



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**VYTVOŘENÍ HYDROLOGICKÉHO MODELU PRO
ODVOZENÍ MAXIMÁLNÍCH ODTOKŮ Z MALÝCH
POVODÍ**

CREATING A HYDROLOGICAL MODEL TO DETERMINE MAXIMUM RUNOFF FROM
A SMALL CATCHMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Hakl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL MENŠÍK, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Petr Hakl
Název	Vytvoření hydrologického modelu pro odvození maximálních odtoků z malých povodí
Vedoucí práce	Ing. Pavel Menšík, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Starý, M. Hydrologie, FAST VUT Brno, 2005
2. Hrádek, F., Zezulák, J. Výpočet maximálních průtoků na malých povodích model DesQ, manuál k programu DesQ, Praha, 1998
3. Další odborná literatura dostupná v knihovně nebo na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Úkolem diplomové práce bude vyvinout programový prostředek. Program umožní vytvořit hydrologický model pro odvození maximálních odtoků z malých povodí, na kterých nemáme hydrologická data k dispozici. Program bude vytvořen obecně, a to v budoucnu umožní jeho snadné použití na téměř jakémkoliv malé povodí. Program bude napsán s využitím vhodného programovacího jazyka. Součástí práce bude i ukázka funkčnosti vytvořeného programu.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Pavel Menšík, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je sestavit hydrologický model podle stávající metodiky DesQ-MaxQ, která vychází z hydrologické směrnice pro *Návrhové průtoky pro velmi malá povodí* z roku 1989. Model je schopen na základě zadaných souřadnic zeměpisné šířky a délky modelového povodí určit nejbližší meteorologickou stanici a přiřadit k ní úhrny 24-hodinových srážek pro N-letosti 2,5,10,50 a 100 let. Metodou *redukce 24-hodinových úhrnů* se vypočtou náhradní intenzity srážek pro další výpočty. V závislosti na hydraulicko-hydrologických podmínkách modelového povodí se vypočítají délky kritických dešťů pro jednotlivé N-letosti, jejich maximální kulminační průtoky a celkový odtok z modelového povodí. Program může pracovat v režimu *jeden svah* a *dva svahy*, při čemž u druhé možnosti následuje výpočet návrhové srážky pro celé povodí a superpozice hydrogramů vyvolaných návrhovou srážkou. Vzniklý program RainRunoff je vytvořen pomocí programovacího jazyka C# s uživatelským rozhraním a možností exportů grafů.

KLÍČOVÁ SLOVA

DesQ-MaxQ, redukce 24-hodinových úhrnů, kritický déšť, superpozice hydrogramů, kulminační průtok, CN křivky, přívalový déšť, RainRunoff

ABSTRACT

The aim of the thesis is to set a hydrology model based on existed methodology DesQ-MaxQ, which comes from "Designing flows from a very small catchments" established in 1989. The model is able to set a nearest meteorology station and his 24-hours rainfall depths for periods of repetition 2,5,10,20,50 and 100 years. Substitute rainfall depths are set by "reduction of 24-hours rainfall depths" methodology. According to hydraulic and hydrology conditions of catchment, duration of the critical rains for each period of repetition are set also peak flow rates and total runoffs from the catchment. Application can work in two modes - *one slope* and *two slopes*. The second option also includes calculation of design duration for the model catchment and superposition of hydrograph. Application RainRunoff was develop in C# programming language with graphic user interface and option to exports hydrographs.

KEYWORDS

DesQ-MaxQ, reduction of 24-hour rainfall depth, critical rain, superposition of hydrograph, peak flow rate, CN curves, torrential rain, RainRunoff

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Petr Hakl *Vytvoření hydrologického modelu pro odvození maximálních odtoků z malých povodí*. Brno, 2019. 59 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Pavel Menšík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem Vytvoření hydrologického modelu pro odvození maximálních odtoků z malých povodí je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně 8. ledna 2020

.....

autor práce: Bc. Petr Hakl

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Vytvoření hydrologického modelu pro odvození maximálních odtoků z malých povodí* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně 8. ledna 2020

.....

autor práce: Bc. Petr Hakl

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Pavlu Menšíkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, připomínky a podněty při zpracování diplomové práce. Dále chci poděkovat svým rodičům za jejich podporu a trpělivost během celého studia. Mé díky patří i vývojářům softwaru Microsoft Visual Studio, který mi usnadnil práci během programování.

