrž (Reservoir), zdroj (Source), odbočenie (Diversion) alebo odber (Sink).

Model objemu odtoku - počíta objem odtoku vyhodnotením objemu vody, ktorý sa stratí intercepciou, infiltráciou, akumuláciou, evapotranspiráciou a túto hodnotu odpočíta od zrážok. V modeloch sa počíta s tým, že všetok povrch v povodí môže byť rozdelený do dvoch kategórií, a to buď priamo spojený nepriepustný povrch a priepustný povrch. Na výpočet odtokovej straty ponúka program niekoľko metód [12]:

- The SCS curve number (CN),
- The Green and Ampt.

Medzi najpoužívanejšie pre svoju jednoduchosť a nenáročnosť na vstupné dáta patrí metóda CN–kriviek, ktorá je bližšie popísaná v ďalšej kapitole.

Model základného odtoku – pre modelovanie využíva metódy lineárneho rezervoára (Linear reservoir), exponenciálneho poklesu (Exponential recession) a konštantného odtoku (Constant monthly).

Model korytového odtoku – tento model obsahuje niekoľko metód, ktorými dokážeme určiť postupu povodňovej vlny po toku. Tieto metódy sú založené na riešení základných rovníc prúdenia v otvorených korytách – rovnice kontinuity a pohybové rovnice dohromady označované ako St. Venantove rovnice. Medzi najznámejšie z týchto metód patrí model kinematickej vlny (Kinematic wave) alebo model Muskingum-Cunge, ktorý je vhodný na použitie v praxi a je založený na aproximácii kombinácie rovnice kontinuity a difúzne formy pohybovej rovnice. [12]

5.2.3 Model transformácie priameho odtoku

Program HEC – HMS používa ako transformačnú funkciu zrážok na odtok buď jednotkový hydrogram (UH) alebo model kinematickej vlny. Model kinematickej vlny zohľadňuje fyzikálne procesy (napr. infiltráciu, prúdenie v koryte atď.). Jednotkový hydrogram je funkciou vlastností povodia, ktorá vyjadruje rozdelenie jednotkových objemov odtoku v závislosti na morfológických a fyzikálnych vlastnostiach povodia, z ktorých často možno odvodiť parametre určujúce tvar hydrogramu. HEC-HMS ponúka niekoľko typov jednotkových hydrogramov: *User-specified Unit Hydrograph*, *Clark's UH*, *Snyder's UH* a *SCS UH*. Najčastejšie používaný je Clarkov hydrogram, ktorý je odvodený tak, že jasne reprezentuje dva hlavné procesy v transformácii efektívnej zrážky na odtok, a to prevod alebo pohyb zrážky z miesta pôvodu do záverového profilu a útlm či zníženie veľkosti prietokov pri rozložení efektívnej zrážky cez povodie. Parametre vstupujúce do modelu sú [17] [18]:

- T_c – doba koncentrácie v povodí [hod],
- R_c – transformačný faktor [hod] simulujúci čas zadržania vody v povodí (storage coefficient),
- závislosť doby dobiehania a veľkosti plochy povodia pri zasiahnutej celej ploche povodia (tzv. time-area curve).

Výpočet doby koncentrácie vychádza z doby oneskorenia (lag time), čo je časový posun v hodinách medzi výskytom maxima príčinné zrážky a výskytom kulminačného prietoku v príslušnom uzáverovom profile čiastkového povodia. [17]

$$T_{lag} = \frac{L^{0,8} * (A+1)^{0,7}}{1900 * \sqrt{Y}} \quad (5.1)$$

T_{lag} – doba oneskorenia (h^{-1})

L – maximálna dĺžka toku v povodí (stopy)

A – maximálna potenciálna retencia (palce)

Y – priemerný sklon povodia (%)

Doba koncentrácie predstavuje funkciu doby oneskorenia a je vypočítaná podľa vzťahu [16]:

$$T_c = 1,67 * T_{lag} \quad (5.2)$$

T_c – doba koncentrácie (h)

T_{lag} – doba oneskorenia (h)

Retenčná konštanta určuje dobu zdržania vody v povodí a je určená podľa nasledujúceho vzťahu [16]:

$$R_c = A * L^B * S_{1085}^C \quad (5.3)$$

L – maximálna dĺžka toku v povodí (míle)

S_{1085}^C – sklon medzi 10% a 85% maximálnej dĺžky údolnice (stopy na míle)

A, B, C – koeficienty (stanovené ČHMÚ pre Českú republiku A=80, B=0,342 a C=-0,79)

5.2.4 Podporné programové prostriedky pre HEC - HMS

HEC – HMS využíva aj radu ďalších programových prostriedkov pre spracovanie vstupných dát a ku prezentácii výstupných dát. Jedná sa predovšetkým o predspracovanie dát najčastejšie v programe ArcGis, konkrétne nadstavbovými nástrojmi HEC-GeoHMS, ktoré umožňujú spracovanie analýz pre hydrologické modelovanie. Ďalším nástrojom na podporu hydrografických, hydraulických a hydrologických analýz je nástroj ArcHydro, ktorý vznikol v spolupráci firmy ESRI a Centra pre výskum vodných zdrojov (Center for Research of Water Ressource) na Texaskej univerzite v Austine. [19]

ArcHydro Tools slúži na vytvorenie hlavných zložiek dátového modelu a na priradenie kľúčových atribútov pre ďalšie analýzy. Umožňuje predspracovanie digitálneho modelu reliéfu, určenie rozvodníc a konštrukcie riečnej siete. Ďalej priraduje vytvorenej základnej hydrografickej sieti jedinečné identifikátory tokov a povodí (HydroID, DrainID, atď.)

a vytvára ich základné merné charakteristiky (LengthDown, LongestFlowPath atď.). [19]

Nadstavba HEC-GeoHMS umožňuje interaktívny manažment dát a procesov pre ďalšie použitie v programe HEC - HMS. Vytvára povodie z digitálneho modelu reliéfu, rozširuje výpočty fyzicko-geografických charakteristík povodia, ktoré sú ďalej využité na výpočty hydrologických parametrov. Niektoré možnosti sa kryjú s nadstavbou ArcHydro. HEC-GeoHMS predovšetkým vytvára schému hydrologické siete, ktoré môže byť ďalej exportované so všetkými parametrami vytvorenými v ArcGise do programu HEC - HMS. [20]

V tejto diplomovej práci bude model HEC – HMS využitý pre určenie priameho odtoku z príčinnej zrážky a to transformovaním hyetogramu efektívnej zrážky do odtokovej odozvy. Pre túto transformáciu bude použitá metóda jednotkového hydrogramu (UH) a konkrétne zvolený najpoužívanejší Clarkov jednotkový hydrogram.

5.3 Metóda SCS – CN

Metóda čísel odtokových kriviek CN (ďalej metóda CN) – Curve Number bola odvodená na základe analýzy dát na malých povodiach v USA v roku 1972 pre potreby Služby na ochranu pôdy (SCS – Soil Conservation Services). Táto metóda predstavuje jednoduchý zrážkovo-odtokový model s ľahko získanými vstupmi, ktorý sa používa na stanovenie objemu priameho odtoku a kulminačného prietoku spôsobeného návrhovým prívalovým dažďom o zvolenej pravdepodobnosti výskytu pre malé povodia do 10 km². [21]

5.3.1 Možnosti aplikácie metódy SCS – CN

Metóda CN by mala byť používaná pre povodia mimo intravilánu, ideálne pre voľnú krajinu s minimom zastavaného územia. V urbanizovaných povodiach je vysoké množstvo nepriepustných plôch, pod ktorými sa môže nachádzať priepustná pôda. Na začiatku sa tak očakáva vysoká počiatočná retencia, ku ktorej vo výsledku vôbec nedôjde.

Táto metóda je vhodnou alternatívou pre hodnotenie vzťahov medzi zrážkami a odtokom v povodiach, kde nie sú známe hydrologické údaje, pretože vstupné údaje vychádzajú z typu povrchu a spôsobu jeho využívania. Týmto spôsobom odhadu odtoku v nameraných povodiach sa predchádza dlhým a časovo náročným priamym metódam merania odtoku. [22]

Ako už bolo spomínané, metóda CN bola odvodená na poľnohospodárskych povodiach

v USA, ktoré majú väčšinou sklon do 5% a preto sklon nemá vplyv na výslednú hodnotu čísla CN. V podmienkach Českej republiky sa vyskytujú povodia s výrazne vyšším sklonom a preto by použitie metódy CN v týchto povodiach malo byť vhodne posúdené. [23] [24]

5.3.2 Obmedzenie metódy CN kriviek

Jednou z nevýhod metódy CN kriviek je, že výsledná výška povrchového odtoku nie je závislá na časovom rozložení návrhovej prívalovej zrážky. Dve zrážky s rovnakou hodnotou úhrnu ale s rozdielnymi časovými priebehmi, napríklad dážď nízkej intenzity rovnomerne rozdelený v čase a prívalová zrážka s vysokou intenzitou a krátkou dobou trvania majú rovnakú výslednú odtokovú výšku, čo v praxi neodpovedá princípu tvorby povrchového odtoku. Preto je potrebné opatrne pristupovať k výsledkom získaným touto metódou aby výsledné objemy povrchového odtoku neboli podhodnotené. [24] [25]

5.3.3 Objem priameho odtoku

Pri stanovení priameho odtoku metódou CN kriviek sa vychádza z predpokladu, že pomer medzi aktuálnou retenciou (objem vody zadržaný pri odtoku) a maximálnou retenciou (potenciálne zadržateľný objem vody) v povodí je rovnaký ako pomer medzi výškou odtoku a výškou prívalových zrážok po odčítaní počiatočných strát. Do priameho sa zahrňuje povrchový a podpovrchový odtok. [21]

$$\frac{O_p}{A} = \frac{H_0}{H_s - I_a} \quad (5.4)$$

O_p – objem priameho odtoku (m^3)

I_a – počiatočná retencia (mm)

H_0 – výška priameho odtoku (mm)

H_s – úhrn návrhového dažďa (mm)

A – maximálna potenciálna retencia (mm)

5.3.4 Stanovenie maximálnej potenciálnej retencie

Povrchový odtok sa začína tvoriť po počiatočnom zadržaní vody v povodí, čo predstavuje súčet infiltrácie (voda vsiaknutá), intercepcie (voda zachytená na rastlinách), evaporácie (voda vyparená) a povrchovej retencie (voda zachytená v terénnych depresiách) vid' Obr. 10. Tento súčet počiatočnej retencie bol stanovený na základe experimentálnych meraní ako 20% z potenciálnej retencie, ktorá je vyjadrená pomocou čísel odtokových kriviek CN.

[21]

$$A = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (5.5)$$

A – maximálna potenciálna retencia (mm)

CN – priemerné číslo odtokovej krivky územia

5.3.5 Čísla odtokových kriviek CN

Povrchový odtok, respektíve podiel povrchového odtoku v priamom odtoku, sa stanovuje pomocou čísel odtokových kriviek CN. Bezrozmerná hodnota CN krivky v intervale od 0 do 100 vyjadruje odtokový potenciál daného územia a platí, že čím je hodnota CN vyššia, tým je vyššia pravdepodobnosť, že pri zrážkovej udalosti dôjde k priamemu odtoku. Odtokový potenciál je závislý na predchádzajúcich vlhkostných podmienkach, na pôdnom type a na spôsobe využívania územia. Výsledné čísla odtokových kriviek (CN) sa stanovujú na základe prieniku všetkých faktorov. [21]

1) *hydrologické vlastnosti pôd* – rozdelenie do 4 skupín (A, B, C, D) na základe infiltračných schopností pôdy, respektíve rýchlosti infiltrácie vody do pôdy. Ideálny stav pre minimalizovanie povrchového odtoku je stredná až vysoká infiltračná schopnosť pôd, pri extrémne vysokej infiltračnej schopnosti hrozí rýchle vyplavovanie živín do podlažia a do podzemných vôd. Infiltračné schopnosti pôdy ovplyvňujú klimatické pomery (intenzita, množstvo a časové rozloženie zrážok, teploty a ročné obdobie), pedologické pomery (fyzikálne a vlhkostné vlastnosti pôd) a taktiež využitie územia. [21]

Tabuľka 3 – Hydrologické skupiny pôd [21]

Hydrologická skupina	Charakteristika hydrologickej skupiny pôd
A	Pôdy s vysokou rýchlosťou infiltrácie (> 0,12 mm/min) aj pri úplnom nasýtení - prevažne hlboké, dobre až nadmerne odvodnené štrky a piesky.
B	Pôdy so strednou rýchlosťou infiltrácie (0,06 - 0,12 mm/min) aj pri úplnom nasýtení - prevažne stredne hlboké až hlboké, stredne až dobre odvodnené, hlinito piesčité až ílovito hlinité.
C	Pôdy s nízkou rýchlosťou infiltrácie (0,02 – 0,06 mm/min) aj pri úplnom

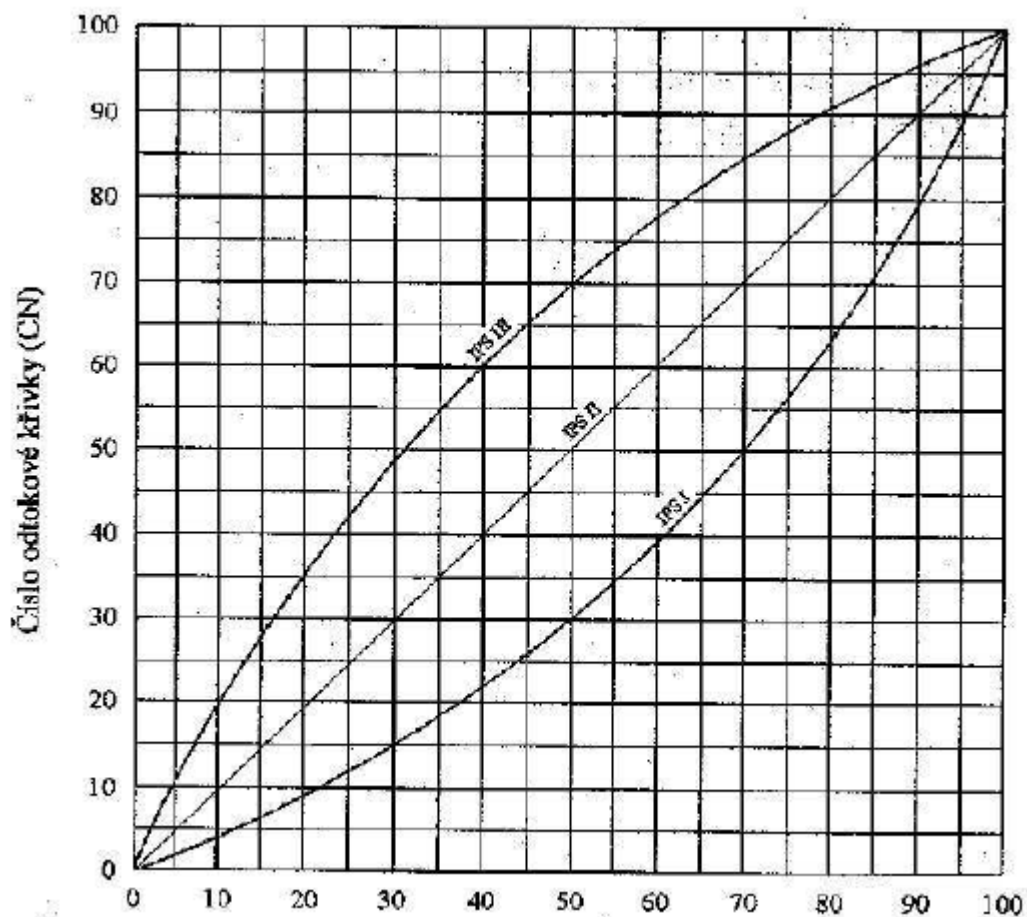
Hydrologická skupina	Charakteristika hydrologickej skupiny pôd
	nasýtení - prevažne pôdy s málo priepustnou vrstvou v pôdnom profile a pôdy ílovito hlinité až ílovité.
D	Pôdy s veľmi nízkou rýchlosťou infiltrácie ($< 0,02$ mm/min) aj pri úplnom nasýtení - prevažne íly s vysokou bobtnavosťou, pôdy s trvale vysokou hladinou podzemnej vody, pôdy s vrstvou ílu na povrchu alebo tesne pod ním a plytké pôdy nad takmer nepriepustným podložím.

2) *vlhkosť pôdy* - rozdelenie do troch stupňov na základe indexu predchádzajúcich zrážok (IPS). [21]

IPS I – pôda obsahuje také množstvo vody, ktoré umožňuje uspokojivé obrábanie

IPS II – stredne nasýtená pôda vodou

IPS III – pôda je presýtená vodou s predchádzajúcich dažďov



Obr. 13 – Vplyv obsahu vody v pôde na zmenu čísla odtokovej krivky CN [19]

Tabuľky udávajú priemerné čísla odtokových kriviek CN pre IPS II, avšak aktuálna vlhkosť pôdy má veľký vplyv na vsakovanie a tým na hodnoty CN. Hodnoty CNI a CNIII sa stanovujú prepočtom z CNII podľa rovníc [21]:

$$CN_I = \frac{4,2 * CN_{II}}{10 - 0,058 * CN_{II}} \quad (5.6)$$

$$CN_{III} = \frac{23 * CN_{II}}{10 + 0,13 * CN_{II}} \quad (5.7)$$

3) *využitie pôdy* – zohľadnenie vegetačného pokryvu, spôsobu obrábania a uplatnenie protieróznych opatrení

5.3.6 Určenie výšky priameho odtoku

Zrážkové úhrny návrhového prívalového dažďa, alebo zrážková výška je jedným z hlavných parametrov, ktoré potrebujeme poznať pre výpočet výšky respektíve objemu povrchového odtoku. Zrážkové úhrny predstavujú výšku vrstvy vody, ktorá naprší na konkrétne miesto za určitý časový interval. [21]

$$H_0 = \frac{(H_s - 0,2A)^2}{(H_s + 0,8A)} \quad (5.8)$$

H_0 – výška priameho odtoku (mm)

H_s – úhrn návrhového dažďa (mm)

A – maximálna potenciálna retencia (mm)

I_a – počiatková retencia (mm)

Objem priameho odtoku sa pre konkrétne povodie stanoví zo vzťahu:

$$O_p = 1000 * P_p * H_0 \text{ [m}^3\text{]} \quad (5.9)$$

O_p – objem priameho odtoku (m³)

P_p – plocha povodia (km²)

H_0 – výška priameho odtoku (mm)

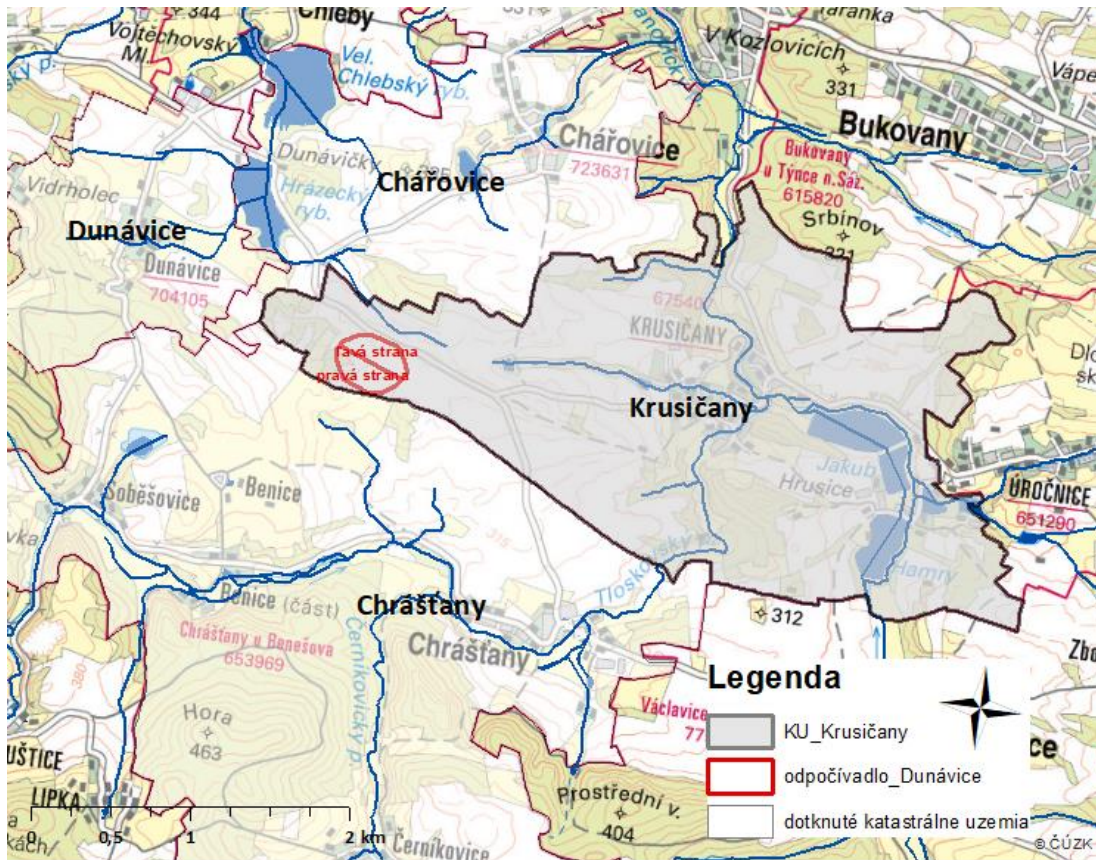
6. Riešenie nakladania s dažďovými vodami z odpočívadla Dunávice na diaľnici D3 u Týnca nad Sázavou

6.1 Úvod

Predchádzajúce kapitoly teoretickej časti tejto diplomovej práce boli venované všeobecným pravidlám a legislatívnym požiadavkám, ako nakladať so zvýšeným množstvom dažďových vôd pri výskyte zrážkovej udalosti v povodí. Ako z uvedeného vyplýva, zvláštnu pozornosť je potrebné venovať odvádzaniu dažďových vôd zo spevnených plôch, ktoré nemôžu prirodzene vsakovať do podložia. Uvedené možné spôsoby ako nakladať s dažďovou vodou, budú v ďalších kapitolách diplomovej práce posúdené a primerane aplikované v riešenej záujmovej lokalite, ktorou je územie plánovanej výstavby odpočívadla Dunávice budovaného na diaľnici D3 u Týnca nad Sázavou. Konkrétny technický návrh vhodných prvkov na zachytávanie, vsakovanie a odvádzanie dažďovej vody z územia bude uskutočnený na základe simulácií, ktoré budú prebiehať v zrážkovo – odtokovom modeli HEC – HMS s využitím metódy SCS CN a jednotkového hydrogramu.