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Výpočetní modely	1
1.1.1	Metoda SCS-CN v kombinaci s jednotkovým hydrogramem	3
1.1.2	SMODERP	3
1.1.3	MikeSHE	4
1.1.4	KINFIL	4
1.1.5	DesQ-MaxQ	4
2	Cíl práce	5
3	Teorie - Popis modelu	6
3.1	Odvození vstupních charakteristik modelu	6
3.1.1	Geometrické charakteristiky modelového povodí	7
3.2	Řešení svahového odtoku	8
3.2.1	Sklonové poměry povodí	8
3.3	Půdní charakteristiky a způsob využívání pozemků v povodí	9
3.3.1	HSP Hydrologická skupina půd	10
3.3.2	Využití půdy, způsob obdělávání a hydrologické podmínky	12
3.3.3	Určení čísel odtokových křivek	13
3.4	Drsnostní charakteristika povrchu povodí	17
3.5	Metoda redukce 1-denních maximálních srážkových úhrnů	18
3.6	Hydrologicko-hydraulické závislosti	20
3.7	Maximální odtok ze svahu modelového povodí	21
3.7.1	Přítok na svah	21
3.7.2	Odtok ze svahu	23
3.7.3	Řešení odtoku z modelového povodí	27
4	Program RainRunoff	30
4.1	Vstupní data	31
4.1.1	Hydrologické stanice a úhrny srážek	31
4.1.2	Půdní charakteristiky	32
4.2	Popis programu	32
4.2.1	Desetinný oddělovač	32
4.2.2	Vstupní srážky	34
4.2.3	Definice čísla CN	35
4.2.4	Zadání charakteristik svahu	35
4.2.5	Spuštění výpočtu	36
4.3	Výpočet pro dva Svahy	38

5	Praktická aplikace programu	40
5.1	Oblast Janovice	40
5.2	Oblast Velké Albrechtice	43
5.3	Oblast Liderovice	45
6	Závěr	51

1 Úvod

Krajina prošla během časů značným přetvořením a to z velké části vlivem lidské činnosti. Ať už tyto změny byla zapříčiněny politickými nebo hospodářskými vlivy, docházelo k zanikání přirozených polních cest, liniových prvků a dalších krajinotvorných elementů. Se zvyšujícím se tlakem na obnovu komplexního a stabilního krajinného rázu se objevují nové problémy, ať už ve sféře legislativní ale i krajinotvorného inženýrství.

V minulosti docházelo k nerespektování a neudržení hranic parcel evidovaných v Katastru nemovitostí České Republiky resp. Československé republiky, což v současné době vede k mnoha problémům při tvorbě a prosazování tzv. "Projektů krajinného inženýrství", které mají za cíl řešit komplexně dané území (ve většině případů ohraničeném katastrálním územím) a to z pohledu vyřešení vlastnictví pozemků, ekologické, půdoochranné a krajinotvorné stability.

V procesu krajinného inženýrství dochází k nutnosti výpočtů návrhových parametrů technických protierozních parametrů jako jsou sběrné a záchytné průlehy, svodné průlehy, příkopy, hrázky, záchytné nádrže a suché poldry, dále pak dimenze propustků atd.. Hlavním problémem při výpočtu návrhových parametrů nastává dostupnost vstupních dat, časové i technické omezení při jejich získání ale i cenová politika prodeje dat a s tím spojené omezené rozpočtové možnosti daného projektu. To vše v závislosti na stupni projektové dokumentace a nároků na přesnost výstupních dat. Lze předpokládat že v prvních fázích projekčních prací na plánu společných zařízení nebude zapotřebí taková preciznost výstupů jako pro prováděcí dokumentaci. V souvislosti s tím nastává i problém volby výpočetního modelu resp. výpočetního softwaru.

1.1 Výpočetní modely

Při volbě modelu je potřeba znát předpoklady a omezení modelu, formu výstupů a především typ návrhových parametrů daného prvku. Přehled návrhových parametrů je shrnut v tabulce 1.

Tab. 1: Přehled technických opatření v krajině a návrhový parametr

Opatření	Návrhový Objem	Návrhový Průtok	Návrhová vlna
Zasakovací příkop	X		
Zasakovací průleh	X		
Odváděcí průleh		X	
Odváděcí příkop		X	
Ochranné hrázky	X		

Tab. 1: Přehled technických opatření v krajině a návrhový parametr

Opatření	Návrhový Objem	Návrhový Průtok	Návrhová vlna
Ochranné nádrže	X		
Cesty s protierozní funkcí		X	
Objekty na hydrografické síti (propustek, mostek, hospodářský přejezd)		X	
Suchá nádrž			X
Rozlivy do údolních niv VT		X	
Úpravy na VT		X	

Hydrologické modelování představuje v současnosti jeden z nejpoužívanějších způsobů hodnocení potenciálních srážko-odtokových událostí. V malých povodích hovoříme buď o nepozorovaných profilech anebo o úpravách mimo vodní tok, kde další metody (vyhodnocení čar překročení, statistické zpracování měřených dat, analogie atp.) jsou kvůli chybějícím detailním pozorováním hydrologicky relevantních veličin využitelné jen velmi vzácně. Neznalost nebo spíše nemožnost popisu přesného stavu povodí a všech procesů v hodnoceném systému vyžaduje zavedení různé míry zjednodušení do výpočtů - použití určitého modelu.[1]

Hydrologických modelů existuje celá řada tak i jejich klasifikace podle nej-různějších aspektů např.:

- časové měřítko(kontinuální, epizodní)
- velikost domény(globální, regionální, povodí, pozemky,jednotlivé svahy)
- prostorové členění modelované domény(celistvé, částečně nebo plně distribuované)
- složitost procesů v modelovaném systému (datově orientované, konceptuální, fyzikálně založené)

Hledisek rozdělení modelů je mnoho, zásadní je však rozdíl mezi podrobností popisu srážko-odtokového procesu a jejich náročnost na přesnost a rozsah vstupních dat. Datově orientované vycházejí z empirických vztahů mezi vstupem a výstupem, fyzikálně založené popisují matematicky probíhající procesy pomocí fyzikálních rovnic se snahou o co nejmenší zjednodušení zatímco konceptuální modely jsou kombinací mezi datově orientovanými a fyzikálně založenými modely. V českých podmínkách je nejčastěji používáno modelů jež shrnuty v tabulce 2.

Tab. 2: Přehled modelů a jejich aspekty

Model	Prostorové dělení a měřítko	Časové měřítko	Parametry srážky
Erosion 2D/3D	regionální	epizodní	hyetogram
WEPP	regionální/lokální	epizodní/ kontinuální	hyetogram
DesQ/MaxQ	1, nebo 2 desky povodí do $10km^2$	epizodní	blokový déšť
SMODERP 1D	1D svah	epizodní	hyetogram
SMODERP 2D	2D mikropovodí, distribuovaný	epizodní	hyetogram
SWAT	povodí, HRU-semidistribuovaný	kontinuální	řada úhrnnů
KINEROS	semidistribuovaný	epizodní	hyetogram
TOPKAPI	plně distribuovaný	kontinuální/ epizodní	řada
Topmodel	povodí, semidistribuovaný	kontinuální/ epizodní	řada
MikeSHE	půdní profil až povodí, plně distribuovaný	epizodní/ kontinuální	hyetogram, řada, mapy
HMS	celiství, semidistribuovaný	epizodní/ kontinuální	hyetogram
KINFIL	povodí, semidistribuovaný, kaskáda desek	epizodní	hyetogram
HydroCAD	malé povodí	epizodní	hyetogram

1.1.1 Metoda SCS-CN v kombinaci s jednotkovým hydrogramem

Metoda odtokových křivek (SCS CN - Soil Conservating Service Curve Number) je v českých zemích hojně implementováno do výpočetních modelů např. (DesQ-MaxQ, HydroCAD...), tato metoda je doporučována i v metodice pro ochranu zemědělské půdy před erozí vydané v roce 2012 [2].