6.2 Charakteristika záujmového územia

Oblasť plánovaného odpočívadla Dunávice sa nachádza na území Stredočeského kraja asi 8 km od mesta Benešov. Výstavba je plánovaná v úseku diaľnice D3 v okolí Týnca nad Sázavou v km 26,3 medzi obcami Dunávice a Krusičany. Samotná plocha odpočívadla Dunávice sa bude rozprestierať na poľnohospodárskych pozemkoch v katastrálnom území obce Krusičany [675407]. Výstavbou budú ovplyvnené aj okolité obce Chrástany [653969] a Chářovice [723631], v ktorých sa nachádzajú cieľové recipienty vodných tokov pre odvádzanie zrážkových vôd.



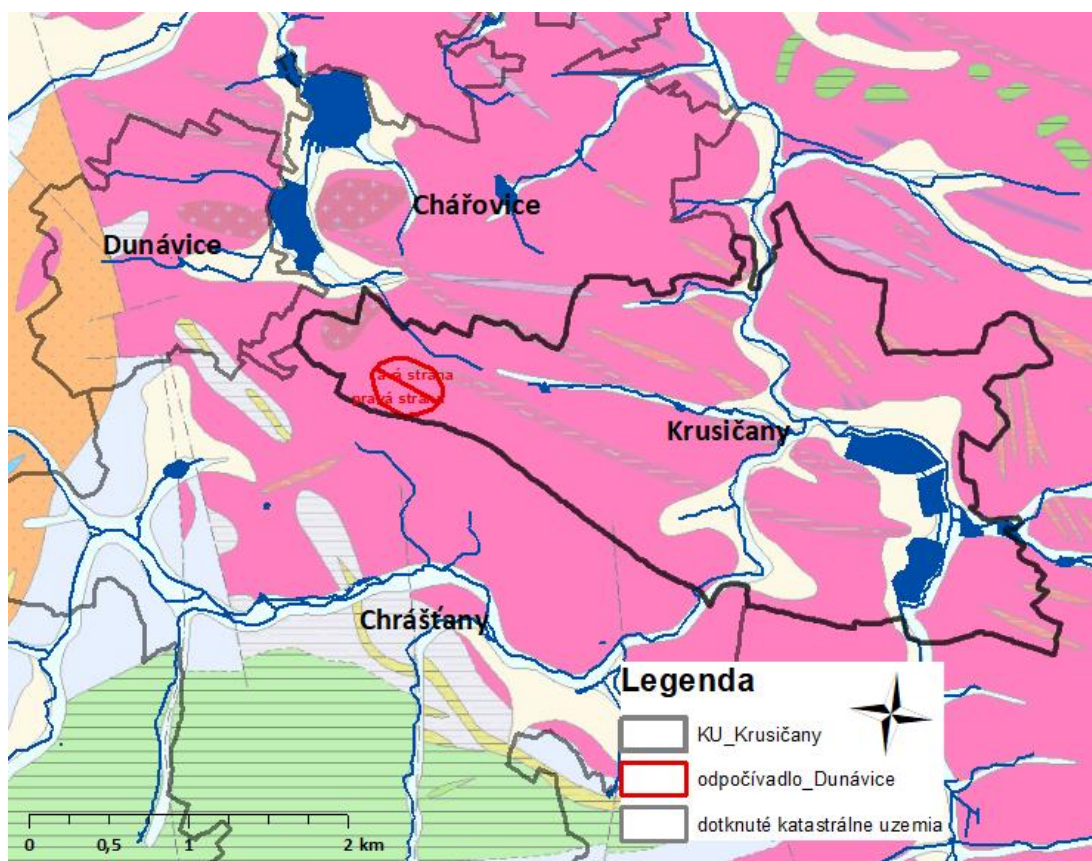
Obr. 14 – Záujmové územie s vyznačením plánovaného odpočívadla Dunávice (podkladová mapa: ZM 1:50 000, zdroj: ČÚZK)

6.2.1 Geomorfológia

Záujmové územie sa podľa geomorfologických jednotiek ČR nachádza v provincii Česká Vysočina, ďalej spadá do Česko-moravskej subprovincie, v oblasti Stredočeskej pahorkatiny do celku Benešovská pahorkatina a do podcelku Dobříšska pahorkatina. [26]

Geologické podložie územia je tvorené prevažne hlbinnými vyvrelinami žulového charakteru granodioritmi až dioritmi sázavského typu, okrajovo starohorné zvrásnené horniny - bridlice a svory. V riečnych nivách sa vyskytujú štrkovité a kamenné sedimenty. [27]

Terén je pomerne rovinný s priemernou nadmorskou výškou cca 300 m n. m., s okolitými vrchmi Brodce (356 m n. m.) na severnej strane a nepomenovaným vrchom (344 m n. m.) na južnej strane.



Obr. 15 – Výrez z geologickej mapy ČR 1:50 000 (zdroj: voľne dostupné v ArcGis online)

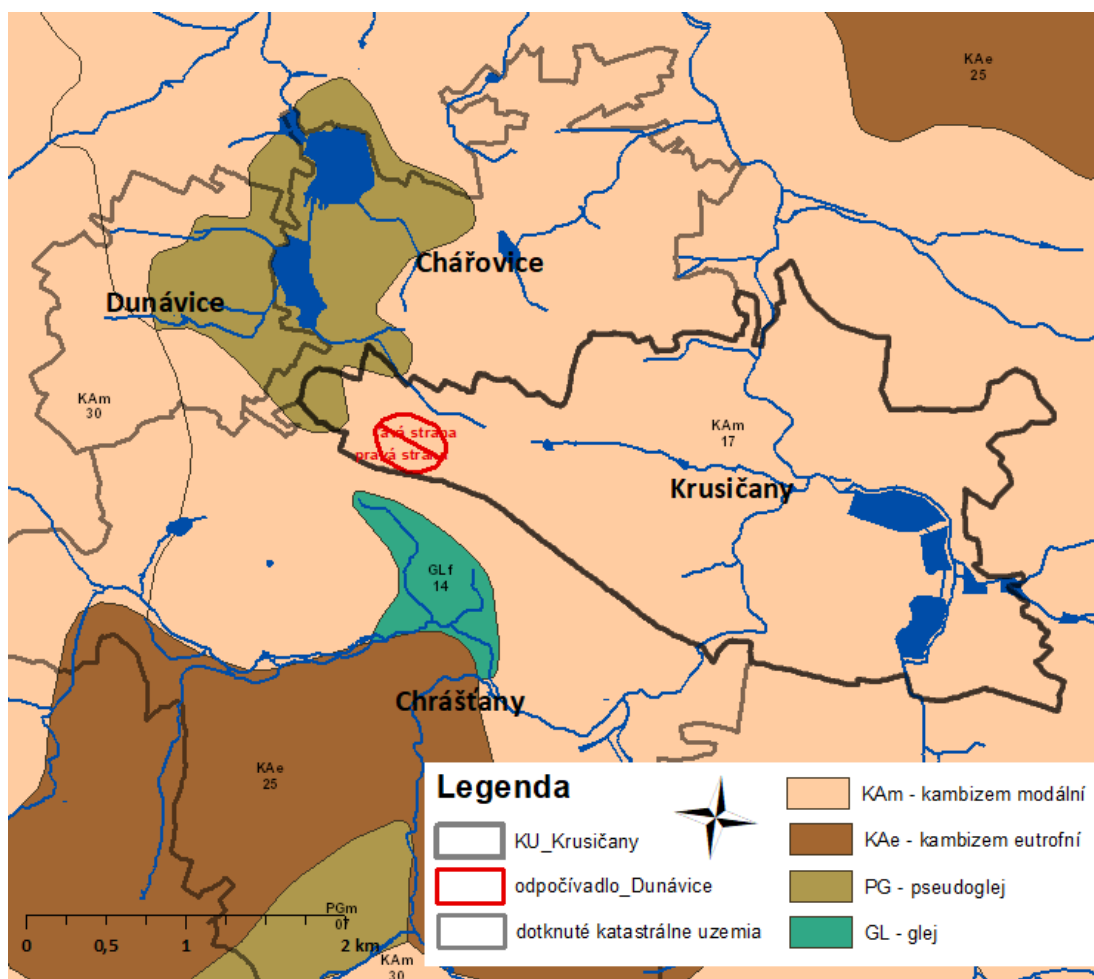
6.2.2 Pedológia

Takmer na celom záujmovom území sa vyskytujú hnedé kyslé pôdy (kambisoly) – predovšetkým kambizeme, typické pre pahorkatiny a vrchoviny. Ide predovšetkým o nasýtený typ kambizemí, ktoré sa bežne vyskytujú na stredne ťažkých zvetralinách rôznych hornín. Vo vlhších oblastiach prechádza prevažujúca kambizem k pseudogleji, v údoliach vodných tokov sa nachádzajú gleje. Práve pseudogleje sa lokálne vyskytujú v južnej časti územia, predovšetkým v nivách vodných tokov. Ostatné typy, ako napríklad fluvizeme, gleje alebo luvizeme sa v záujmovom území vyskytujú iba ojedinele. [27]

„Kambizeme sú pôdy s kambickým hnedým (braunifikovaným) horizontom, vyvinutým prevažne v hlavnom súvrství magmatických, metamorfických a spevnených sedimentárnych hornín. Aj výraznejšie vyvinuté pôdy v kambickom horizonte postrádajú ílové povlaky – argilány. Pôdy sa vytvárajú hlavne v svahovitých podmienkach pahorkatín, vrchovín a hornatín, v menšej miere (sympké substráty) v rovinatom reliéfe. Kambizeme sú najrozšírenejší pôdny typ v Českej republike, pôvodným porastom kambizemí boli duby a bučiny, prípadne vo vyšších polohách zmiešané lesy. V dnešnej dobe ich nájdeme prevažne

ako poľnohospodársku pôdu alebo sa vyskytujú pod listnatými lesmi v členitom teréne.“ [26]

„**Pseudogleje** tzv. oglejené pôdy sa vyskytujú na vlhkých miestach bez tvorby rašeliny. Základným znakom tejto skupiny pôd je periodické prevlhčenie a vysušovanie pôdneho profilu, predovšetkým v jarnom období. Vznikajú predovšetkým v miestach terénnych depresii a v záplavových územiach okolo riek. Tieto pôdy sú rozšírené v mierne teplých až chladných oblastiach.“ [26]



Obr. 16 - Pôdne typy vyskytujúce sa v záujmovom území (zdroj: CzechInspire, voľne dostupné v ArcGis online)

6.2.3 Klimatológia

Klimatické podmienky zásadne ovplyvňujú vodný režim v celom území. Odtokové pomery závisia na množstve spadnutých zrážok, ich druhu, časovému a priestorovému rozloženiu. Celé záujmové územie patrí do mierneho klimatického pásma severnej pologule s čiastočným oceánskym vplyvom a pravidelným striedaním štyroch ročných období.

Podľa Quittovej klasifikácie väčšina záujmového územia patrí do klimatickej oblasti

mierne teplej, mierne vlhkej (MT2), ktorý na území Českej republiky zaberá značnú časť Stredočeskej pahorkatiny. Pre región MT2 je typická krátka a mierna jar, krátke, mierne chladné a mierne vlhké leto, krátka a mierna jeseň, normálne dlhá a suchá zima.

Priemerné ročné zrážkové úhrny v záujmovej oblasti dosahujú 550 - 650 mm a priemerná ročná teplota vzduchu činí v priemere 7 – 8 °C. [26]

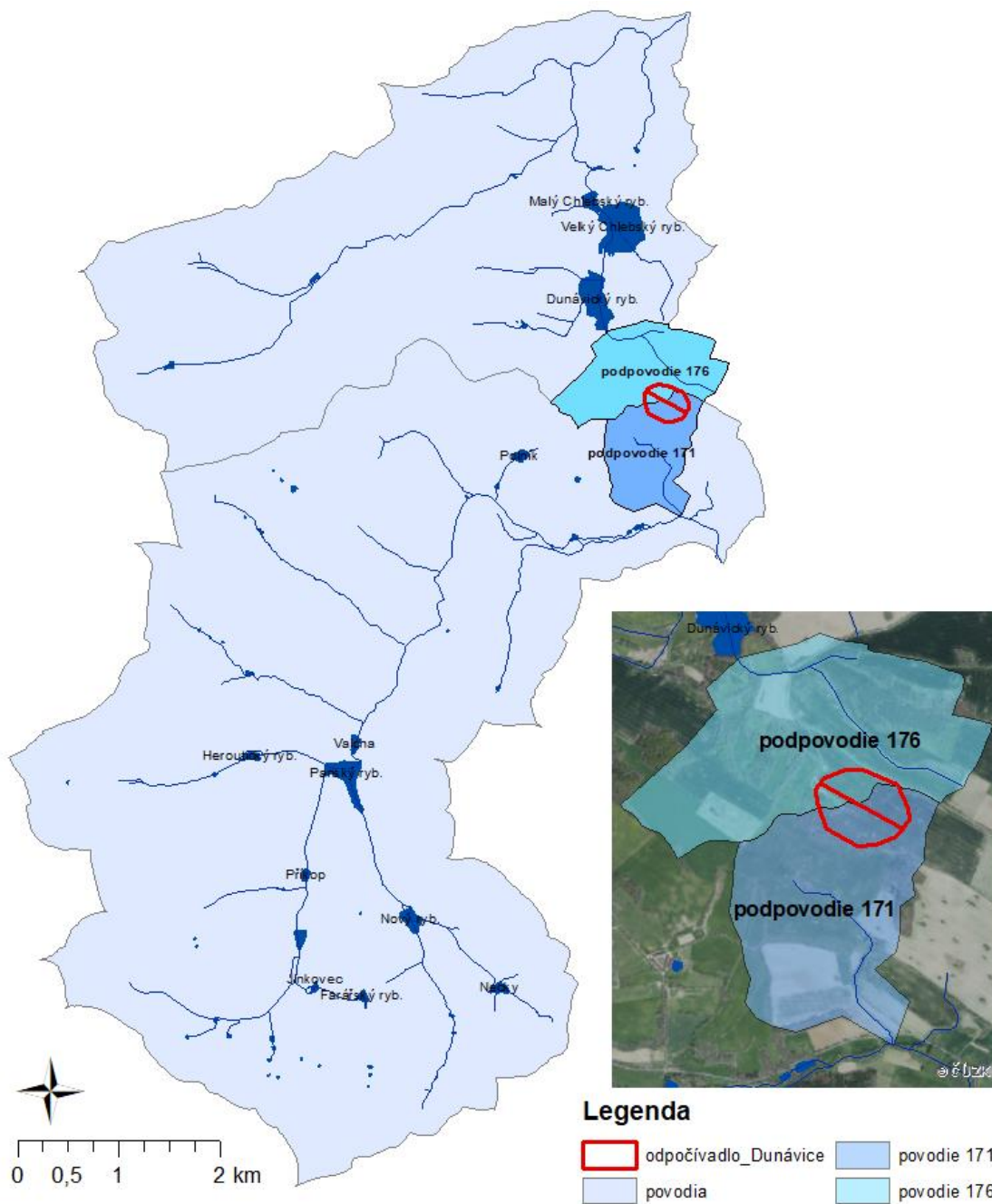
6.2.4 Hydrológia

Celé záujmové územie patrí do povodia Vltavy, čiastkového povodia Dolná Vltava a spadá do povodia III. rádu Sázava od Želivky po ústie (č. hydr. poradia 1-09-03). Do riešenej oblastí zasahujú dve povodia IV. rádu, ktoré obe majú vplyv na tvorbu povrchového odtoku. Konkrétne sa jedná o povodie Tloskovského potoka (č. hydr. poradia 1-09-03-171) a o povodie Brejlovského potoka (č. hydr. poradia 1-09-03-172). [28]

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené dotknuté povodia aj s príslušnými recipientmi, ktoré budú priamo ovplyvnené zvýšeným povrchovým odtokom z odpočívadla Dunávice.

Tabuľka 4 – Povodia IV. rádu v záujmovom území a cieľové recipienty pre prítok zrážkových vôd

Povodie IV. rádu	Číslo hydrologického poradia	Rozloha povodia (km²)	Vodný tok
povodie Tloskovského potoka	1-09-03-171	32,51	melioračný kanál ústiaci do Tloskovského potoka
povodie Brejlovského potoka	1-09-03-176	16,8	melioračný kanál ústiaci do Dunávického rybníka



Obr. 17 – Dotknuté povodia IV. rádu v záujmovom území a vymedzené čiastkové povodia pre posudzovanú lokalitu (podkladová mapa: ortofotomapa, zdroj: ČÚZK)

6.3 Terénny prieskum záujmovej oblasti

V rámci terénneho prieskumu v záujmovej oblasti bola uskutočnená obhliadka drobných vodných tokov, do ktorých budú privádzané vody z retenčnej, respektíve zo vsakovacej nádrže. Taktiež boli preskúvané aj miesta, ktoré boli určené ako uzáverové profily jednotlivých čiastkových povodií 171 a 176. Tieto uzáverové profily budú bližšie popísané v kapitole 8.2.1 *Vytvorenie čiastkových povodií*.