1.1.2 SMODERP

Fyzikálně založený srážko-odtokový model je vyvíjen Katedrou hydromeliací a krajinného inženýrství na fakultě stavební ČVUT v Praze pod vedením Ing. Petra Kavky, Ph.D.. Model existuje ve dvou verzích 1D a 2D. V prvním přídě je do výpočtu zahrnuta infiltrace (Phillipsova rovnice) i povrchová retence. Program je dostupný na stránkách ústavu společně s manuálem použití. Vývoj je ukončen a nahrazen vývojem verze SMODERP 2D, která uvažuje kromě

plošného odtoku i procesy soustředěného odtoku v rýhách a odtok ve vodních tocích. Model 2D je koncipován jako přídatná knihovna do GIS prostředí, což může být jeho nevýhoda vzhledem k nutnosti vlastnit licenci softwaru ArcGIS, která není samozřejmostí v každé projekční kanceláři vzhledem k jeho značným pořizovacím nákladům. Model je však stále ve vývoji a předpokládá se jeho rozšíření i na volně dostupné GIS prostředí jako např. QGIS, QGRASS.... Výhodou může být použití volně šiřitelných dat jako registr LPIS, základní báze geografických dat ZABAGED atd..

1.1.3 MikeSHE

Fyzikálně založený model s celosvětovou působností v oboru vodního hospodářství. Výpočet probíhá v závislosti na rozsahu zakoupené licence od méně podrobných výpočtů až po komplexní koncepty výpočtu. Hlavní nevýhodou a omezení použití vychází z nutnosti široké palety vstupních a dat a v neposlední řadě značná pořizovací cena.

1.1.4 KINFIL

Software spíše založený pro vědecké účely než pro praktické využití v praxi, vychází z infiltrační teorie Greena a Ampt a MorelSeytoux. Model slouží hlavně ke stanovení návrhových průtoků pro různé scénáře využití agrárních nebo lesních oblastí či změnu urbanizace dané lokality. Model je podobně jako MikeSHE náročný na vstupní data proto je jeho použití značně složité.

1.1.5 DesQ-MaxQ

Hojně využívaný, komerční model který vychází z metody CN křivek. Výhodou je volná dostupnost vstupních dat, avšak to se stává i jeho relativní nevýhodou. Vstupní data pro model vyžadují geografické, hydrogeologické a hydrografické informace o uvažovaném území, jejichž neduhy a nedostatky dostupných dat budou popsány v kapitole 3 *Teorie - Popis modelu*. Vstupní srážka je uvažována jako blokový déšť a výpočet může probíhat ve variantě *jeden svah* nebo *dva svahy* ve tvaru otevřené knihy.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo vybrat model který by nejlépe vyhovoval požadavkům pro stanovení návrhových parametrů pro technická protierozní opatření, propustků, záchytných nádrží atd.. Hlavním předpokladem pro zvolení modely je volná dostupnost vstupních dat jako jsou, N-leté úhrny srážek, geografické činitele povodí a znalost půdního podloží.

Z tohoto důvodu byl vybrán model DesQ-MaxQ, který vyhovuje zadaným kritériím. Dokáže pracovat i s povodími které nemají výraznou nebo vůbec žádnou síť vodních toků, pro které neexistují data průtoků. Vstupní srážka do výpočtu vstupuje jako blokový déšť jehož intenzita je odvozena ze 24-hodinových úhrnů srážek metodou "Redukce jednodenních úhrnů". Tvar povodí je schematizováno jako rovinná nakloněná deska v případě výpočty pro jeden svah a dvou desek ve tvaru otevřené knihy v případě výpočtu pro dva svahy. Sklony povodí a údolnice jsou vypočítány jako průměrné hodnoty sklonů přírodního povodí. Informace o půdním podloží se odvodí z volně dostupných informací v rámci registru BPEJ(Bonitovaná Půdně Ekologická Jednotka), z kterých se odvodí Hlavní půdní jednotka a v souvislosti se způsobem využití uvažovaného území se odvodí číslo CN křivky.

V rámci diplomové práce byl vytvořen model nejprve v prostředí Excel, a následně vytvořen program s uživatelským rozhraním včetně instalačního souboru (RainRunoff.msi), který program nainstaluje do vybrané složky a vytvoří zástupce na ploše. Program je napsán v programovacím jazyku C# a programovacím prostředí Microsoft Visual Studio s podporou tvorby aplikací Windows Forms.