Terénnym prieskumom bolo zistené, že cieľové recipienty pre odvádzanie zrážkových vôd z odpočívadla Dunávice sú umelo vybudované otvorené melioračné kanály, ktoré slúžia na odvodnenie príľahlých poľnohospodárskych pozemkov. Korytá týchto melioračných kanálov majú pravidelný lichobežníkový prietochový profil, ktorý sa už postupom času premenil na takmer prírodné koryto v dôsledku nánosu sedimentov a nárastom vegetácie. Melioračné kanály sú už trvalo začlenené do krajiny a ich umelý charakter je takmer neviditeľný. Brehová vegetácia v podobe drobných kríkov a stromov sa stala súčasťou krajiny. V čase prieskumu (máj 2022) bol pozorovaný veľmi malý, alebo na niektorých miestach takmer žiadny prietok, čím možno predpokladať, že budú mať dostatočnú kapacitu na odvádzanie zrážkových vôd z novovybudovaného odpočívadla Dunávice.



Obr. 18 – Melioračný kanál pre odvádzanie zrážkových vôd z ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov

7. Odpočívadlo Dunávice

7.1 Úvod do problematiky odpočívadiel

V rámci českej diaľničnej siete sa vodiči nákladných vozidiel potykajú s problémom nedostatku parkovacích miest, ktorý je spôsobený malým počtom odpočívadiel a ich nedostatočnou kapacitou. Nájsť parkovacie miesto na dodržanie bezpečnostnej prestávky v riadení vozidla vyplývajúcej z legislatívy, je pre vodičov nákladných vozidiel ťažšie. Kvôli rastu priemyselných zón v okolí diaľnic sa zvyšuje aj množstvo nákladných vozidiel na diaľnici, čo nedostatok parkovacích miest ešte zhoršuje. Riešením tejto situácie je, aby s novými plánovanými úsekmi diaľnic dochádzalo aj k výstavbe dostatočne kapacitných odpočívadiel. Proces výstavby nových odpočívadiel, či rekonštrukcia a rozširovanie tých existujúcich, je súčasťou stanovenej koncepcie, podľa ktorej Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD) postupuje v snahe priebežne zvyšovať kvalitu i počet služieb ponúkaných na diaľniciach. [29]

7.2 Charakteristika odpočívadla Dunávice

Podľa popisu uvedeného v predmetnej dokumentácii k územnému rozhodnutiu (DUR), ktorá pre túto diplomovú prácu bola poskytnutá mestským úradom v Týnci nad Sázavou, je odpočívadlo Dunávice navrhnuté ako „Veľká odpočívka so stravovacím zariadením“ (typ TO.3.2 podľa ŘSD) v oboch smeroch diaľnice D3 v úseku km 26,0 – 26,6. V smere od Prahy na Benešov pôjde polohovo o prvé odpočívadlo na diaľnici D3 a bude slúžiť pre parkovanie osobných a zvlášť nákladných vozidiel. Ďalšie služby, ktoré sa na odpočívadle budú nachádzať sú čerpacia stanica pohonných hmôt a odpočinková zóna s detským ihriskom. [30]

Odpočívadlo bude obsahovať inteligentný dopravný systém, ktorý bude vodičov informovať o počte voľných parkovacích miestach. Po oboch stranách diaľnice bude v priestoroch odpočívadla umiestnená protihluková stena, vďaka ktorej bude hluk z prevádzky na diaľnici stlmený a zároveň bude zabraňovať vstupu osôb z odpočívadla do priestoru diaľnice. [30]

Tabuľka 5 – Kapacity odpočívadla Dunávice v oboch smeroch [30]

Typ státia	Počet státi vpravo (po smere staničenia)	Počet státi vľavo (proti smeru staničenia)
Nákladné automobily	80	80
Osobné automobily	51	51
Státie pre ZŤP	4	4

Typ státiá	Počet státi vpravo (po smere staničenia)	Počet státi vľavo (proti smere staničenia)
Autobusy	8	8
Karavany	15	15
Záliv pre nadrozmerné súpravy	1	1
Záliv pre kontroly polície	1	1



Obr. 19 – Plánované odpočívadlo Dunávice na diaľnici D3 (zdroj ŘSD)

7.3 Odvodnenie odpočívadla Dunávice

Celé odpočívadlo Dunávice sa skladá z dvoch samostatných parkovacích plôch navrhnutých po pravej a ľavej strane diaľnice D3 v smere od Prahy na Benešov. Návrh odvodnenia odpočívadla Dunávice v pôvodnej dokumentácii DUR uvažuje s odvodnením zrážkovej vody z celého odpočívadla ako celku, pričom bude zachytená zrážková voda odvádzaná do jednej spoločnej retenčnej nádrže a následne vyústená do bezmenného prítoku Chlebského potoka, ktorý zároveň tvorí prítok Dunávického rybníka. Presnejšie charakteristiky tejto retenčnej nádrže ako aj množstvá, na ktoré je táto nádrž dimenzovaná nie sú uvedené v predmetnej dokumentácii DUR, ktorá bola poskytnutá pre účely diplomovej práce a preto účinky dvoch rôznych návrhov nebudú v tejto diplomovej práci porovnané.

V rámci tejto diplomovej práce bude riešené odvodnenie dvoch samostatných parkovacích plôch odpočívadla Dunávice nezávisle pre každú stranu diaľnice D3, s cieľom nezaťažovať

jeden recipient odvádzaním veľkého množstva zachytených zrážkových vôd z celého odpočívadla, ale tie prerozdeliť do dvoch nezávislých recipientov. V rámci odvodnenia odpočívadla Dunávice budú preto navrhnuté pre retenciu a odvedenie zrážkových vôd dve menšie samostatné objekty, t.j. retenčná nádrž a vsakovacia nádrž, ktoré prispejú k zlepšeniu krajinného rázu v okolí odpočívadla Dunávice.

Pravá strana odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov bude odvodnená dažďovým kanalizačným systémom zaústeným do retenčnej nádrže umiestnenej priamo na ploche odpočívadla, z ktorej odtok bude smerovaný do melioračného kanála ústiaceho do Tloskovského potoka.

Ľavá strana odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov bude taktiež odvodnená dažďovým kanalizačným systémom do vsakovacej nádrže vybudovanej v tesnej blízkosti tejto strany odpočívadla. Voda, ktorá nevsiakne do podlažia v prípade dlhotrvajúcich zrážok bude odvádzaná do melioračného kanála zaústeného do Dunávického rybníka, ktorý v tomto prípade bude plniť aj retenčnú funkciu.

Keďže ide o odvádzanie zrážkových vôd z parkovacích plôch veľkej výmery (cca 3,0 ha každá strana odpočívadla), ktoré môžu byť znečistené škodlivými látkami najmä ropnými, v oboch prípadoch na pravej a ľavej strane odpočívadla bude nutné uvažovať s predčistením týchto vôd v dažďových usadzovacích nádržiach, resp. v odlučovačoch ropných látok, ktoré budú osadené pred samotnými nádržami na zdržanie vôd.

8. Príprava vstupných dát a modelu pre simuláciu povrchového odtoku

V rámci tejto diplomovej práce bola pre stanovenie objemu povrchového odtoku použitá metóda CN kriviek. Vstupné údaje pre výpočet boli získane prostredníctvom programu ArcGIS for Desktop vo verzii 10.8, čo je mapový softvér, ktorý pracuje na báze GISu. GIS (Geografický informačný systém) je systém, ktorý umožňuje pracovať s mapovými vrstvami. Spoločnosť ESRI, ktorá sa zaoberá vývojom GISu, ho definuje ako: „*Systém, ktorý vytvára, spravuje, analyzuje a mapuje všetky typy údajov. GIS spája údaje s mapou, pričom integruje údaje o polohe so všetkými typmi popisných informácií.*“ [31]

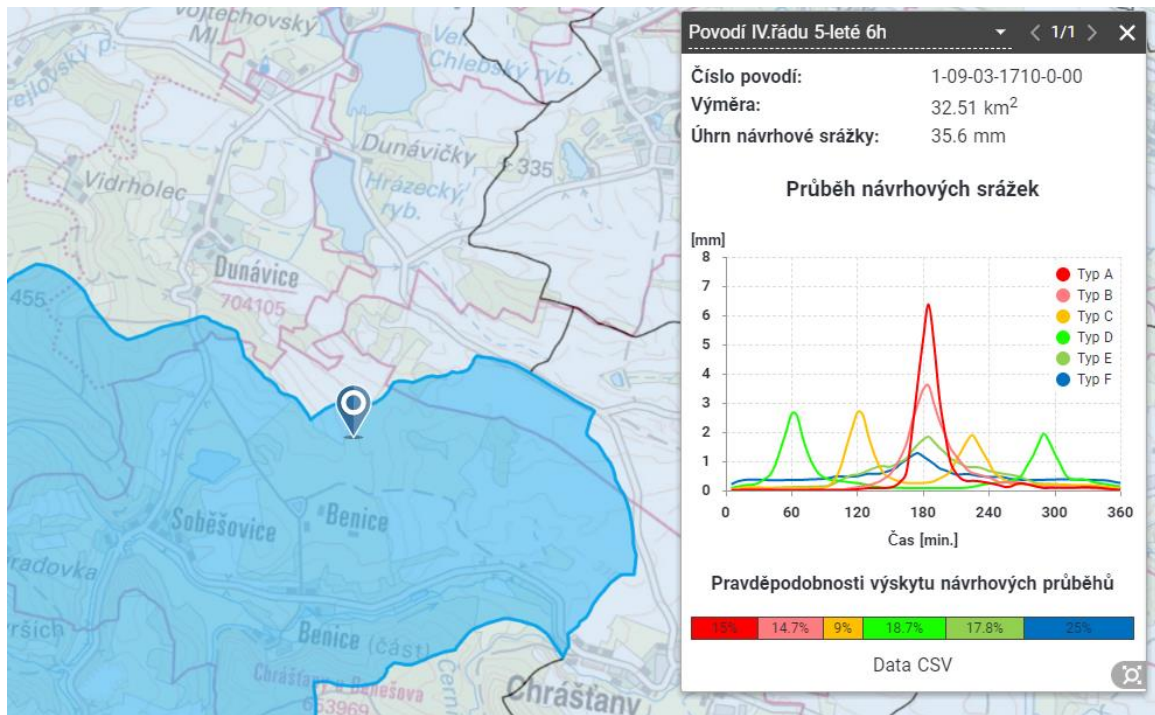
Pre konkrétny návrh a dimenzovanie retenčnej nádrže na zadržanie zvýšeného množstva zrážkovej vody vzniknutej vybudovaním pravej strany dpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov a vsakovacej nádrže pozdĺž ľavej strany odpočívadla Dunávice, bolo potrebné okrem objemu odtoku stanoviť aj hodnotu kulminačného prietoku. Výpočet kulminačného prietoku bol získaný na základe transformácie hyetogramu efektívnej zrážky do odtokovej odozvy. K získaniu výsledného hydrogramu odtoku pre čiastkové povodia 171 a 176 v záujmovom území bola použitá metóda Clarkovho jednotkového hydrogramu s využitím modelu HEC – HMS.

8.1 Zrážkové úhrny

Hodnoty úhrnov návrhového prívalového dažďa poskytuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Pre potreby tejto diplomovej práce dáta od ČHMÚ žiadané neboli, ale bol použitý portál *Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství ČVUT v Praze*, <https://rain1.fsv.cvut.cz> a verejná webová processingová služba (WPS) (<https://rain.fsv.cvut.cz/webapp/webove-sluzby/ogc-wps/>).

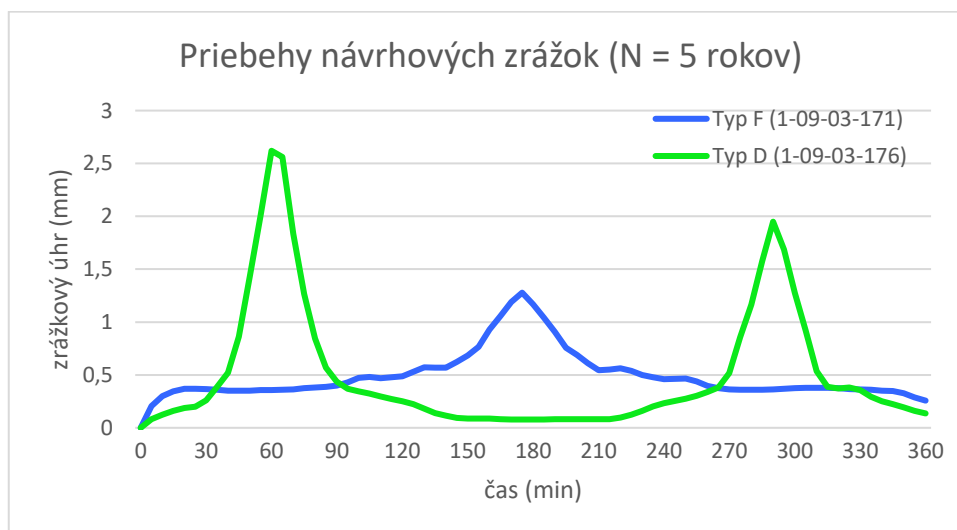
8.1.1 Voľba návrhovej zrážky

Najčastejšie príčiny extrémne vysokých povrchových odtokov sú krátkodobé zrážky vyskytujúce sa na malých povodiach. Pre územie Českej republiky bolo na základe reálnych zrážkových epizód odvodených 6 typických priebehov (hyetogramov) 6 - hodinových zrážok. Najjednoduchší priebeh majú tvary A, B, E a F, pričom tvar A je najrovnomernejšie rozdelený v čase a tvar F predstavuje prívalové zrážky. [25] [32]



Obr. 20 – Ukážka z portálu *rain.fsv.cvut.cz* s priebehom návrhových zrážok s dobou opakovania $N = 5$ rokov

Pre výber vhodného tvaru návrhového hyetogramu boli vyhodnotené tvary A – F dostupné na portály *rain.fsv.cvut.cz*, pre povodia 4. rádu. Zvolená bola 6 - hodinová návrhová zrážka s dobou opakovania $N = 2, 5, 20, 50$ a 100 rokov. Pre čiastkové povodie 176 (č. hydr. poradia 1-09-03-176) bol ako najčastejší tvar priebehu zvolený variant D a pre čiastkové povodie 171 (č. hydr. poradia 1-09-03-171) bol zvolený tvar priebehu F. Podľa metodiky [32] je doporučené pre tvar D u metódy CN používať stupeň nasýtenia odpovedajúci predchádzajúcemu indexu nasýtenia IPS II. Pre návrhovú zrážku rovnomerného tvaru F je pre modelovanie vždy doporučené uvažovať s predchádzajúcim indexom nasýtenia IPS III.



Obr. 21 – Priebehy návrhových zrážok s dobou opakovania $N = 5$ rokov

Pre všetky čiastkové povodia boli zvolené 6 - hodinové návrhové zrážky s rôznou dobou opakovania $N = 2, 5, 20, 50$ a 100 rokov. Návrhové úhrny boli určené pre každé čiastkové povodie zvlášť a boli získané zo spomínaného portálu *rain.fsv.cvut.cz* ako dáta v súbore csv. Do modelu HEC- HMS boli následne pre každé povodie vložené priebehy zrážok pre zvolený typ hyetogramu a bola sledovaná hodnota priameho odtoku. Pre návrh retenčnej nádrže a vsakovacej nádrže boli následne použité výstupy z modelu pre zrážku s periodicitou $p = 0,2$ ($N=5$ rokov) a bezpečnostné prelivy budú dimenzované na kulmináčny prietok odpovedajúci zrážke s periodicitou výskytu $p = 0,01$ ($N=100$ rokov) .

Tabuľka 6 – 6 hodinové návrhové úhrny pre jednotlivé čiastkové povodia s rôznou dobou opakovania

Povodie	N = 2 (mm)	N = 5 (mm)	N = 20 (mm)	N = 50 (mm)	N = 100 (mm)
Povodie 176	27,0	35,7	47,6	55,6	61,9
Povodie 171	27,0	35,6	47,5	55,4	61,6

8.2 Príprava dát

Pre stanovenie objemu povrchového odtoku z územia, kde je plánovaná výstavba nového diaľničného odpočívadla Dunávice, bolo potrebné vymedziť zbernú oblasť, ktorá sa bude priamo podieľať na tvorbe povrchového odtoku vo zvolených uzáverových profiloch. Do prostredia ArcGIS boli vložené podkladové mapy (Ortofotomapa ČR a Základní mapa ČR 1:10 000 poskytovaná ČÚZK dostupná v ArcGis Online), hranice dotknutých katastrálnych území (formát shp.) [33], povodí IV. rádu (shp.) a vrstva vodných tokov (shp.) dostupná v databáze DIBAVOD [34].

8.2.1 Vytvorenie čiastkových povodí

Pre posúdenie hydrologických podmienok v zvolených uzáverových profiloch bolo potrebné zdefinovať zbernú oblasť, z ktorej pritekajú vody do uzáverových profiloch. Čiastkové povodia boli vytvorené na základe povodí IV. rádu s využitím programu ArcGis.

Prvé definovanie čiastkových povodí k uzáverovým profilom prebehlo približným náčrtom rozvodníc pomocou vrstevníc na základnej mape ČR 1: 10 000. Presné určenie čiastkových povodí bolo vytvorené z digitálneho modelu terénu (DMR4G), ktorého rozsah bol upravený pre prvotný návrh čiastkových povodí v riešenom území. *„Model DMR4G predstavuje zobrazenie prirodzeného alebo ľudskou činnosťou upraveného zemského povrchu v digitálnom*

tvare vo forme výšok diskretných bodov v pravidelnej sieti (5x5 m) bodov so súradnicami X,Y,H, kde H reprezentuje nadmorskú výšku vo výškovom referenčnom systéme Balt po vyrovnaní (Bpv).“ [35] Z DMR4G bola vytvorená akumulácia odtoku (*Flow Accumulation*) a následne aj smer odtoku (*Flow Direction*). V uzáverových profiloch boli definované body, ku ktorým sa príkazom watershed vytvorili čiastkové povodia 171 a 176.

Tabuľka 7 – Výsledné čiastkové povodia v záujmovom území

Povodie	Plocha povodia (ha)	Uzáverový profil
Povodie 176	105,62	ústie melioračného kanála do Dunávického rybníka
Povodie 171	83,23	sútok melioračného kanála a Tloskovského potoka

Nasledujúce obrázky znázorňujú melioračné kanály tesne pred ich ústím do Dunavického rybníka, respektíve Tloskovského potoka. Melioračné kanály sú už v týchto miestach neupravené s pomerne hustou vegetáciou v podobe vysokej trávy a rôznych drevín. Koryta majú prirodzený charakter s neurčitým priečnym profilom. Predtým ako budú tieto kanály odvádzať zvýšené množstvo zrážkových vôd, malo by dôjsť k ich úprave prietochného profilu, čím sa zvýši ich prietochná kapacita.



Obr. 22 – Nátok melioračného kanálu do Dunávického rybníka



Obr. 23 – Melioračný kanál tesne pred nátokom do Tloskovského potoka

8.3 Stanovenie čísel odtokových kriviek

V kapitole 5.3.5 bolo popísané, na akých vstupných parametroch závisia výsledné hodnoty CN kriviek. V tejto podkapitole je popísaný konkrétny postup, ako sa tieto hodnoty CN kriviek získajú pre posudzované záujmové územie s využitím programu ArcGis a MS Excel.

8.3.1 Hydrologické skupiny pôd

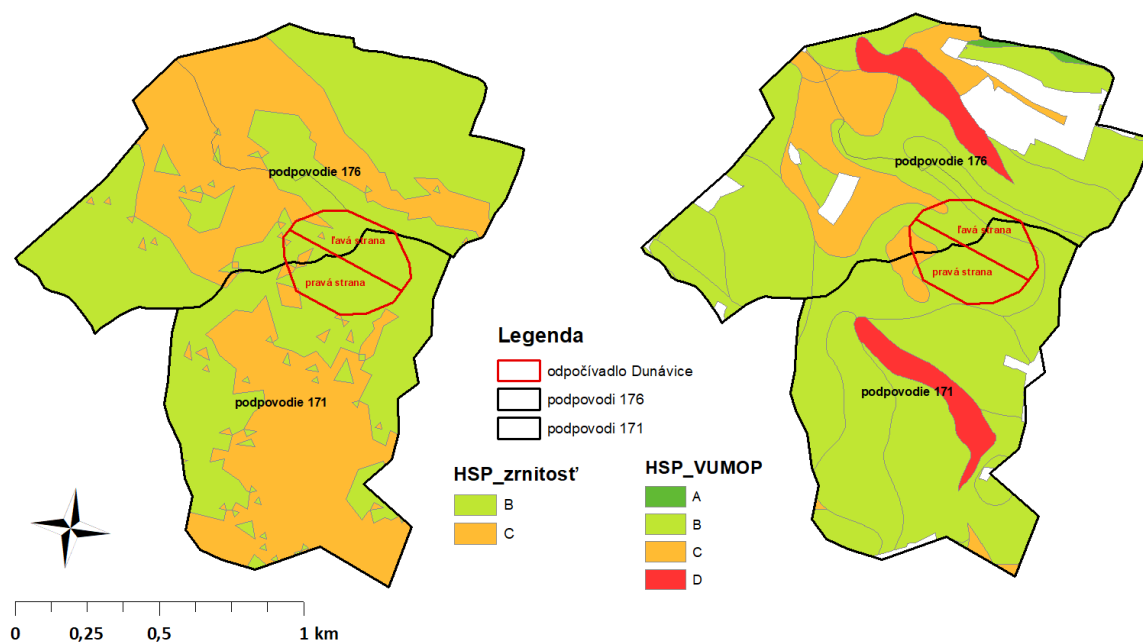
Stanovením hydrologických skupín pôd (HSP) pre poľnohospodársku pôdu sa zaoberala rada autorov napríklad Janeček vo svojej metodike [21], ktorý odvodil HSP na základe údajov o infiltrácii pôdy. Vychádzal z databázy BPEJ, v ktorej je každej hlavnej pôdnej jednotke priradená kategória infiltrácie. HSP podľa Janečkovej metodiky nie je v aktuálnom vydaní a preto pre účely tejto diplomovej práce boli zvolené iné zdroje HSP.

Pre diplomovú prácu bola žiadaná vrstva HSP od VÚMOPu (Výskumný ústav meliorácií a ochrany pôdy), ktorá bola poskytnutá zdarma vo formáte shp. Keďže metóda CN kriviek je využívaná predovšetkým pre poľnohospodársku pôdu, kde sa riešia otázky spojené hlavne s pozemkovými úpravami, tak v tejto vrstve chýbali údaje o hodnotách HSP pre lesnú pôdu, s ktorou pri posudzovaní celých povodí musíme počítať, preto nakoniec tento zdroj použitý nebol.

Ako zdroj pre odvodenie HSP boli použité dostupné triedy zrnitosti podľa USDA (trojuholníkový diagram), kde triedy HSP boli priradené na základe reklasifikácie podľa priloženej tabuľky. Získaná bola výsledná vrstva polygónov, kde každému polygónu patrí príslušná hodnota HSP. Táto vrstva HSP bola následne použitá pre určenie čísel CN kriviek.

HSP	Zrnitostní třída
A	písek
B	písčitá hlína, hlinitý písek
C	jilovitá hlína, prachovitá jilovitá hlína, písčitá jilovitá hlína, hlína, prachovitá hlína, prach
D	jíl, prachovitý jíl, písčitý jíl

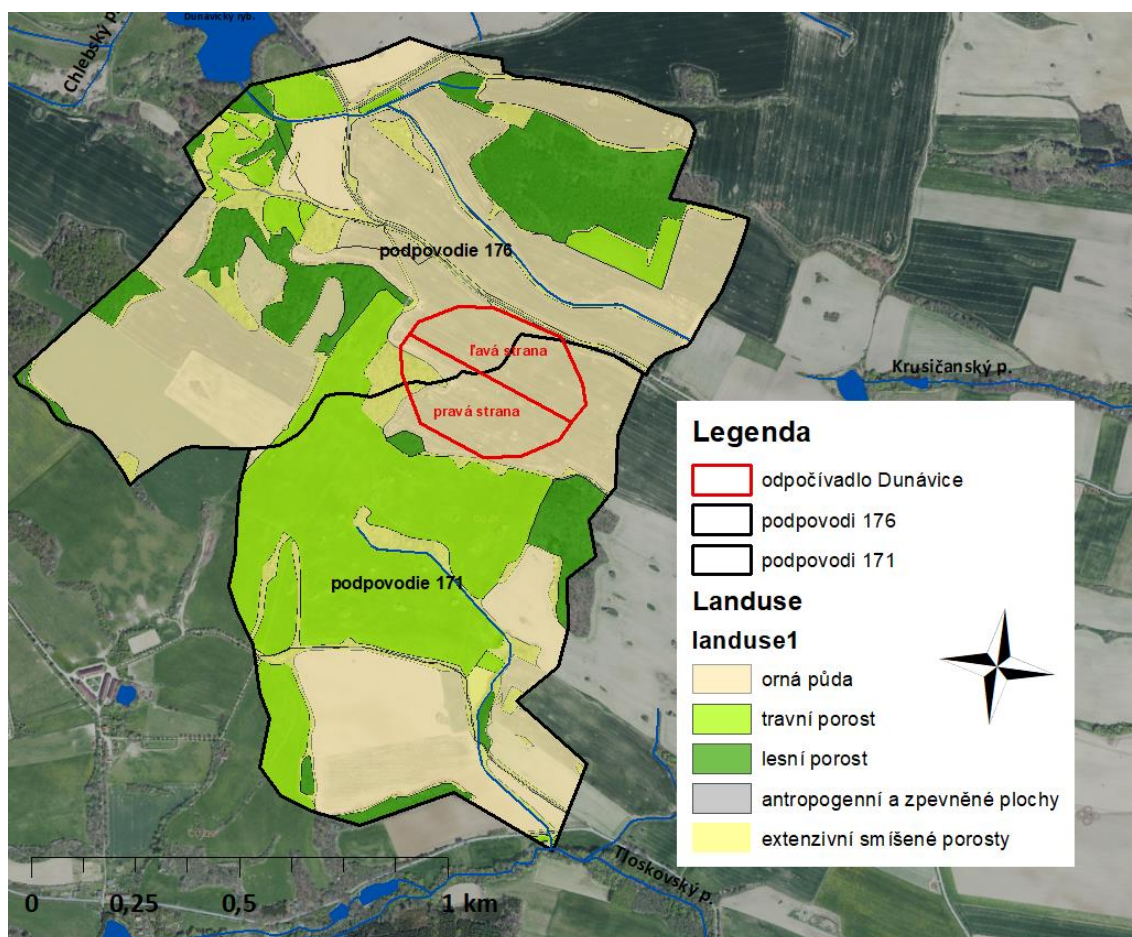
Obr. 24 – Priradenie hydrologických skupín pôd na základe tried zrnitosti podľa USDA (zdroj: LS)



Obr. 25 – Hydrologické skupiny pôd – na ľavej strane HSP podľa zrnitosti a na pravej strane HSP poskytnuté VÚMOPom

8.3.2 Vrstva využitia územia (Landuse)

Dátová vrstva využitia územia (Landuse) bola vytvorená z vrstvy vektorového ZABAGEDu a vrstvy využitia poľnohospodárskej pôdy LPIS (Land Parcel Identification System), čo je geografický informačný systém evidencie využitia poľnohospodárskej pôdy, ktorý bol vytvorený pre účely využívania dotácií prislúchajúcich poľnohospodárskej pôde [36]. Takto zlúčená vrstva bola poskytnutá katedrou Hydromelioráci a krajinného inžinierstva Fakulty stavební ČVUT v Praze.



Obr. 26 – Mapa využitia územia v riešených podpovodiach záujmového územia (podkladová ortofotomapa – zdroj: ČÚZK)

8.3.3 Hodnoty CN kriviek

Pre priradenie hodnôt CN k elementárnym odtokovým plochám bolo potrebné vytvorenie vrstvy, ktorá je prienikom vrstvy využitia územia (Landuse) a vrstvy hydrologických skupín pôd (HSP), ktorých získanie bolo popísané v podkapitole 8.3.1. Výsledná vrstva pre určenie hodnôt CN bola vytvorená v programe ArcGis pomocou nástroja *Intersect*, ktorý prepojí všetky prieniky polygónov vstupných vrstiev. K jednotlivým kombináciám boli následne priradené tabuľkové hodnoty CN podľa normy TR-55 (Urban Hydrology for Small Watersheds) poskytovanej USDA [37]. Pre ornú pôdu sa uvažovali najmenej priaznivé podmienky a to úhor so zbytkami po zbere v dobrých hydrologických podmienkach. Tabuľkové hodnoty CN sa vzťahujú k priemernému vlhkosťnému stavu, ktorý je daný indexom predchádzajúcej zrážky IPS II. Pre maximalizovanie objemu povrchového odtoku boli hodnoty CN II prepočítané (vzorec 6.4) aj pre nasýtený stav daný indexom IPS III. Pre každé čiastkové povodie boli spriemerované hodnoty CN II a CN III, ktoré boli následne prepočítane (vzorec 6.2) na príslušnú maximálnu počiatočnú retenciu.

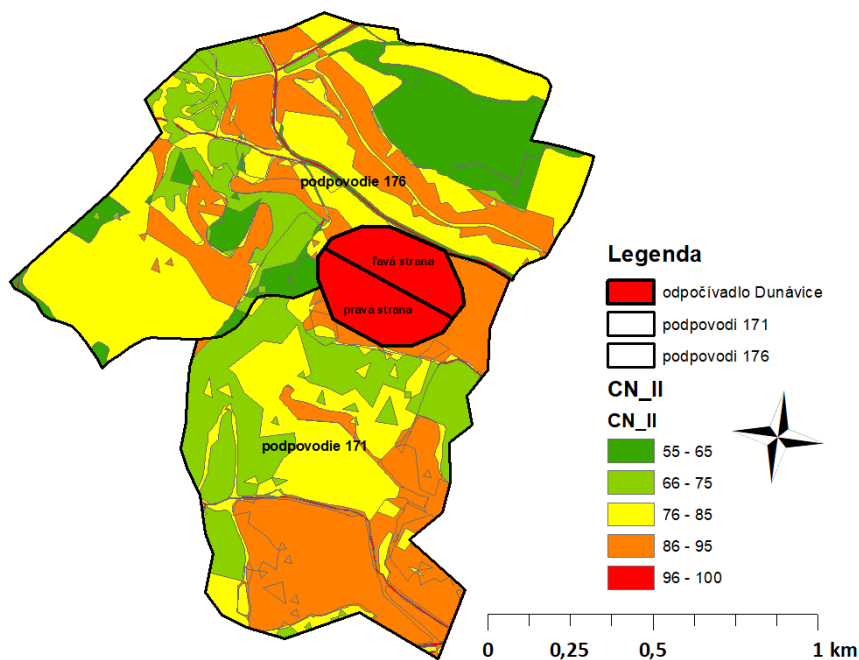
Tabuľka 8 – Zjednodušená tabuľka hodnôt CN II pre jednotlivé kategórie využitia územia a hydrologické skupiny pôd [37]

Využitie územia	A	B	C	D
Orná pôda (úhor/úzko riadkové plodiny)	76/63	83/75	88/83	90/87
Pastviny	49	69	79	84
Lúky	30	58	71	78
Sad extenzívny, sprievodná vegetácia	43	65	76	82
Trvalý trávnatý porast	35	56	70	77
Lesná pôda so stromami	30	55	70	77
Krovinaté porasty	30	48	65	73
Vodné plochy	98	98	98	98
Antropogénne plochy	81	88	91	93
Nepriepustné plochy	98	98	98	98

Tabuľka 9 – Priemerné hodnoty CN kriviek pre jednotlivé čiastkové povodia v súčasnom stave a po výstavbe odpočívadla Dunávice

Povodie	Priemerná hodnota CN krivky	
	pôvodný stav	po výstavbe odpočívadla Dunávice
Povodie 176 (CN II)	77,01	77,55
Povodie 171 (CN III)	83,71	85,69

Rozdiel hodnôt je spôsobený väčším množstvom spevnených plôch výstavbou odpočívadla Dunávice na diaľnici D3 u Týnca nad Sázavou. Čím sú tieto hodnoty CN čísel vyššie, tým je väčšia pravdepodobnosť, že v povodí dôjde k povrchovému odtoku.



Obr. 27 – Výsledná mapa CN kriviek v riešených čiastkových povodiach záujmového územia

8.4 Príprava modelu HEC - HMS

Príprava dát prebiehala v niekoľkých etapách. Najprv bola spracovaná fyzicko - geografická charakteristika v prostredí ArcGis s využitím nadstavby ArcHydro a Hec-GeoHMS. Prvým krokom bolo vytvorenie digitálneho modelu terénu, vytvorenie riečnej siete a určenie uzáverového profilu jednotlivých podpovodií. Tento krok prebehol pred výpočtom objemu odtoku a bude na neho nadväzovať ďalší postup.

Ďalším krokom bol export takto schematizovaného povodia so všetkými atribútmi do programu HEC-HMS. V ďalšom kroku bol vytvorený meteorologický model vychádzajúci z reálnych zrážkových dát. Pre takto vytvorené podpovodia bolo potrebné jednotlivým prvkom zadefinovať výpočtové metódy zrážkovo – odtokového procesu.

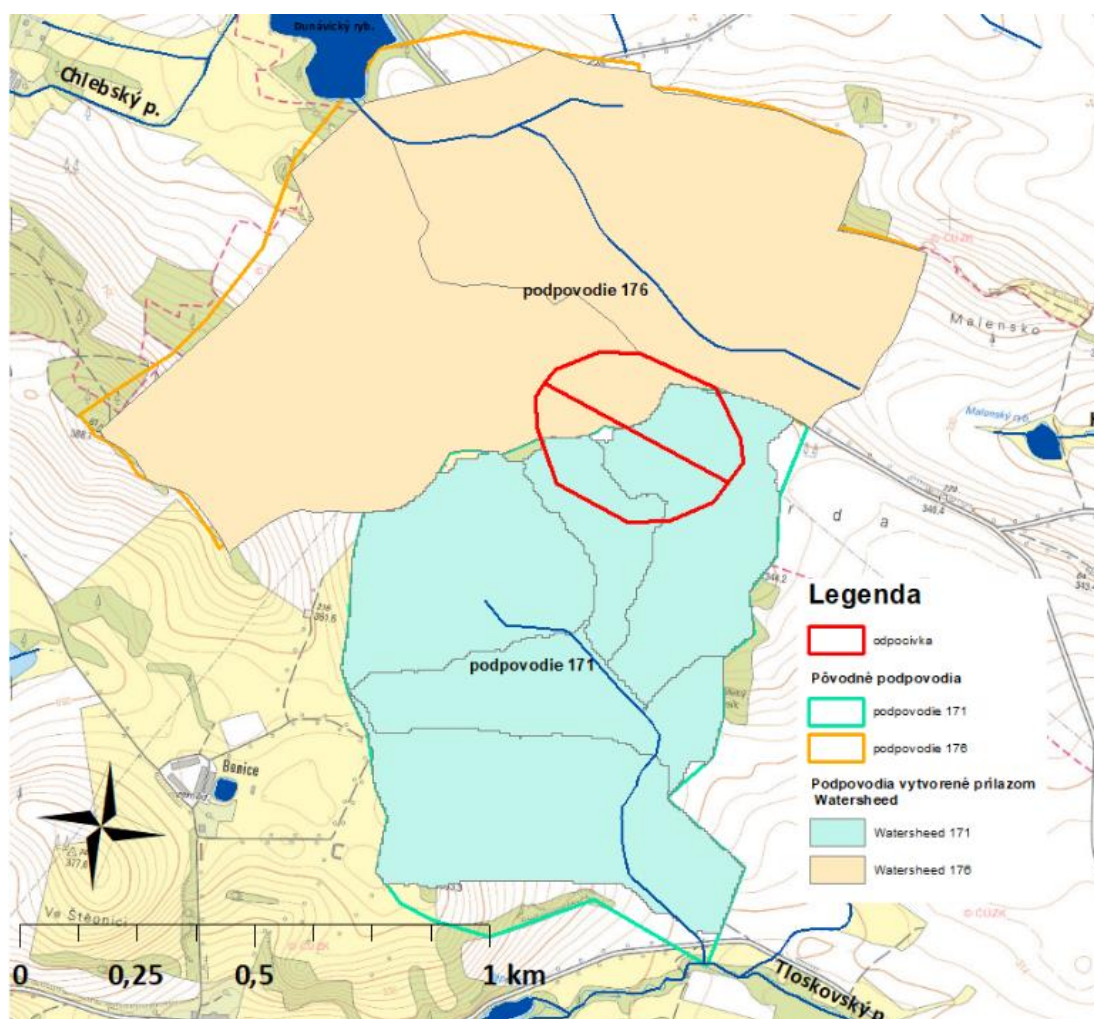
8.4.1 Tvorba riečnej siete a čiastkových povodií v ArcHydro

Riečna sieť a čiastkové povodia boli vytvorené pomocou nadstavbového nástroja ArcHydro na základe digitálneho modelu terénu, ktorý bolo potrebné upraviť nástrojom *Fill Sink*. Tento nástroj vyplní bezodtokové depresie terénu. Následne bola určená akumulácia vody (*Flow accumulation*), kde sa každému pixelu priradila hodnota množstva vody, ktorá do neho prichádza z okolitých pixelov na základe smeru odtoku (*Flow direction*). Potom bolo prevedená definícia tokov (*Stream definition*), na základe ktorej sa povodia rozčlenia na menšie

podpovodia. Takto vytvoreným čiastkovým povodiam bol pomocou funkcie *Stream segmentation* vytvorený grid jednotlivých úsekov riečnej siete, kde každý pixel prislúchajúci danému úseku mal rovnakú hodnotu a boli určené sýtoky, ktoré oddeľovali jednotlivé úseky. Jednotlivým úsekom bolo potrebné pomocou funkcie *Catchment grid delineation* priradiť konkrétne čiastkové podpovodie. Táto funkcia vytvorí grid, kde každý pixel patrí práve jednému čiastkovému subpovodiu a je zhodný s hodnotou príslušného riečneho úseku. Ďalej nasledovalo použitie troch funkcií: *Catchment Polygon Processing*, *Drainage Line Processing* a *Adjoint Catchment Processing*, ktoré konvertujú vytvorené rastrové vrstvy do vektorového formátu. Čiastkové subpovodia boli prevedené na polygóny respektíve rozvodnice a riečne úseky na línie vodných tokov.

ArcHydro tools ešte ponúkajú rozsiahle možnosti pre ďalšiu prácu s povodím a jednotlivými čiastkovými subpovodiami. Pomocou *Batch Point Generation* bol vytvorený uzáverový profil celého povodia. Potom bolo príkazom *Batch Watershed Delineation* vygenerované celistvé povodie *Watershed* a k nemu vzťahnutý záverový profil *WatershedPoint*.

Povodie *Watershed* vygenerované na základe predchádzajúceho popisu má inú rozlohu v porovnaní s pôvodným povodím získaným z databázy DIBAVOD [34] a približne zmenšeným podľa vrstevníc k uzáverovému profilu. Rozdiel týchto povodí je znázornený na nasledujúcom obrázku.



Obr. 28 – Porovnanie pôvodných čiastkových povodí a vygenerovaných príkazom Watersheed

8.4.2 Výpočet charakteristík povodí v HEC-GeoHMS

Nástroj HEC-GeoHMS nám umožňuje nielen získanie potrebných informácií o charakteru povodia z priestorových dát, ale aj vytvorenie schematizovaného povodia, ktoré bude následne importované do modelu HEC – HMS.