3 Teorie - Popis modelu

Hydrologický model DesQ byl vytvořen prof. Hrádkem v roce 1997. V roce 2000 byl aktualizován na základě připomínek uživatelů a nového výzkumu autorů. Aktualizovaná verze nese název DesQ – MaxQ. Zkratka DesQ znamená návrhový průtok, MaxQ potom maximální průtok v souvislosti s průchodem povodňových vln. Model je určen pro povodí typu otevřené knihy, do velikosti 10 km^2 . V případě větších povodí lze model použít na menších subpovodích a superpozicí hydrogramů vytvořit hydrogram pro celé povodí. Jak z charakteristiky vyplývá, model je určen pro neměřená malá povodí. K jeho aplikaci tak nepotřebujeme žádné údaje o průtocích a vodních stavech na drobných vodních tocích. Svým charakterem se jedná o „black-box“ deterministický model, je tak vhodný pro užívání v geografii bez speciálních znalostí hydrodynamiky a hydrauliky.

Zjednodušující předpoklady řešení:

- Uvažujeme modelové povodí s rovinnými svahy, na němž odtok ze svahů je přítokem do údolnice.
- Povodí je zasaženo přívalovým deštěm doby trvání t_{dk} ne t_d (variabilně v programu) s konstantní intenzitou deště rovnoměrného plošného rozložení
- Přítokem na povodí je efektivní déšť, takže při hydraulickém řešení můžeme uvažovat povodí za nepropustné, bez retenční schopnosti povrchu
- Maximálnímu průtoku v uzavírajícím profilu povodí dochází v době koncentrace, kdy přítoková intenzita na povodí je rovna odtokové intenzitě (ustálený stav) [3]

3.1 Odvození vstupních charakteristik modelu

Přírodní povodí je povodí ohraničené rozvodnicí povrchových vod k danému uzavírajícímu profilu. Odvozuje se z topografické mapy, nebo s použitím CAD nebo GIS systémů. Předpokládá se stejný průběh rozvodnice povrchových a podpovrchových vod.

Výpočtové povodí je přírodní povodí nebo jeho část (dílčí povodí), o němž se předpokládá že jeho celá plocha je zasažena přívalovým deštěm konstantní intenzity po celé ploše.

Modelové povodí je základním plošným elementem výpočtového povodí. Představuje samostatný rovinný svah nebo povodí ve tvaru otevřené knihy. S rovinnými svahy, kterými je povodí schematizováno. Výpočtové povodí může být nahrazeno jedním nebo několika modelovými povodími. [4]

3.1.1 Geometrické charakteristiky modelového povodí

Geometrické charakteristiky modelového povodí jsou určovány pomocí CAD nebo GIS systémů, v krajním případě je možno využít volně dostupných GIS služeb např. www.cuzk.cz, nebo z topografické mapy odpovídajícího měřítko.

Plocha povodí F je plocha povodí ohraničená rozvodnicí k uzávěrovému profilu. Celková plocha povodí je uvažována jako součet plochy levého F_{sL} a pravého svahu F_{sP} , při výpočtu pro dva svahy. Uvažuje se plocha půdorysného průmětu. Plocha vstupuje do výpočtu v m^2 .

Délka údolnice L_u je délka trasy hlavního toku, prodloužená údolím až k rozvodnici. Měří se od uzavírajícího profilu až k rozvodnici, drobné meandry se zanedbávají. Délka je udávána v m .

Střední délka svahu L_s je průměrná délka dráhy svahového odtoku při vodorovné údolnici (kolmá k údolnici). Vypočte se dle vztahu:

$$L_s = \frac{F_s}{L_u} \quad (3.1)$$

L_s Střední délka svahu [m]
 F_s plocha svahu [m^2]
 L_u délka údolnice [m]

Dráha svahového odtoku L_{so} je délka svahového odtoku na MP jsou délky spádnice rovinné plochy svahu navzájem rovnoběžné. Jsou dány vztahem:

$$L_{so} = \frac{F_s}{L_u} \left(1 + \left(\frac{I_u}{I_s} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.2)$$

L_s Střední délka svahu [m]
 F_s plocha svahu [m^2]
 I_s Průměrný sklon svahu [%]
 I_u Průměrný sklon údolnice [%]

L_u délka údolnice [m]

3.2 Řešení svahového odtoku

Při řešení výpočtu svahového odtoku se využívají hydrologicko-hydraulické závislosti které lze nejjednodušeji odvodit pro "idealizovanou odtokovou plochu". V této souvislosti definujeme několik pojmů:

3.2.1 Sklonové poměry povodí

Průměrný sklon svahu I_s je definován jako relativní klon průsečnice svislé roviny kolmé na údolnici a rovinou svahu.[3] Lze ji vypočítat na základě vztahu uvedeného v hydrologické směrnici (3.3) kde se jedná o vážený průměr sklonů svahu a jejich příslušných ploch, nebo dle Čerkašína(1963) (3.4) uvedeného v manuálu k programu DesQ[4]. Sklon lze určit i s pomocí GIS systému, které využívají analýzu digitálního modelu terénu.

$$I_s = \frac{\sum I_{s1,i} \cdot f_i}{\sum f_i} \quad (3.3)$$

I_s Průměrný sklon svahu [%]
 f_i plocha elementárního proužku [%]
 $I_{s,i}$ sklon elementárního proužku [m]

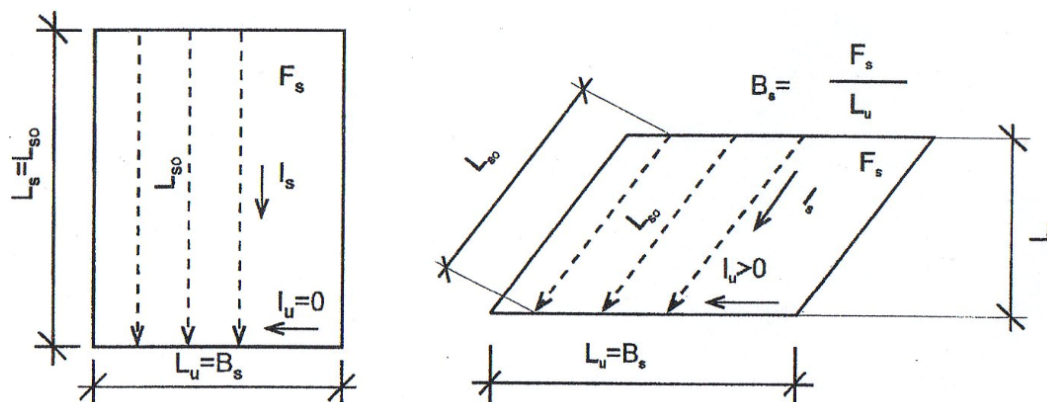
$$I_s = \frac{\Delta h(0,5L_1 - L_2 + \dots + L_{jj-1} + 0,5L_{jj})}{F_s} \quad (3.4)$$

I_s Průměrný sklon svahu [%]
 Δh interval vrstevnic [m]
 L_1 délka nejnižší vrstevnice [m]
 L_{jj} délka nejvyšší vrstevnice [m]
 $L_{jj} - L_{j-1}$ délky mezilehlých vrstevnic [m]

Průměrný sklon údolnice Je dán jako podíl rozdílu nejvyšší a nejnižší nadmořské výšky vrstevnice a délky údolnice.

$$I_u = \frac{\Delta H}{L_u} \cdot 100 \quad (3.5)$$

I_u Průměrný sklon údolnice [%]
 ΔH .. Rozdíl nejvyšší a nejnižšího bodu údolnice [m]
 L_u délka vrstevnice [m]



Obr. 1: Sklonové a Geometrické poměry MP [5]

3.3 Půdní charakteristiky a způsob využívání pozemků v povodí

Půdní charakteristiky a způsob využívání pozemků jsou podkladem pro odvození charakteristik přímého odtoku z povodí dle metody CN křivek. Vstupní charakteristikou do modelu DesQ je číslo odtokové křivky CN, které se odvodí z pokladů, uvedených v následujících tabulkách.[4]

Jednou ze vstupních informací pro určení půdních charakteristik je kód BPEJ. Bonitovaná půdně ekologická jednotka slouží k hodnocení absolutní i relativní produkční schopnosti zemědělských půd a podmínek jejich nejúčelnějšího využití. Bonitovaná půdně ekologická jednotka je charakterizována pětímístným kódem. První číslice vyjadřuje příslušnost ke klimatickému regionu. Druhá a třetí číslice určuje zařazení půdy do hlavní půdní jednotky klasifikační soustavy (HPJ). Čtvrtá stanovuje stupeň sklonitosti a příslušnou expozici ke světovým stranám ve vzájemné kombinaci, pátá číslice vyjadřuje hloubku půdy a skeletovitost půdního profilu ve vzájemné kombinaci. Základní soustava vymezuje 2140 BPEJ, pro které jsou k dispozici i ekonomické charakteristiky a nově vymezených 138 kódů, pro které je nutné nejprve ekonomické charakteristiky vyhodnotit. [6]