Pomocou nástroja *Add Project Points* sa určil záverový profil, ktorý musí byť totožný s predchádzajúcimi bodmi *BatchPoints* a *WatershedPoint*. Následne bol spustený príkaz *Generate Project*, ktorým bola vytvorená nová zložka s názvom projektu, do ktorej sa skopírovali všetky rastrové a vektorové dáta. Po vytvorení modelu povodia a riečnej siete sa mohlo prísť k výpočtu potrebných charakteristík povodia. Na to bolo využité menu *Basin Characteristics*, v ktorom sa nachádzajú všetky potrebné nástroje. Vypočítaná bola dĺžka a sklon vodných tokov, priemerný sklon jednotlivých čiastkových subpovodí, dĺžka a sklon maximálnej dĺžky toku (najdlhšia údolnica povodia) zistená nástrojom *Longest Flow Path*. Metódou „Basin Centroid“ bolo určené ťažisko povodia podľa dvoch rôznych metód (*Center*

of Gravity Method a Longest Flow Path Method). Pre každé ťažisko bola funkciou *Centroid Elevation* zistená nadmorská výška a vďaka metóde *Centroidal Longest Flow Path* vypočítaná dĺžka toku z priemetu ťažiska povodia na hlavný tok k uzáverovému profilu.

Všetky charakteristiky boli automaticky zapísané do atribútovej tabuľky jednotlivých novo vytvorených vektorových vrstiev. V HecGeo-HMS taktiež môžeme špecifikovať modely, ktoré budú použité v HEC-HMS. Tieto nastavenia je možné ešte v programe HEC - HMS meniť.

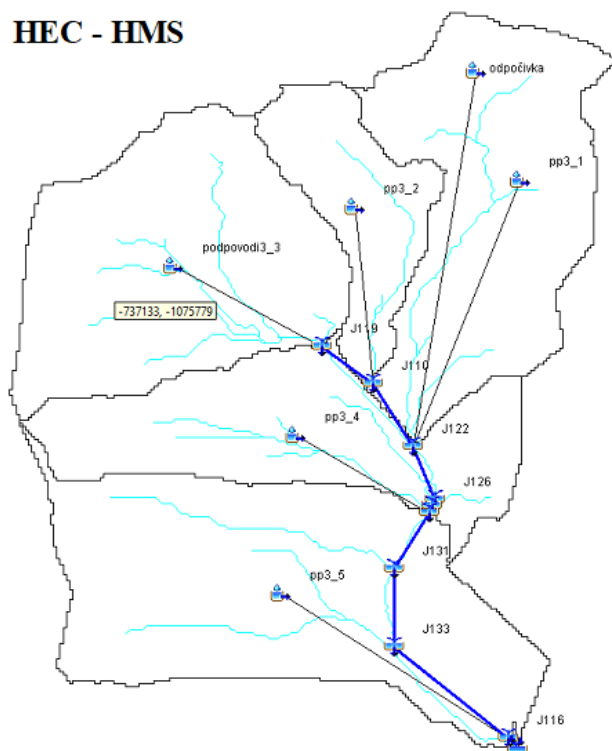
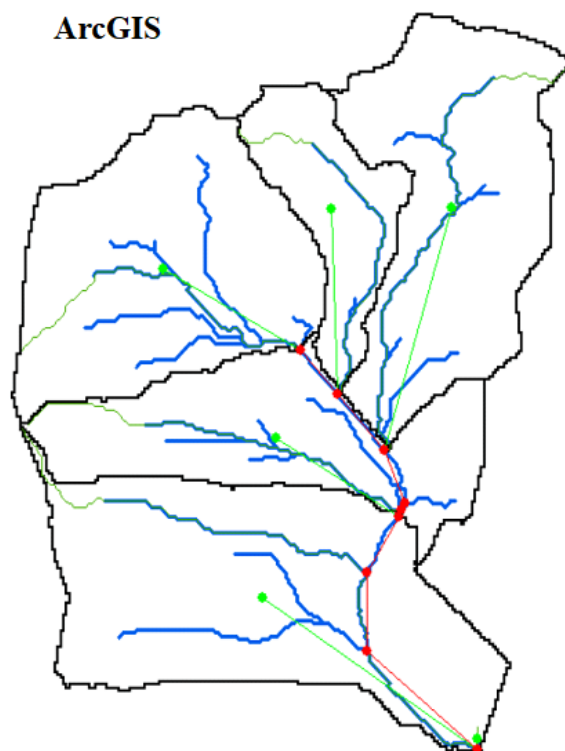
8.4.3 Export hydrologického modelu

V prostredí ArcGis v nadstavbe HecGeo-HMS v *HMS menu* je súbor nástrojov na exportovanie dát do programu HEC-HMS. Ako prvé bolo potrebné nastaviť jednotky SI a skontrolovať výsledný zostavený model pomocou nástroja *Check data*. Táto kontrola slúži na odhalenie chýb v topológii, ktorej výsledok je zapísaný do textového súboru. Pokiaľ nie sú nájdené žiadne chyby, je možné prejsť na vytvorenie schematizovaného povodia.

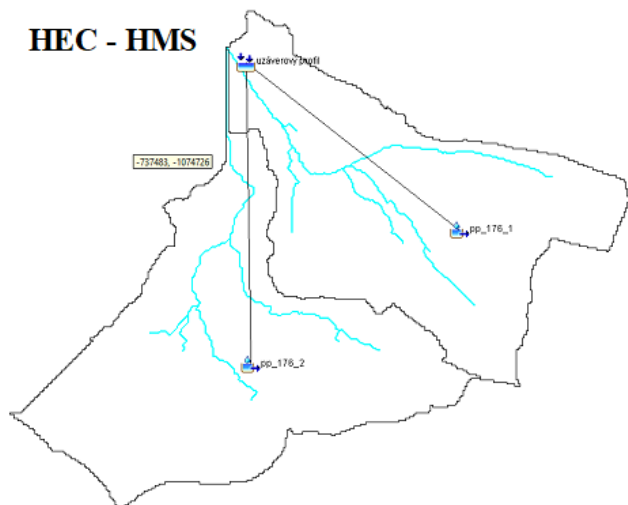
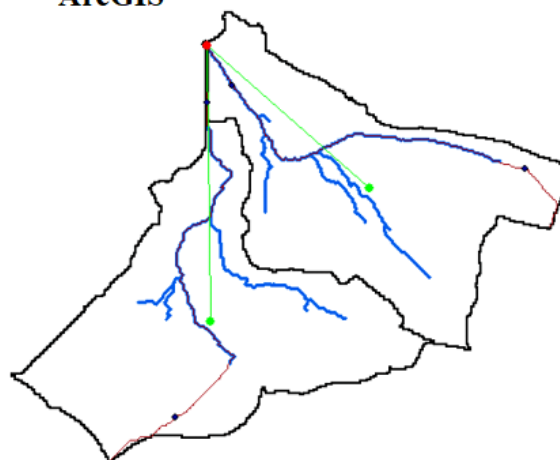
Schematizované povodie bolo vytvorené príkazom *HMS Schematic*. Týmto nástrojom je na základe čiastkových subpovodí, riečnej siete, ťažiska a uzáverového profilu zostavená sieť so základnými prvkami ako ťažisko povodia, sútoky a úseky tokov. Následne bolo potrebné priradenie priestorových súradníc pomocou *Add Coordinates*. Poslednými a nevyhnutnými krokmi pred exportom modelu bola príprava dát (*Prepare data for model export*) a vytvorenie ďalšieho textového súboru schematizovaného hydrologického modelu vo formáte HMS povodi_3.basin (*Basin model file*). Následne bol model exportovaný (*Create HEC – HMS project*) a pripravený na vloženie do programu HEC – HMS.

8.5 Priebeh modelovania v programe HEC – HMS

Prvý krok bol import vytvorených predpripravených scematizovaných čiastkových povodí 171 a 176 z programu ArcGis, s geometriou riečnej siete. Následne bolo potrebné doplniť vstupné údaje do štyroch už spomínaných komponentov: Basin model, Meteorologic model, Data Time Series a Control Specification a jednotlivým prvkom nadefinovať výpočtové metódy pre jednotlivé časti zrážkovo – odtokového procesu. Tieto definície už boli pripravené v prostredí ArcGis a v modele HEC – HMS im bolo potrebné zadať vstupné parametre.

HEC - HMS**ArcGIS**

Obr. 29 – Porovnanie schematizácie čiastkového povodia 171 v programe HEC – HMS a v programe ArcGis

HEC - HMS**ArcGIS**

Obr. 30 – Porovnanie schematizácie čiastkového povodia 176 v programe HEC – HMS a v programe ArcGis

Pomocou *Time-Series Data Manager* boli zadané časové rady návrhových zrážok pre obe čiastkové povodia 171 a 176. Všetky modely povodí boli zaťažené šesťhodinovými návrhovými úhrňmi s dobou opakovania $N = 2, 5, 20, 50$ a 100 rokov, a to v najpravdepodobnejšom hyetograme vyskytujúcom sa v danom povodí k príslušnej dobe opakovania. Návrhové úhrny boli určené pre obe čiastkové povodia zvlášť, ale boli zhodné pre všetky čiastkové podpovodia daného povodia. Na spracovanie zrážok bola vybraná metóda

Specified Hyetograph. Evapotranspirácia bola zanedbaná. Ďalej nasledovalo prepojenie meteorologického modelu s modelom povodia, na ktoré bolo možné nadviazať zadané časové rady a vytvorenie kontrolnej špecifikácie (*Control Specification*) pre každú zrážkovú udalosť, kde bol nastavený čas simulácie na 12 hodín, aby bol zachytený aj objem povrchového odtoku, ktorý do uzáverového profilu dotečie aj po odznení návrhovej zrážky.

Pre výpočet priameho odtoku, ako transformačná funkcia zrážok na odtok bol zvolený jednotkový hydrogram (UH). HEC – HMS ponúka niekoľko typov jednotkových hydrogramov, vybraný bol najčastejšie používaný Clarkov jednotkový hydrogram, ktorý je odvodený tak, že jasne reprezentuje dva hlavné procesy v transformácii efektívnej zrážky na odtok. Je to prenos zrážky z miesta vzniku do uzáverového profilu a zníženie veľkosti prietoku pri rozložení efektívnej zrážky na celé povodie. Do samotného výpočtu vstupujú dva parametre a to doba koncentrácie T_c (time of concentration) a retenčná konštanta R_c (storage coefficient).

Výpočet doby koncentrácie vychádza z doby oneskorenia (lag time), čo predstavuje časový posun v hodinách medzi výskytom maxima príčinné zrážky a výskytom kulminačného prietoku v príslušnom uzáverovom profile čiastkového povodia.

Hodnota maximálnej dĺžky toku v povodí odpovedá maximálnej dĺžke údolnice, ktorá bola odmeraná prostredníctvom programu ArcGis a využitím nástrojov ArcHydro tools. Údolnice predstavujú vzdialenosť, ktorú musí voda prejsť z najvzdialenejšieho bodu povodia až k uzáverovému profilu. Podobným princípom s využitím ArcHydro tools bol stanovený aj priemerný sklon povodia pozdĺž maximálnej dĺžky toku v úseku medzi 10% - 85% dĺžky S_{1085} (ft/mi).

Tabuľka 10 – Výsledné hodnoty parametrov vstupujúcich do programu HEC – HMS pre Clarkov jednotkový hydrogram a metódu SCS - CN pre čiastkové povodie 171

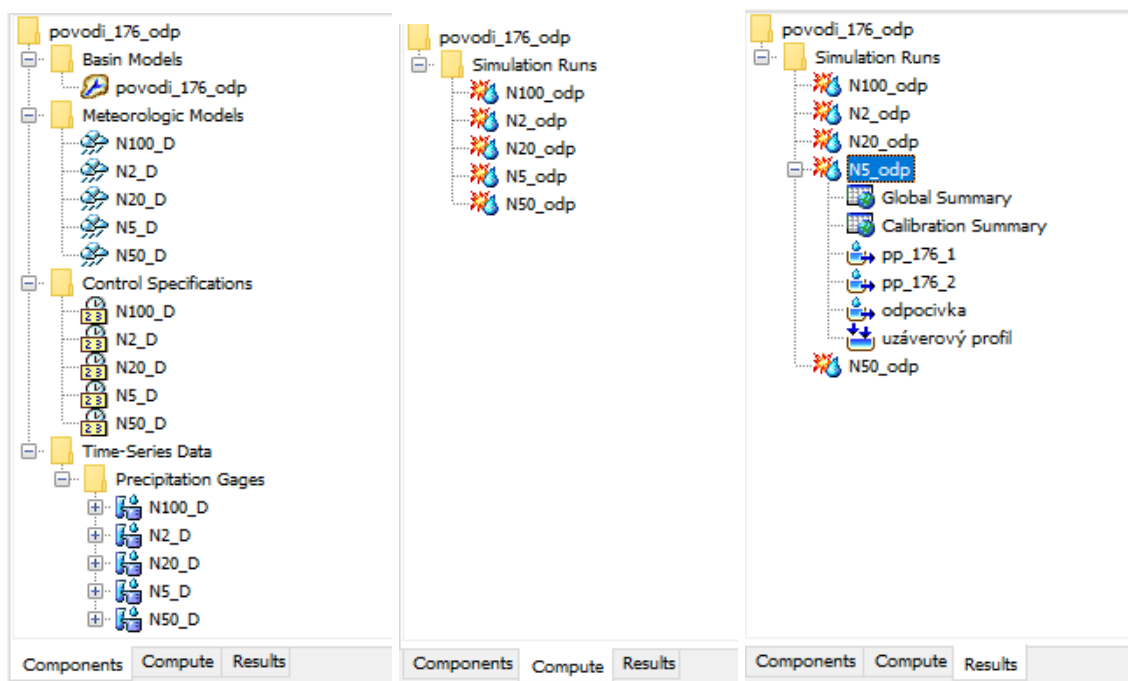
Povodie 171	pp171_1	p171_2	pp171_3	pp171_4	pp171_5	
plocha (km²)	0,169	0,065	0,179	0,130	0,228	0,770
sklon (%)	3,355	3,357	3,398	3,306	3,299	
CN (-)	87,05	85,82	79,85	83,81	90,31	85,69
A (mm)	37,79	41,97	64,10	49,07	27,25	42,41
A (in)	1,49	1,65	2,52	1,93	1,07	
L (m)	927,47	648,30	631,23	733,63	1157,68	
L (ft)	3042,90	2126,98	2070,97	2406,91	3798,17	
L (mi)	0,576	0,403	0,392	0,456	0,719	
S₁₀₈₅ (ft/mi)	102,54	148,66	213,79	252,08	245,43	
Tlag (h)	0,333	0,261	0,310	0,312	0,353	

Povodie 171	pp171_1	p171_2	pp171_3	pp171_4	pp171_5	
Tc (h)	0,556	0,436	0,518	0,521	0,589	
Rc	1,708	1,127	0,838	0,775	0,925	

Tabuľka 11 – Výsledné hodnoty parametrov vstupujúcich do programu HEC – HMS pre Clarkov jednotkový hydrogram a metódu SCS - CN pre čiastkové povodie 176

Povodie 176	pp176_1	pp176_2	
plocha (km2)	0,552	0,504	1,056
sklon (%)	3,333	3,406	
CN (-)	76,04	78,07	77,01
A (mm)	80,03	71,35	75,83
A (in)	3,15	2,81	
L (m)	1447,46	1638,45	
L (ft)	4748,88	5375,49	
L (mi)	0,899	1,018	
S₁₀₈₅ (ft/mi)	80,201	125,333	
Tlag (h)	0,682	0,701	
Tc (h)	1,139	1,171	
Rc	2,416	1,771	

Vypočítané doby koncentrácie T_c (Time of Concentration), retenčnej konštanty R_c (Storage Coefficient), plochy povodí a získané priemerné hodnoty CN kriviek boli v nastaveniach pre povodie (Basin model) priradené každému čiastkovému podpovodiu. Ako posledný krok bolo potrebné vytvoriť simuláciu modelu (*Create compute*) pre každú zo zadaných časových rad, v ktorej bol následne samotný model spustený.



Obr. 31 – Základné komponenty vstupujúce do modelu v programe HEC - HMS

8.5.1 Modelovanie priameho odtoku z odpočívadla Dunávice

Aby bolo možné navrhnuť retenčnú a vsakovaciu nádrž na zachytenie zvýšeného množstva zrážkovej vody vzniknutého výstavbou odpočívadla Dunávice, bolo potrebné stanoviť veľkosť priameho odtoku zo spevnenej plochy odpočívadla. Tento výpočet taktiež prebehol v programe HEC – HMS, kde do vzniknutého modelu čiastkového povodia 171 bolo vložené nové čiastkové podpovodie, ktoré reprezentovalo pravú stranu odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov s rozlohou 3 ha. Tento postup bol uskutočnený aj pre model čiastkového povodia 176 pre získanie objemu a hydrogramu povrchového odtoku z ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov taktiež s rozlohou 3 ha.

Následne boli čiastkové podpovodia, v ktorých sa nachádzajú jednotlivé strany odpočívadla Dunávice, podpovodie pp171_1 respektíve pp176_2 zmenšené o 0,03km², čo je parkovacia plocha každej strany odpočívadla Dunávice. Pre zmenšené čiastkové podpovodia zostali vstupné hodnoty pre modelovanie povrchového odtoku nezmenené a pre podpovodia reprezentujúce jednotlivé strany odpočívadla Dunávice boli zadané nové vstupné dáta do modelu Clarkovho jednotkového hydrogramu a pre metódu SCS CN. Tabuľkové hodnoty pre nespevnené plochy udávajú hodnotu čísla CN = 98. Táto hodnota bola v prípade odpočívadla Dunávice znížená na číslo CN = 96 z dôvodu, že samotné odpočívadlo bude obsahovať aj odpočinkové zóny so zelenými plochami, ktoré umožňujú prirodzené vsakovanie určitého množstva vody zo zrážok.

9. Výstupné údaje z programu HEC - HMS

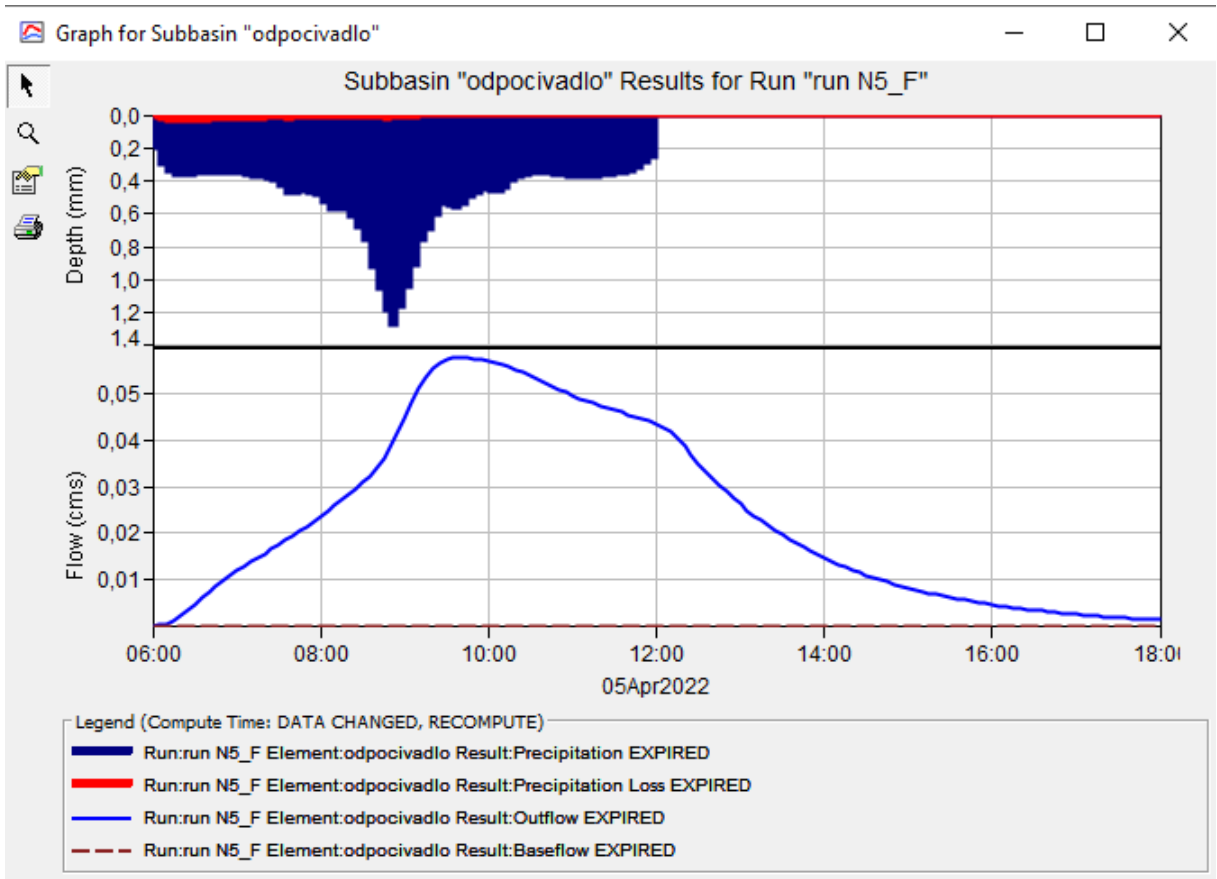
Pre stanovenie objemu priameho odtoku z odpočívadla Dunávice a jeho okolia bola v modelovaní v programe HEC – HMS použitá metóda SCN – CN (SCS Curve Number). Pre určenie hodnôt priameho odtoku bola použitá vyššie uvedená metóda Clarkovho jednotkového hydrogramu, ktorá transformuje hodnoty efektívne zrážky na výsledný odtok. Pred uskutočnením výpočtu boli do modelu vložené vstupné údaje o charakteristikách územia, ktoré sú uvedené v Tabuľke 10 a Tabuľke 11 v predchádzajúcej kapitole.

Nasledujúce tabuľky udávajú hodnoty výšky povrchového odtoku, objemu povrchového odtoku a hodnoty kulminačných prietokov s časom kulminácie pre zrážky s rôznou dobou opakovania v uzáverovom profile každého čiastkového povodia. Uzáverový profil pre čiastkové povodie 171 je umiestnený do sútok melioračného kanála a Tloskovského potoka, a pre čiastkové povodie 176 je uzáverovým profilom nátok melioračného kanála do Dunávického rybníka. Modelovanie odtoku prebehlo pre dva rôzne scenáre, a to pre čiastkové povodia v pôvodnom stave (pred výstavbou odpočívadla) a následne aj pre tie isté čiastkové povodia s uvažovaním navrhutej konkrétnej strany odpočívadla Dunávice.

Tabuľka 12 – Výsledky výpočtov vystupujúcich z modelu HEC – HMS pre čiastkové povodie 171

Povodie 171 (pravá strana odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov)				
	<i>doba opakovania návrhovej zrážky</i>	<i>pôvodný stav</i>	<i>po výstavbe odpočívadla</i>	<i>odpočívadlo Dunávice</i>
plocha (km²)		0,77	0,71	0,03
CN III (-)		85,69	86,50	96,00
Výška priameho odtoku (mm)	N = 2 rokov	5,74	6,53	26,05
	N = 5 rokov	10,70	11,63	34,58
	N = 20 rokov	18,83	19,90	46,43
	N = 50 rokov	24,78	25,93	54,31
	N = 100 rokov	29,67	30,87	60,49
Objem priameho odtoku (1000 m³)	N = 2 rokov	4,428	5,035	0,781
	N = 5 rokov	8,255	8,967	1,038
	N = 20 rokov	14,519	15,345	1,393
	N = 50 rokov	19,105	19,989	1,629
	N = 100 rokov	22,878	23,800	1,815

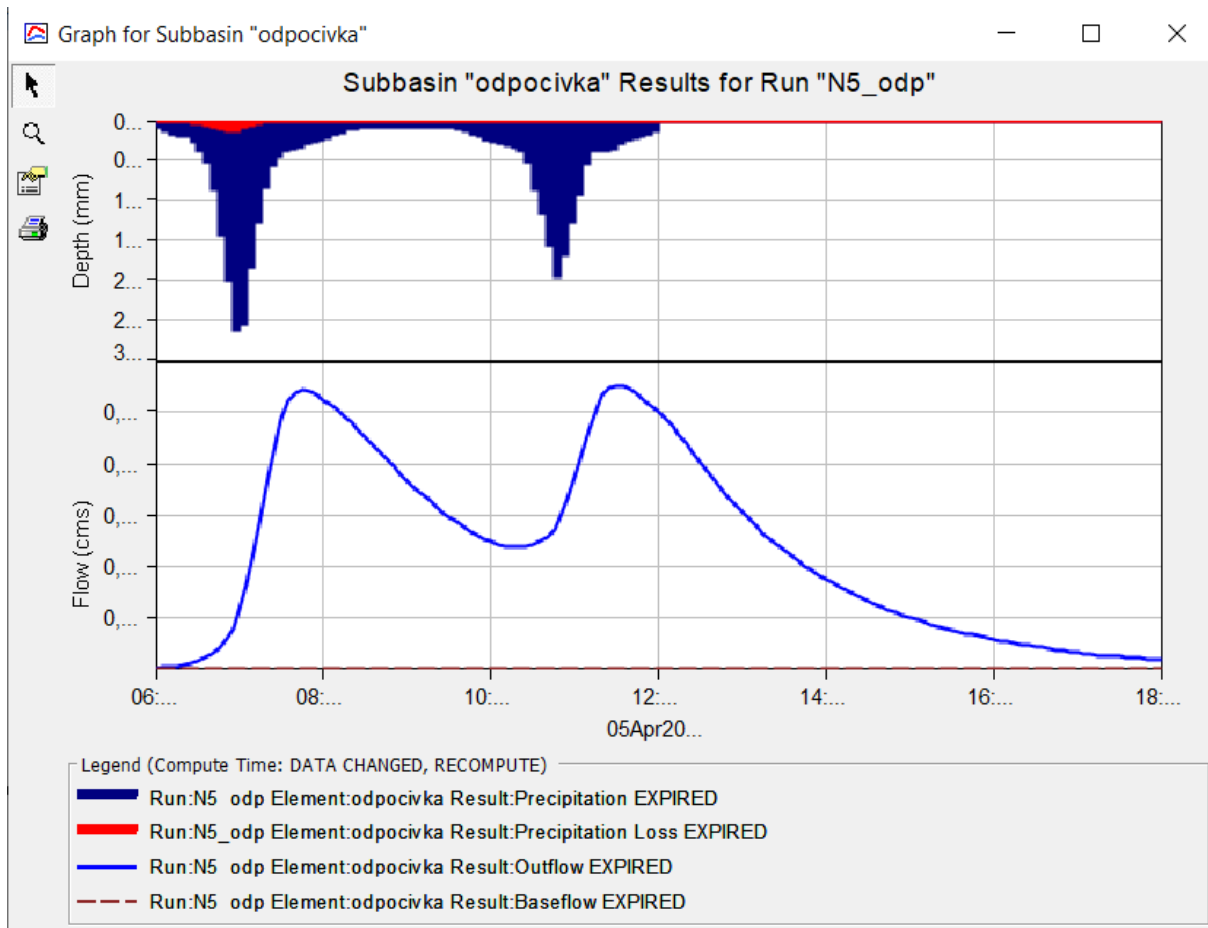
Povodie 171 (pravá strana odpočívadla Dunávica v smere z Prahy na Benešov)				
	<i>doba opakovania návrhovej zrážky</i>	<i>pôvodný stav</i>	<i>po výstavbe odpočívadla</i>	<i>odpočívadlo Dunávica</i>
Maximálny prietok (m3/s)	N = 2 rokov	0,324	0,345	0,044
	T ₂ (min)	360	360	220
	N = 5 rokov	0,566	0,602	0,058
	T₅ (min)	275	270	220
	N = 20 rokov	1,005	1,048	0,078
	T ₂₀ (min)	260	255	220
	N = 50 rokov	1,331	1,379	0,091
	T ₅₀ (min)	250	250	220
	N = 100 rokov	1,601	1,652	0,101
	T ₁₀₀ (min)	245	245	220



Obr. 32 – Rozloženie efektívnej zrážky a hydrogram priameho odtoku z pravej strany odpočívadla Dunávica v smere z Prahy na Benešov pre návrhovú zrážku s dobou opakovania N = 5 rokov

Tabuľka 13 – Výsledky výpočtov vystupujúcich z modelu HEC – HMS pre čiastkové povodie 176

Povodie 176 (Ľavá strana odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov)				
	<i>doba opakovania návrhovej zrážky</i>	<i>pôvodný stav</i>	<i>po výstavbe odpočívadla</i>	<i>odpočívadlo Dunávice</i>
plocha (km²)		1,056	1,026	0,03
CN II (-)		77,01	77,55	96,00
Výška priameho odtoku (mm)	N = 2 rokov	1,80	2,48	26,50
	N = 5 rokov	4,54	5,37	34,68
	N = 20 rokov	9,72	10,78	46,53
	N = 50 rokov	14,02	15,12	54,50
	N = 100 rokov	17,69	18,86	60,79
Objem priameho odtoku (1000 m³)	N = 2 rokov	1,903	2,619	0,787
	N = 5 rokov	4,792	5,676	1,041
	N = 20 rokov	10,263	11,384	1,396
	N = 50 rokov	14,801	15,972	1,635
	N = 100 rokov	18,676	19,919	1,824
Maximálny prietok (m³/s)	N = 2 rokov	0,161	0,191	0,042
	T ₂ (min)	375	370	330
	N = 5 rokov	0,394	0,429	0,055
	T₅ (min)	370	365	330
	N = 20 rokov	0,793	0,836	0,074
	T ₂₀ (min)	365	365	3301
	N = 50 rokov	1,103	1,144	0,087
	T ₅₀ (min)	365	365	330
	N = 100 rokov	1,360	1,401	0,097
T ₁₀₀ (min)	365	360	330	



Obr. 33 – Rozloženie efektívnej zrážky a hydrogram priameho odtoku z ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov pre návrhovú zrážku s dobou opakovania $N = 5$ rokov

10. Návrh prvkov pre zadržanie a vsakovanie zrážkovej vody z odpočívadla Dunávice

V teoretickej časti tejto diplomovej práce bolo popísané, ako je potrebné nakladať so zvýšeným množstvom dažďových vôd vznikajúcich v povodí. V rámci uvažovaných možných riešení bude jedna z variant zameraná na zadržiavanie vody v krajine výstavbou retenčnej nádrže priamo na ploche pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov, z ktorej bude voda odvádzaná do melioračného kanála ústiaceho do Tloskovského potoka. Ako druhý variant nakladania so zrážkovými vodami bude navrhnutá vsakovacia nádrž pozdĺž ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov, kde na základe druhu pôd a ich hydrologickej skupiny (HSP), bolo záujmové územie posúdené ako územie s dobrými hydrogeologickými podmienkami, čím je umožnené vsakovanie zrážkových vôd. Avšak je nutné poznamenať, že pre konkrétny návrh vsakovacieho zariadenia, prípadne v ďalšom stupni spracovania projektovej dokumentácie, je potrebné tieto hydrogeologické podmienky potvrdiť hydrogeologickým prieskumom, ktorý pre účely tejto diplomovej práce nebol k dispozícii.

Táto kapitola sa bude venovať konkrétnym prvkom, ktoré budú navrhnuté pre zníženie negatívnych dopadov výstavby plánovaného odpočívadla Dunávice. Celá diplomová práca je zameraná na možné riešenia odvádzania zrážkovej vody z odpočívadla Dunávice pre návrhovú zrážku a preto prvky, ktoré budú navrhnuté, budú slúžiť na zadržanie dažďovej vody v krajine a následné odvedenie do vhodného recipientu v prípade pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov, alebo budú zachytávané a následne vsakované vo vsakovacej nádrži umiestnenej v blízkosti ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov. Keďže sa jedná o dažďovú vodu z diaľničného odpočívadla, kde sa predpokladá zvýšené množstvo znečisťujúcich, najmä ropných látok, tak tieto prvky budú navrhnuté v kombinácii s predčistiacim zariadením. Nutné je avšak zdôrazniť, že táto diplomová práca je zameraná prioritne na odvádzanie zrážkových vôd z odpočívadla Dunávice a preto sa v návrhu neuvažuje so zrážkovými vodami z priľahlých úsekov diaľnice D3.

Podľa technických podmienok *Odvodnění pozemních komunikaci* (TP 83) [2] sa retenčné nádrže mimo zastavané územie navrhujú na zrážku s dobou opakovania $N = 2$ roky s nutnosťou dokázať, že nedôjde k negatívne ovplyvneniu cieľového recipientu a v intraviláne na zrážku s dobou opakovania $N = 5$ rokov. Pre retenčnú nádrž navrhnutú na zadržanie odtoku z pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov bola zvolená návrhová zrážka

s dobou opakovania $N = 5$ rokov a to hlavne z dôvodu bezpečnosti obce Chrást'any, ktorou následne preteká cieľový recipient Tloskovský potok. Avšak pri navrhovaní retenčnej nádrže repsektíve vsakovacej nádrže je nutné preveriť, aká situácia nastane pri prekročení návrhového prítoku do nádrže, a s akou účinnosťou bude nádrž plniť retenčný účinok pri prechode zrážkových udalostí s inou dobou opakovania. Vsakovacie zariadenie na ľavej strane odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov bude navrhnuté na zrážku s dobou opakovania $N = 5$ rokov ($p = 0,2 \text{ rok}^{-1}$), čo je paušálna hodnota uvedená v ČSN 75 9010 *Vsakovací zařízení srážkových vod [8]*.

10.1 Predčistiace zariadenia – dažďové usadzovacie nádrže (DUN)

Vzhľadom na charakter navrhovaného odpočívadla Dunávice, ktoré má kapacitu až 150 parkovacích miest v každom smere, je uvažované s miernym až vysokým znečistením odvádzaných zrážkových vôd. V prípade, že by zrážkové vody neboli predčistené, nemuseli by byť garantované požadované imisné limity v recipiente po zmiešaní s vypúšťanou zrážkovou vodou.

Pred vyústením odvodňovacích zariadení do retenčnej nádrže na pravej strane odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov a do vsakovacej nádrže pre odvodnenie ľavej strany odpočívadla Dunávice, sú navrhnuté dažďové usadzovacie nádrže, ktoré slúžia na zachytenie nerozpustných látok a pre prípad úniku ropných látok pri havarijnom znečistení sú navrhnuté s odlučovačom ropných látok. V nádrži bude osadený samočinný uzáver, ktorý pri maximálnom nahromadení odlúčených ropných látok alebo pri havárii uzavrie prietok a tým ochráni recipient pred vtokom znečistenej zrážkovej vody.

Predmetom tejto diplomovej práce nebol konkrétny technický návrh dažďových usadzovacích nádrží, ale tieto DUN musia byť zaradené v problematike komplexného riešenia zrážkových vôd z nespevnených plôch, u ktorých sa predpokladá znečistenie. Nádrže musia byť navrhnuté v súlade s ČSN 75 6551 *Odvádění a čištění odpadních vod s obsahem ropných látek*

10.2 Odvodnenie pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov

Zrážková voda z pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov je zachytávaná uličnými vpustmi umiestnenými v priestore odpočívadla a odvádzaná sieťou

dažďovej kanalizácie do dažďovej usadzovacej nádrže. Táto DUN slúži na predčistenie zrážkových vôd a jej funkcia je už bližšie popísaná v predchádzajúcej kapitole 10.1. Odtok z tejto dažďovej usadzovacej nádrže je zaústený do retenčnej nádrže, z ktorej je voda odvádzaná odtokovým potrubím do melioračného kanála ústiaceho do Tloskovského potoka.

Retenčná nádrž je navrhnutá ako otvorená nádrž rybníčného typu s funkciou suchého poldru s odtokom pomocou spodného výpustu a následne odtokovým potrubím do melioračného kanála ústiaceho do Tloskovského potoka. Nádrž bude umiestnená priamo na ploche pravej strany odpočívadla Dunávice a bude súčasťou odpočinkovej zóny. Takéto umiestnenie vytvorí aj prírode blízky krajinný prvok, ktorý bude prispievať k zachovaniu krajiny. Umiestnenie retenčnej nádrže je zakreslené v priloženej situácii (Príloha 1).

10.2.1 Dimenzovanie retenčnej nádrže

Úlohou nadimenzovania retenčnej nádrže bolo stanoviť potrebný retenčný objem, ktorý bude dostatočný na zachytenie takého objemu povodňovej vlny, aby neboli ovplyvnené hydraulické podmienky v Tloskovskom potoku. Retenčný priestor nádrže slúži na vyrovnávanie nerovnomernosti medzi prítokom dažďovej vody z pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov a odtokom vody do melioračného kanála ústiaceho do Tloskovského potoka. Tento retenčný priestor je dimenzovaný na základe priebehu príčinných zrážok pretransformovaných na hydrogram odtoku v čase, ktorý vzišiel zo simulačného modelovania v programe HEC – HMS. Modelovanie prebehlo s návrhovou zrážkou s dobou opakovania $N = 5$ rokov vo variante hyetogramu F s dobou trvania zrážky v intervale 5 minút. Retenčný objem bol stanovený na základe bilancie prítoku do retenčnej nádrže z pravej strany odpočívadla Dunávice a maximálneho možného odtoku z nádrže, ktorý bol získaný bilanciou kulminačných prietokov zo 6 – hodinovej návrhovej zrážky s dobou opakovania $N = 5$ rokov, taktiež získaných simulačným modelovaním v programe HEC – HMS, pre stav v čiastkovom povodí 171 pred výstavbou odpočívadla Dunávice a následne s uvažovaním spevnenej plochy pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov.

Tabuľka 14 – Maximálne možné odtoky z nádrže, aby boli zachované hydraulické podmienky v Tloskovskom potoku pri trvaní 6-hodinovej zrážkovej udalosti v čiastkovom povodí 171

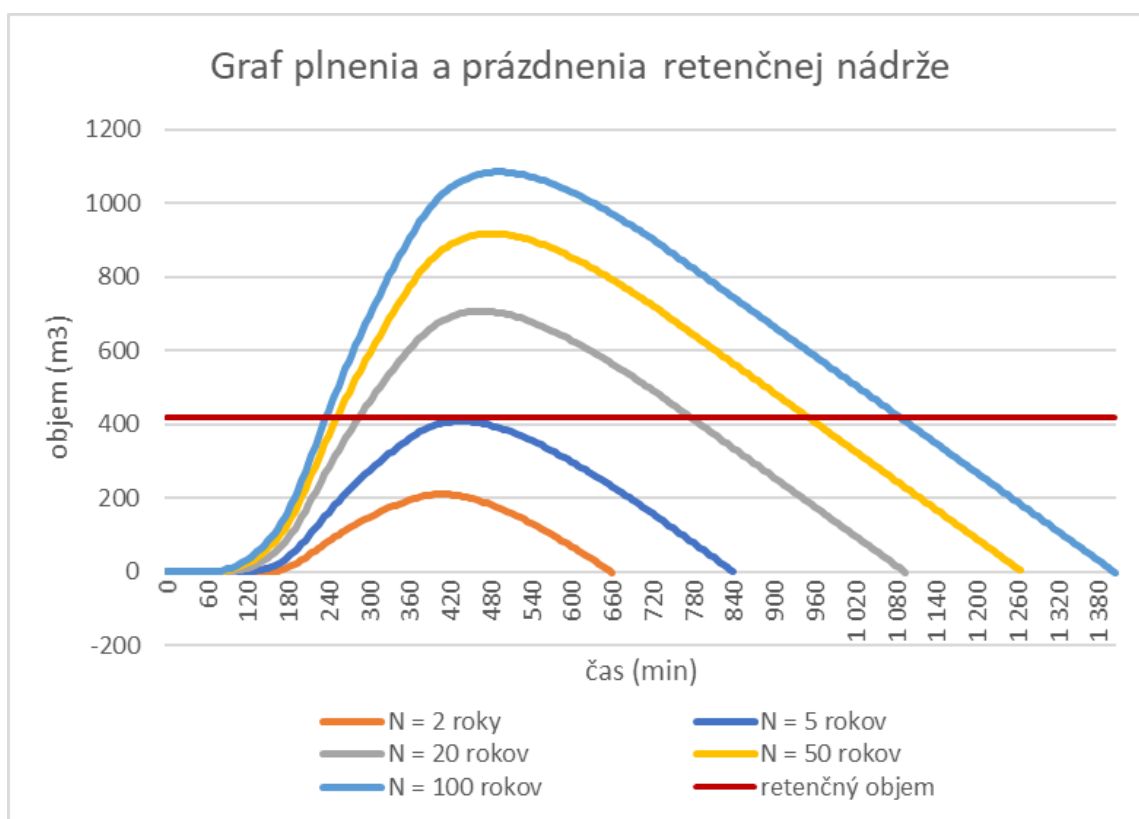
doba opakovania návrhovej zrážky	pôvodný stav	po výstavbe odpočívadla	odpočívadlo Dunávice	odtok z RN
	prietok v uzáverovom profile (m ³ /s)		odtok (m ³ /s)	(l/s)
N = 2 rokov	0,324	0,345	0,044	23
N = 5 rokov	0,566	0,602	0,058	22
N = 20 rokov	1,005	1,048	0,078	35
N = 50 rokov	1,331	1,379	0,091	43
N = 100 rokov	1,601	1,652	0,101	50

Výsledné hodnoty rozdielu prítoku a odtoku do respektíve z retenčnej nádrže boli prepočítané na objemy, kde záporné hodnoty boli uvažované ako nulový prírastok objemu v retenčnej nádrži z dôvodu, že prítok, ktorý do nádrže pritečie v danom časovom intervale je menší ako maximálny možný odtok z nádrže, a preto všetka voda, ktorá do nádrže pritečie, v tom okamihu z nádrže aj odtečie (neakumuluje sa v nádrži). Načítané tak boli iba kladné hodnoty rozdielu objemu prítoku a odtoku, z ktorých bol dosiahnutý potrebný retenčný objem pre zachytenie povodňovej vlny spôsobenej 6 – ročnou návrhovou zrážkou s dobou opakovania N = 5 rokov.

Tabuľka 15 – Priebeh plnenia a prázdnenia retenčnej nádrže pri zrážkovej udalosti s dobou opakovania N = 5 rokov

čas (min)	prítok (m ³ /s)	max. odtok (m ³ /s)	prítok - odtok (m ³ /s)	Objem (m ³)	Retenčný objem (m ³)
0	0	0,022	-0,022	-6,6	0
5	0	0,022	-0,022	-6,6	0
10	0	0,022	-0,022	-6,6	0
15	0,001	0,022	-0,021	-6,3	0
20	0,002	0,022	-0,02	-6	0
105	0,02	0,022	-0,002	-0,6	0
110	0,021	0,022	-0,001	-0,3	0
115	0,023	0,022	0,001	0,3	0,3
120	0,024	0,022	0,002	0,6	0,9
125	0,025	0,022	0,003	0,9	1,8
130	0,026	0,022	0,004	1,2	3
135	0,027	0,022	0,005	1,5	4,5

425	0,025	0,022	0,003	0,9	407,7
430	0,024	0,022	0,002	0,6	408,3
435	0,023	0,022	0,001	0,3	408,6
440	0,022	0,022	0	0	408,6
445	0,02	0,022	-0,002	-0,6	408
450	0,02	0,022	-0,002	-0,6	407,4
815	0	0,022	-0,022	-6,6	33,3
820	0	0,022	-0,022	-6,6	26,7
825	0	0,022	-0,022	-6,6	20,1
830	0	0,022	-0,022	-6,6	13,5
835	0	0,022	-0,022	-6,6	6,9
840	0	0,022	-0,022	-6,6	0,3



Obr. 34 – Graf plnenia a prázdnenia retenčnej nádrže pre povodňové vlny spôsobené návrhovými zrážkami s rôznou dobou opakovania N

Z predchádzajúcich tabuliek vyplýva, že výsledná retenčná nádrž je navrhnutá s retenčným objemom 420 m³, z ktorej bude odtok spodným dnovým výpustom s prietokom maximálne 22 l/s. Pri takýchto návrhových parametroch bude povodňová vlna z pravej strany odpočívadla Dunávica v smere z Prahy na Benešov zachytená retenčnou nádržou, pričom odvádzaným odtokom nebudú narušené pôvodné hydraulické podmienky (pred výstavbou odpočívadlá) v čiastkovom povodí 171. Po prechode zrážkovej udalosti sa nádrž úplne vyprázdni za 14 hodín.

10.2.2 Technický návrh retenčnej nádrže

Osadenie nádrže bude v maximálnej možnej miere prispôsobené jestvujúcim morfológickým podmienkam daného územia. Pôdorysné rozmery nádrže sú navrhnuté s premenlivou šírkou v dne cca 8 m a pri maximálnej návrhovej hladine 2,0 m bude premenlivá šírka v hladine cca 16 m. Dĺžka nádrže je 17,5 m. Priečny profil je navrhnutý so sklonom svahov 1:2 a bude opevnený oživenou kamennou rovnatinou, pod ktorou bude umiestnená geotextília pre zabezpečenie nepriepustnosti. Okolie nádrže bude upravené a prispôsobené pre potreby príjazdu vozidiel k údržbe nádrže s minimálnou šírkou jazdného pruhu 3 m. Vzorová schéma retenčnej nádrže je zakreslená v Prílohe 2 tejto práce. Celá retenčná nádrž bude súčasťou plochy samotného odpočívadla, v okolí nádrže bude vysadená sprievodná vegetácia (vhodné typy dreviny) a umiestnené lavičky, čím bude vhodne dopĺňovať odpočinkovú zónu pravej strany odpočívadla Dunávice a prispeje tak k zachovaniu rázu krajiny.

Spodné výpustné zariadenie je tvorené odtokovým potrubím, ktoré bude zabezpečovať odtok z retenčnej nádrže v dobe trvania zrážky a taktiež bude slúžiť pre vypúšťanie objemu nádrže po skončení zrážkovej udalosti, prípadne pre potreby údržby nádrže. Spodný výpusť bude dimenzovaný na maximálny možný odtok z retenčnej nádrže $Q_{\text{omax}} = 22 \text{ l/s}$, čo predstavuje hodnotu, ktorá pri odvádzaní z retenčnej nádrže zachová pôvodné odtokové pomery v čiastkovom povodí 171 pred výstavbou odpočívadla Dunávice. Retenčná nádrž musí obsahovať aj bezpečnostný preliv pre prípad vyššieho ako maximálneho návrhového prítoku do nádrže. Bezpečnostný preliv bude dimenzovaný na prítok $Q = 101 \text{ l/s}$, čo predstavuje hodnotu priameho odtoku z pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov, ktorý spôsobí návrhová zrážka s dobou opakovania $N = 100$ rokov. Odtok zo spodnej výpuste a aj z bezpečnostného prelivu v prípade jeho využívania bude súčasťou združeného objektu umiestneného v nádrži, z ktorého bude následne voda odvádzaná odtokovým potrubím do melioračného kanálu ústiaceho do Tloskovského potoka.

10.2.3 Posúdenie účinnosti retenčnej nádrže

Za predpokladu, že retenčná nádrž (polder) je pred príchodom 6-hodinovej zrážkovej udalosti s dobou opakovania $N = 5$ rokov úplne prázdna, retenčný priestor nádrže zadrží objem povodňovej vlny 420 m^3 , čo je maximálna kumulatívna hodnota rozdielov objemov medzi prítokom a odtokom do respektíve z nádrže. Z toho vyplýva, že pri prechode takejto zrážkovej udalosti, bude retenčná nádrž plniť sto percentný účinok zachytenia zvýšeného množstva

zrážkovej vody vznikutej z pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov a tým budú zachované pôvodné podmienky v čiastkovom povodí 171 a taktiež nebude ovplyvnený prietok v koryte Tloskovského potoka.

Pri zrážkových udalostiach s vyššou dobou opakovania ako $N = 5$ rokov, sa bude retenčný účinok nádrže znižovať - konkrétne hodnoty účinnosti nádrže sú uvedené v Tabuľke 16. Aj napriek zvýšeným objemom povrchového odtoku v uzáverovom profile, pri výskyte týchto zrážok môžeme konštatovať, že navrhnutá retenčná nádrž má pomerne priaznivé účinky na zachytenie povodňovej vlny a to aj v prípade najnepriaznivejšieho scenára, kedy bude dosahovať najnižšiu účinnosť 38,73 % pre zrážkovú udalosť s dobou opakovania $N = 100$ rokov.

Tabuľka 16 – Účinnosť retenčnej funkcie navrhnutej nádrže pri trvaní 6-hodinovej zrážkovej udalosti rôznou dobou opakovania v čiastkovom povodí 171

doba opakovania návrhovej zrážky (roky)	retenčný objem RN	potrebný retenčný objem	rozdiel objemov	účinnosť RN
	(m ³)			(%)
N = 2	420	210,6	-209,4	199,43
N = 5	420	408,6	-11,4	102,79
N = 20	420	707,4	287,4	59,37
N = 50	420	917,4	497,4	45,78
N = 100	420	1084,5	664,5	38,73

10.3 Odvodnenie ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov

Odvedenie zrážkových vôd z ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov je riešené uličnými vpustmi umiestenými v priestore odpočívadla a následným odvedením sieťou dažďovej kanalizácie do dažďovej usadzovacej nádrže (DUN). Táto DUN slúži na predčistenie zrážkových vôd (bližšie v kapitole 10.1) a je totožná s DUN na pravej strane odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov. Odtok z tejto dažďovej usadzovacej nádrže je smerovaný do vsakovacej nádrže umiestenej na pozemku pozdĺž samotného odpočívadla (Obr. 34), kde je umožnené vsakovanie. Okolie vsakovacej nádrže bude oplotené, aby nedošlo k vstupu osôb do priestorov nádrže.

V prípade výskytu zvýšeného prítoku do tejto nádrže ako je návrhový prítok, bude voda

prevádzaná bezpečnostným prelivom a následne odvádzaná odtokovým potrubím do melioračného kanála ústiaceho do Dunávického rybníka.



Obr. 35 – Poľnohospodársky obrábaný pozemok pozdĺž ľavej strany odpočívadla Dunávice, na ktorom bude umiestnená vsakovacia nádrž

Pre odvodnenie ľavej strany odpočívadla Dunávice bola ako vsakovacie zariadenie zvolená otvorená povrchová vsakovacia nádrž a to z dôvodu, že pre plošné vsakovanie celého objemu odtoku zrážkovej vody z ľavej strany odpočívadla Dunávice by v prípade návrhu iného typu vsakovacieho zariadenia bez retenčného priestoru, muselo dôjsť k veľkému záberu poľnohospodárskej plochy, aby bolo možné dosiahnuť vsiaknutie celého objemu vody prúdiacej z parkovacej plochy ľavej strany odpočívadla Dunávice. Vsakovacia nádrž bude okrem účelu vsakovania plniť aj retenčnú funkciu zadržania určitého množstva vody, ktoré ak by bolo vypúšťané bez zadržania, boli by zmenené hydrologické podmienky v čiastkovom povodí 176.

10.3.1 Dimenzovanie vsakovacej nádrže

Vsakovacia nádrž je dimenzovaná na objem, ktorý vychádza z objemu povrchového odtoku spôsobeného 6 – hodinovou návrhovou zrážkou s dobou opakovania $N = 5$ rokov, ktorý pritečie

do nádrže z ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov s uvažovaním, že časť z tohto objemu vsiakne v priestore vsakovacej nádrže. Objem povrchového odtoku bol stanovený simulačným modelovaním v programe HEC – HMS a dosahuje hodnotu $V_p = 1041 \text{ m}^3$ (Tabuľka 13), čo je hodnota z ktorej vychádzal prvotný návrh retenčného objemu vsakovacej nádrže. Výsledný navrhnutý objem retenčnej nádrže je $V_r = 970 \text{ m}^3$, na ktorý budú navrhnuté rozmery nádrže, z nich následne určená plocha vsakovania a dopočítaný vsakovaný prietok respektíve objem.

Tabuľka 17 – Hodnoty objemov povrchového odtoku spôsobených 6 – hodinovou zrážkou s rôznou dobou opakovania v čiastkovom povodí 176

doba opakovania návrhovej zrážky	pôvodný stav	po výstavbe odpočívadla	odpočívadlo Dunávice
	Objem priameho odtoku (1000 m ³)		
N = 2 rokov	1,903	2,619	0,787
N = 5 rokov	4,792	5,676	1,041
N = 20 rokov	10,263	11,384	1,396
N = 50 rokov	14,801	15,972	1,635
N = 100 rokov	18,676	19,919	1,824

V prípade návrhu vsakovacej nádrže je potrebné stanoviť aj hodnotu vsakovaného odtoku. Ten sa podľa ČSN 75 9010 *Vsakovací zařízení srážkových vod* stanoví podľa vzorca 3.3. Koeficient vsaku k_v , ktorý do vzorca vstupuje, bol získaný z databázy BPEJ (bonitované pôdne ekologické jednotky) pre konkrétny pozemok, na ktorom sa bude vsakovacia nádrž rozprestierať. Táto hodnota je podľa BPEJ vyčíslená na $k_v = 0,20 \text{ mm/min}$.

Vsakovaný odtok pre navrhovanú vsakovaciu nádrž, bol stanovený na základe získaného koeficientu vsaku k_f a navrhnutého objemu nádrže, na ktorý boli nadimenzované jednotlivé rozmery nádrže. Vsakovacia nádrž je navrhnutá ako lichobežníková na koncoch zaoblená s dĺžkou 54 m, šírkou v dne 16 m a pri návrhovej výške hladiny $h = 1 \text{ m}$ bude šírka v hladine 20 m. Z týchto rozmerov bola dopočítaná pôdorysná plocha určená pre vsakovanie, ktorá dosahuje hodnotu $S_{vd} = 864 \text{ m}^2$. Na vsaku sa budú podieľať aj steny nádrže, ktorých plocha určená pre vsak pri maximálnej výške hladiny $h = 1 \text{ m}$ dosahuje hodnotu $S_{vs} = 237,44 \text{ m}^2$. Po získaní všetkých údajov bola vypočítaná výsledná hodnota vsakovaného odtoku vo vsakovacej nádrži podľa rovnice 3.1 a následné vsakovacie množstvo za celú dobu simulácie $t = 12 \text{ hodín}$.

$$Q_v = \frac{1}{f} * k_v * S_v = \frac{1}{2} * 3,33 * 10^{-6} * (864 + 237,44) = 1,83 \text{ l/s} \quad (10.1)$$

$$V_v = Q_v * t = 1,38 * 3600 * 60 * 12 = 79,22 \text{ m}^3 \quad (10.2)$$

10.3.2 Technický návrh vsakovacej nádrže

Vsakovacia nádrž je navrhnutá ako otvorená nádrž s lichobežníkovým priečnym profilom so sklonom svahov 1:2. Dĺžka nádrže je 54 m a dno je široké 16 m. Na dne a stenách nádrže bude humusová vrstva v hrúbke 30 cm, cez ktorú bude prebiehať vsakovanie do podlažia a taktiež bude slúžiť na dočistenie pritekajúcich zrážkových vôd. Dno nádrže by malo byť minimálne 0,5 m nad hladinou podzemnej vody, aby boli splnené podmienky pre vsakovanie. Doporučené sú však hodnoty tejto vzdialenosti viac ako jeden meter. Maximálna hladina v nádrži je navrhnutá na $h = 1$ m, nad ktorou bude zaústené vtokové potrubie pre prívod zrážkovej vody z dažďovej usadzovacej nádrže. V mieste prítoku zrážkovej vody bude stena aj dno opevnené nahádzkou z lomového kameňa, aby nedošlo k vymývaniu päty svahu a dna nádrže prúdením vody.

Pre odvádzanie zvýšených prítokov do nádrže ako je prítok návrhový, bude v nádrži navrhnutý bezpečnostný preliv, ktorého prepádová hrana bude na úrovni návrhovej hladiny. Bezpečnostný preliv bude dimenzovaný na kulmináčny prítok, ktorý vyvolá zrážka s dobou opakovania $N = 100$ rokov t.j. na hodnotu $Q = 97$ l/s (Tabuľka 13). Odtok z bezpečnostného prelivu v prípade jeho využívania bude súčasťou združeného objektu umiestneného v nádrži, z ktorého bude následne voda odvádzaná odtokovým potrubím do melioračného kanálu ústiaceho do Dunávického rybníka. Zdužený objekt bude obsahovať aj spodný výpusť s regulovaným odtokom pre potreby prevádzkovej údržby vsakovacej nádrže. Vzorový priečny rez vsakovacej nádrže je znázornený v Prílohe 3.

10.3.3 Posúdenie účinnosti vsakovacej nádrže

Ako prvé bolo potrebné overiť správnosť návrhu retenčného objemu vsakovacej nádrže s uvažovaním množstva vsiaknutej vody v priestore vsakovacej nádrže, ktoré vlastne predstavovalo objem odtoku zo vsakovacej nádrže. Objem povrchového odtoku, ktorý pritečie do nádrže je modelom stanovený na $V_p = 1041 \text{ m}^3$, od ktorého bolo odčítané vsiaknuté množstvo vody $V_v = 79,2 \text{ m}^3$, čím bola získaná potrebná hodnota retenčného objemu, aby bol zachytený celý objem povrchového odtoku spôsobený 6 - hodinovou návrhovou zrážkou s dobou opakovania $N = 5$ rokov. Hodnota potrebného retenčného objemu daná rozdielom V_p

a V_v udáva retenčný objem 961,7 m³, čím je potvrdený správny prvotný návrh a teda môžeme určiť návrh retenčného objemu $V_r = 970$ m³ za finálny s potrebnou bezpečnostnou rezervou.

Následne bola posúdená účinnosť takto navrhnutej nádrže pre zadržanie objemu povrchového odtoku z návrhových zrážok pre rôzne doby opakovania. Výsledné hodnoty účinnosti sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 18 – Účinnosť retenčnej funkcie navrhnutej nádrže pri trvaní 6-hodinovej zrážkovej udalosti rôznou dobou opakovania v čiastkovom povodí 176

doba opakovania návrhovej zrážky (roky)	retenčný objem VN	odpočívadlo Dunávice	rozdiel objemov s uvažovaním vsaku	účinnosť VN
	(m ³)			(%)
N = 2	970	787	-262,2	133,32
N = 5	970	1041	-8,2	100,79
N = 20	970	1396	346,8	75,16
N = 50	970	1635	585,8	64,17
N = 100	970	1824	774,8	57,52

Pri prechode zrážkových udalostí s vyššou dobou opakovania ako N = 5 rokov, konkrétne N = 100 rokov (najnepriaznivejší stav), bude navrhnutou vsakovaciou nádržou s retenčnou funkciou v čiastkovom povodí 176 zachytených až 57,5 % objemu povrchového odtoku z ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov, čo predstavuje značný podiel objemu povodňovej vlny zo storočnej návrhovej zrážky, takže vsakovacia nádrž bude mať priaznivé účinky na hydrologické podmienky v čiastkovom povodí 176.

11. Záver

Úlohou tejto diplomovej práce bolo posúdiť negatívne dopady výstavby odpočívadla Dunávice, ktoré bude vybudované ako súčasť diaľnice D3 v okolí Týnca nad Sázavou. Ako jeden z hlavných problémov, ktorý nastane výstavbou tohto odpočívadla Dunávice je, že dôjde k zvýšeniu povrchu nepriepustných plôch v záujmovom území a tým aj k zvýšenému množstvu odtoku vody zo zrážok, ktoré nedokážu prirodzene vsiaknuť do podlažia. Aby bolo možné navrhnúť konkrétne technické opatrenia v riešenom území, bolo potrebné analyzovať objemy povrchového odtoku a hodnoty kulminačných prietokov vo zvolených uzáverových profiloch pre súčasný stav v povodiach a pre stav po výstavbe odpočívadla Dunávice. Pre tieto účely boli zostrojené celkovo 4 zrážkovo – odtokové modely, ktoré pretransformujú hyetogramy návrhových zrážok do odtokovej odozvy. Tieto simulácie prebiehali v programe HEC – HMS s využitím metódy SCS CN na získanie potrebných objemov povrchového odtoku a metódou Clarkovho jednotkového hydrogramu boli získané kulminačné prietoky. Údaje vstupujúce do simulačného modelu boli predpripravené v programe ArcGis 10.8 s využitím nastavbových nástrojov, kde prebehlo analyzovanie charakteristík záujmového územia.

Výsledkom modelovania zrážkovo – odtokového procesu bol získaný objem povrchového odtoku a hodnoty kulminačných prietokov v dvoch uzáverových profiloch vopred definovaných čiastkových povodí 171 a 176, pričom tie isté hodnoty boli modelované aj pre obe strany odpočívadla Dunávice a to z dôvodu, že výsledný návrh odvodnenia spočíva v prerozdelení množstva zrážkových vôd do dvoch cieľových recipientov, a tým bude znížené zaťaženie jednotlivých vodných tokov pri prechode zrážkovej udalosti. Takýto návrh vychádzal aj z toho, že samotné odpočívadlo Dunávice sa bude nachádzať na hranici dvoch povodí, čím je prirodzene umožnené odvádzanie zrážkových vôd na dve strany do rôznych recipientov, t.j. do Tloskovského a Chlebského potoka.

Jednotlivé prvky určené na retenciu a vsakovanie zrážkovej vody boli navrhované na 6 - hodinovú návrhovú zrážku s dobou opakovania $N = 5$ rokov na také návrhové kulminačné prietoky, respektíve objemy, aby pri prechode tejto zrážkovej udalosti, odtokom z odpočívadla Dunávice nebola ovplyvnená hladina vody v korytách cieľových recipientov - Tloskovského potoka, respektíve Chlebského potok a následne aj Dunávického rybníka. Tieto prvky – nádrže boli navrhnuté v kombinácii s dažďovou usadzovacou nádržou, ktorá bude slúžiť na predčistenie zrážkovej vody. Toto predčistenie je nevyhnutné navrhnúť v súlade

s právnymi predpismi pre nakladanie so zrážkovou vodou zo znečistených plôch, čo je aj prípad novovybudovaného odpočívadla Dunávice s celkovým počtom 150 navrhovaných parkovacích miest v oboch smeroch.

V praktickej časti diplomovej práce, na základe výsledkov modelovania, bola pre potreby odvodnenia pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov navrhnutá retenčná nádrž pre zadržanie zrážkovej vody s retenčným objemom $V_r = 420 \text{ m}^3$, maximálnou hladinou v nádrži $h = 2 \text{ m}$ a maximálnym prípustným odtokom $Q_o = 22 \text{ l/s}$ vypúšťaným melioračným kanálom do Tloskovského potoka, pričom pri týchto parametroch budú zabezpečené rovnaké hydrologické podmienky v čiastkovom povodí 171, aké tam boli pred samotnou výstavbou odpočívadla. Táto retenčná nádrž bude umiestnená priamo na ploche pravej strany odpočívadla a bude tak dopĺňať odpočinkovú zónu odpočívadla prostredníctvom sprievodnej vegetácie (výsadba vhodných typov drevín) a návrhom ďalších prvkov (napr. lavičky na sedenie), čím bude vytvárať prvok na zachovanie krajiny v okolí odpočívadla.

Na odvodnenie ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov bude vybudovaná vsakovacia nádrž s retenčnou funkciou. Vsakovacia nádrž je navrhnutá s retenčným objemom 970 m^3 s maximálnou výškou hladiny v nádrži $h = 1 \text{ m}$. Vsakovacia nádrž bude disponovať celkovou plochou pre vsakovanie $S_v = 1101,44 \text{ m}^2$, cez ktorú pri aktuálnych hydrogeologických podmienkach dokáže vsiaknuť prietok $Q_v = 1,83 \text{ l/s}$.

Posledná časť tejto diplomovej práce analyzovala možné dopady prechodu 6 – hodinovej návrhovej zrážky pre rôzne doby opakovania $N = 2, 20, 50$ a 100 rokov, pre ktoré bol taktiež modelovaný povrchový odtok v programe HEC – HMS. Na základe bilancie objemov povodňových vln pre už spomenuté doby opakovania s návrhovou dobou opakovania $N = 5$ rokov, boli posúdené retenčné a vsakovacie účinky oboch navrhnutých nádrží. Pre zrážku s dobou opakovania $N = 2$ roky, navrhnuté prvky svojou retenčnou a vsakovacou funkciou zlepšia hydrologické podmienky v cieľových recipientoch. Pri prechode zrážkových udalostí s vyššou dobou opakovania ako $N = 5$ rokov, konkrétne $N = 100$ rokov (najnepriaznivejší stav), bude navrhnutou retenčnou nádržou v čiastkovom povodí 171 zachytených 38,73 % objemu povodňovej vlny z pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov, a v prípade vsakovacej nádrže v čiastkovom povodí 176 to predstavuje zachytený objem 57,52 %, čo v oboch prípadoch predstavuje dostatočný podiel objemu povodňovej vlny zo storočnej návrhovej zrážky, takže nie je predpoklad, že by malo dôjsť k výraznému navýšeniu prípadných povodňových škôd v recipientoch vodných tokov oproti škodám, ktoré

budú spôsobené 100 ročným prietokom v korytách Tloskovského potoka respektíve Dunávického rybníka. Na prevedenie väčších prietokov, na aké boli obe nádrže navrhnuté, bude slúžiť bezpečnostný preliv dimenzovaný na kulminačný prítok z odpočívadla Dunávice spôsobený zrážkou s dobou trvania $N = 100$ rokov. Umiestnenie jednotlivých navrhnutých prvkov na zadržanie a odvedenie zrážkových vôd z územia odpočívadla Dunávice, t.j. retenčnej a vsakovacej nádrže, je znázornené v priloženej situácii (Príloha č. 1).

12. Zoznamy

12.1 Použitá literatúra a zdroje

- [1] Asociace čistírenských expertů České republiky. Posouzení stokových systému urbanizovaných povodí. Březen 2009.
- [2] ODVODNĚNÍ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ– TP 83. Ministerstvo dopravy – odbor pozemních komunikací. Praha: 2014.
- [3] ŽABIČKA, Z. Technická řešení vsakovacích zařízení [online]. Listopad 2011[cit. 2022-28-02]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/8010-technicka-reseni-vsakovacich-zarizeni>
- [4] NAKLADANIE S DAŽĎOVÝMI VODAMI ODVÁDZANÝMI Z POZEMKOV POZEMNÝCH KOMUNIKÁCIÍ A PARKOVÍSK - TECHNICKÉ PODMIENKY – TP 112. Ministerstvo dopravy a výstavby SR - Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií. 2019.
- [5] Ministertvo pro místny rozvoj ČR, Odbor stavebního řádu - VSAKOVÁNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD. srpen 2019.
- [6] <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [7] KREJČÍ, Vladimír. Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup. 1. vydání. Brno: Noel 2000, 2002. ISBN 80-860-2039-8.
- [8] ČSN 75 9010. Vsakovací zařízení srážkových vod. Praha: Úřad pro technickou normalizaci a státní zkušebnictví, 2012.
- [9] TNV 75 9011. Hospodaření se srážkovými vodami. Praha: Sweco Hydroprojekt a.s., březen 2013.
- [10] CHMELOVÁ PAVELKOVÁ, R., FRAJER, J., Základy hydrologie [online]. Dostupné z: <https://geography.upol.cz/soubory/studium/DS-GVS/Opora-DHYDR.pdf>
- [11] JANEČEK, M. a P. KOVÁŘ. Aktuálnost „Metody čísel odtokových křivek –CN“ k určování přímého odtoku z malého povodí. Vodní hospodářství. 2010, č. 7.
- [12] DAŇHELKA, J., KREJČÍ, J., ŠÁLEK, M., ŠERCL, P., ZEŽULÁK, J. Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. Praha: ČZU, 2003.
- [13] JANDORA, J. STARA, V., STARÝ, M. Hydraulika a hydrologie. Brno: CERM, 2002, 186 s. ISBN 80-214-2204-1.

- [14] BECKER, A., SERBAN, P. Hydrological models for water – resources system design and operation. Operational Hydrology Report No. 34, Geneva. 1990.
- [15] REFSGAARD, J. C., Hydrological Modelling and River Basin Management – doctoral thesis. January 2007.
- [16] KULHAVÝ, Z., KOVÁŘ, P., Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. Praha: VÚMOP, 2002.
- [17] Hydrologic Modeling System HEC – HMS – Technical reference manual, Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineering, March 2000.
- [18] STARÝ, M., Hydrologie - Modul 02. Brno: VUT - Fakulta stavební, 2005
- [19] MAIDMENT, D., R., Arc Hydro, GIS for Water Resources, ESRI Press: 2002.
- [20] <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/>
- [21] JANEČEK, M. a kol. (2012): Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika, Česká zemědělská univerzita Praha, Praha, 113 s., ISBN 978-80-87415-42-9
- [22] SMELÍK, L.: Analýza změn odtokových poměrů pro Českou republiku [online]. 2016 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2016/08/analyza-zmen-odtokovych-pomeru-pro-ceskou-republiku/>
- [23] EBRAHIMIAN, M., a kol., Application of NRCS-curve number method for runoff estimation in a mountainous watershed. CJES, 2011.
- [24] JANEČEK, M. a P. KOVÁŘ. Aktuálnost „Metody čísel odtokových křivek – CN“ k určení přímého odtoku z malého povodí. Vodní hospodářství. 2010, č. 7.
- [25] VIZINA, A., DZURÁKOVÁ, M., a kol., Typová lokalita Kolečovický potok a modelování přírodně blízkých opatření modely Bilan, HEC-HMS a HYPE. Praha: VÚV TGM, duben 2018.
- [26] Adaptační strategie přizpůsobení se změnám klimatu města Týnec nad Sázavou – Analytická zpráva, Praha: Sweco Hydroprojekt a.s., 03/2022.
- [27] atelier M.A.A.T., Územní plán Chrastany – Půzkumy a rozborů. Listopad 2011. https://chrastany.cz/wp-content/uploads/Uzemni_plan/pruzkum.pdf
- [28] <https://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/cevt.htmlcích>
- [29] Ředitelství silnic a dálnic ČR - Odpočívky na českých dálnicích. Praha: RŠD, prosinec 2015.
- [30] D3 – Praha – Václavice. Dokumentace k územnímu rozhodnutí (DUR)
- [31] ESRI. ArcGIS Desktop. [Online]. [cit. 2022-03-26] Dostupné z: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/overview>

- [32] KAVKA, P., MULLER, M. a kol. Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině - metodika. 2018.
- [33] <https://services.cuzk.cz/shp/ku/epsg-5514/>
- [34] <https://www.dibavod.cz/27/struktura-dibavod.html>
- [35] Geoportál ČÚZK. DMR 4G. [Online] 2010. [cit. 2022-03-26] Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(dk1dc4suo44ffw210uz4afee\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=301](https://geoportal.cuzk.cz/(S(dk1dc4suo44ffw210uz4afee))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=301)
- [36] <https://eagri.cz/public/app/eagriapp/lpisdata/>
- [37] TR – 55 - Urban Hydrology for Small Watersheds. USDA: June 1986.
- [38] SMELÍK, L.: Analýza změn odtokových poměrů pro Českou republiku [online]. 2016 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2016/08/analyza-zmen-odtokovych-pomeru-pro-ceskou-republiku/>

12.2 Zoznam obrázkov

Obr. 1 – Porovnanie množstva povrchového odtoku v urbanizovanom a prirodzenom území	
[7]	13
Obr. 2 – Rozhodovacia schéma pre odvádzanie zrážkových vôd [3]	16
Obr. 3 – Príklad riešenia plošného vsakovacieho zariadenia [4]	24
Obr. 4 – Príklad riešenia vsakovacej priehlbne [4]	24
Obr. 5 – Príklad riešenia vsakovacej ryhy vyplnenej štrkom s drenážou [4]	25
Obr. 6 – Príklad riešenia vsakovacej priekopy s plastovými blokmi [4]	25
Obr. 7 – Príklad riešenia vsakovacej šachty [4]	26
Obr. 8 – Možné riešenie retenčnej vsakovacej nádrže [5]	28
Obr. 9 – Pôdorys možnej umelej mokrade [4]	29
Obr. 10 – Zrážkovo – odtokový proces v povodí [10]	34
Obr. 11 – Klasifikácia hydrologických modelov [14]	39
Obr. 12 – Ukážka s modelu HEC - HMS [zdroj: US Army Corps of Engineers]	41
Obr. 13 – Vplyv obsahu vody v pôde na zmenu čísla odtokovej krivky CN [19]	48
Obr. 14 – Záujmové územie s vyznačením plánovaného odpočívadla Dunávice (podkladová mapa: ZM 1:50 000, zdroj: ČÚZK)	51
Obr. 15 – Výrez z geologickej mapy ČR 1:50 000 (zdroj: voľne dostupné v ArcGis online)	

.....	52
Obr. 16 - Pôdne typy vyskytujúce sa v záujmovom území (zdroj: CzechInspire, voľne dostupné v ArcGis online).....	53
Obr. 17 – Dotknuté povodia IV. rádu v záujmovom území a vymedzené čiastkové povodia pre posudzovanú lokalitu (podkladová mapa: ortofotomapa, zdroj: ČÚZK).....	55
Obr. 18 – Melioračný kanál pre odvádzanie zrážkových vôd z ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov.....	56
Obr. 19 – Plánované odpočívadlo Dunávice na diaľnici D3 (zdroj: ŘSD).....	58
Obr. 20 – Ukážka z portálu rain.fsv.cvut.cz s priebehom návrhových zrážok s dobou opakovania N = 5 rokov	61
Obr. 21 – Priebehy návrhových zrážok s dobou opakovania N = 5 rokov	61
Obr. 22 – Nátok melioračného káňalu do Dunávického rybníka	63
Obr. 23 – Melioračný kanál tesne pred nátokom do Tloskovského potoka	63
Obr. 24 – Priradenie hydrologických skupín pôd na základe tried zrnitosti podľa USDA (zdroj: LS)	64
Obr. 25 – Hydrologické skupiny pôd – na ľavej strane HSP podľa zrnitosti a na pravej strane HSP poskytnuté VÚMOPom.....	65
Obr. 26 – Mapa využitia územia v riešených podpovodiach záujmového územia (podkladová ortofotomapa – zdroj: ČÚZK)	66
Obr. 27 – Výsledná mapa CN kriviek v riešených čiastkových povodiach záujmového územia.....	68
Obr. 28 – Porovnanie pôvodných čiastkových povodí a vygenerovaných príkazom Watersheed	70
Obr. 29 – Porovnanie schematizácie čiastkového povodie 171 v programe HEC – HMS a v programe ArcGis.....	72
Obr. 30 – Porovnanie schematizácie čiastkového povodie 176 v programe HEC – HMS a v programe ArcGis.....	72
Obr. 31 – Základné komponenty vstupujúce do modelu v programe HEC - HMS.....	74
Obr. 32 – Rozloženie efektívnej zrážky a hydrogram priameho odtoku z pravej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov pre návrhovú zrážku s dobou opakovania N = 5 rokov.....	77
Obr. 33 – Rozloženie efektívnej zrážky a hydrogram priameho odtoku z ľavej strany odpočívadla Dunávice v smere z Prahy na Benešov pre návrhovú zrážku s dobou opakovania	

N = 5 rokov.....	79
Obr. 34 – Graf plnenia a prázdnenia retenčnej nádrže pre povodňové vlny spôsobené návrhovými zrážkami s rôznou dobou opakovania N	84
Obr. 35 – Poľnohospodársky obrábaný pozemok pozdĺž ľavej strany odpočívadla Dunávice, na ktorom bude umiestnená vsakovacia nádrž	87

12.3 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 – Typické znečisťujúce látky na pozemných komunikáciách a očakávaná miera znečistenia zrážkových vôd [2]	18
Tabuľka 2 – Spôsoby predčistenia zrážkových vôd pri vsakovaní a účinnosť pre rôzne druhy znečistenia [4].....	20
Tabuľka 3 – Hydrologické skupiny pôd [21]	47
Tabuľka 4 – Povodia IV. rádu v záujmovom území a cieľové recipienty pre prítok zrážkových vôd.....	54
Tabuľka 5 – Kapacity odpočívadla Dunávice v oboch smeroch [30].....	57
Tabuľka 6 – 6 hodinové návrhové úhrny pre jednotlivé čiastkové povodia s rôznou dobou opakovania.....	62
Tabuľka 7 – Výsledné čiastkové povodia v záujmovom území	63
Tabuľka 8 – Zjednodušená tabuľka hodnôt CN II pre jednotlivé kategórie využitia územia a hydrologické skupiny pôd [37]	67
Tabuľka 9 – Priemerné hodnoty CN kriviek pre jednotlivé čiastkové povodia v súčasnom stave a po výstavbe odpočívadla Dunávice	67
Tabuľka 10 – Výsledné hodnoty parametrov vstupujúcich do programu HEC – HMS pre Clarkov jednotkový hydrogram a metódu SCS - CN pre čiastkové povodie 171	73
Tabuľka 11 – Výsledné hodnoty parametrov vstupujúcich do programu HEC – HMS pre Clarkov jednotkový hydrogram a metódu SCS - CN pre čiastkové povodie 176.....	74
Tabuľka 12 – Výsledky výpočtov vystupujúcich z modelu HEC – HMS pre čiastkové povodie 171	76
Tabuľka 13 – Výsledky výpočtov vystupujúcich z modelu HEC – HMS pre čiastkové povodie 176	78
Tabuľka 14 – Maximálne možné odtoky z nádrže, aby boli zachované hydraulické podmienky v Tloskovskom potoku pri trvaní 6-hodinovej zrážkovej udalosti v čiastkovom povodí 171	83

Tabuľka 15 – Priebeh plnenia a prázdnenia retenčnej nádrže pri zrážkovej udalosti s dobou opakovania $N = 5$ rokov	83
Tabuľka 16 – Účinnosť retenčnej funkcie navrhutej nádrže pri trvaní 6-hodinovej zrážkovej udalosti rôznou dobou opakovania v čiastkovom povodí 171	86
Tabuľka 17 – Hodnoty objemov povrchového odtoku spôsobených 6 – hodinovou zrážkou s rôznou dobou opakovania v čiastkovom povodí 176.....	88
Tabuľka 18 – Účinnosť retenčnej funkcie navrhutej nádrže pri trvaní 6-hodinovej zrážkovej udalosti rôznou dobou opakovania v čiastkovom povodí 176	90

12.4 Zoznam príloh

- Príloha 1 – Situácia so zakreslenou retenčnou a vsakovacou nádržou (A3)
- Príloha 2 – Vzorová schéma retenčnej nádrže (A3)
- Príloha 3 – Vzorové priečne rez vsakovacej nádrže (A4)