3.3.1 HSP Hydrologická skupina půd

Hydrologická skupina půd se rozděluje do 4 skupin A, B, C a D podle schopnosti infiltrace povrchové vody. Její určení může být dvěma způsoby, prvním způsobem podle infiltrační rychlosti. Rychlosti infiltrací jsou shrnuty v Tab. 3. Tato metoda vyžaduje provedení polní zkoušky infiltrace a tudíž větší náročnost na vstupní data oproti variantě druhé, která využívá kódu BPEJ resp. kódu HPJ (2. a 3. číslo kódu BPEJ). Použitá tabulka hodnot HPJ a HSP je uvedena v Tab. 4.

Tab. 3: Charakteristika hydrologických vlastností

Charakteristika hydrologických vlastností	Skupina půd
Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ($>0,12 \text{ mm.min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnuje převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky a šterky	A
Půdy se střední rychlostí infiltrace ($0,12-0,06 \text{ mm.min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité	B
Půdy s nízkou rychlostí infiltrací ($0,02-0,06 \text{ mm.min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v původním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité	C
Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ($>0,20 \text{ mm.min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím	D

Tab. 4: Kategorie BPEJ a hydrologické skupiny HSP

Kategorie v mapě BPEJ	Substrát	Skupina půd
1	Spraš	B
2	Spraš	B
3	Spraš, spraš-slín	B
4	Lehké substráty	A
5	Spraš/písek	B
6	Slín(vylehčený Ap)	D
7	Slín, slinitý jíl	D

Tab. 4: Kategorie BPEJ a hydrologické skupiny HSP

Kategorie v mapě BPEJ	Substrát	Skupina půd
8	Sprašové mat., (slín)	B
9	Spraš	B
10	Spraš	B
11	Spraš. Hlína	B
12	Polygenetická hlín	B
13	Hlína-lehký mat.	B
14	Sprašová nebo polygenetická hlína	B
15	Polygenetická hlína	B
16	Zahliněné (štěrko)písky	B
17	Písky (hlinité proplástky)	A
18	Svahoviny vápenců, terrae	C
19	Opuky, slínovce	C
20	Slíny	D
21	Písky	A
22	Zahliněné (štěrko)písky	B
23	Písek/jíl	B
24	Svahoviny flyš S-St	C
25	Svahoviny, opuky S-(tS)	B
26	Svahoviny břidlic S-(tS)	B
27	Svahoviny břidlic, drob. Flyš 1S	B
28	Svahoviny bázik S	B
29	Svahoviny eruptiv. Metamorfik IS-S	B
30	Svahoviny, permokarbon S-St	B
31	Svahoviny pískovců 1S-L	A
32	Svahoviny eruptiv. Metamorfik S-tS	A
33	Svahoviny, permokarbon S-tS	C
34	svahoviny, eruptivní mertamorfy	B
35	svahoviny, sediment. hor.	B
36	Svahoviny	B
37	Rozpad horniny svahoviny	B
38	Rozpad horniny svahoviny	D
39	Rozpad. Horniny	D
40	Lehké až 1S	B
41	Střední těžké	D
42	Sprašová hlína	C
43	Sprašová hlína	C

Tab. 4: Kategorie BPEJ a hydrologické skupiny HSP

Kategorie v mapě BPEJ	Substrát	Skupina půd
44	Sprašová hlína	C
45	Polygenetická hlína	C
47	Polygenetická hlína	C
48	Svahoviny břidlic S	C
49	Svahoviny těžké tS-T	D
50	Svahoviny eruptiv. Metamorfik S - 1S	C
51	zahloněné štěrkopísky	C
52	Limnický terciér IS	C
53	Terciérní substr. S/T	C
54	Jíly	D
55	Lehké Nivní sedimenty	A
56	Střední nivní sedimenty	B
57	Těžké nivní sedimenty	D
58	Střední nivní sedimenty	C
59	Těžké nivní sedimenty	D
60	Nívní, sprašové sedimenty S	B
61	Slíny, nivní sedimenty	C
62	Nívní sedimenty a jiné S	C
63	Slíny, nivní sedimenty	D
64-76	Hydromorfní půdy, nutnost individuálního řešení	C

3.3.2 Využití půdy, způsob obdělávání a hydrologické podmínky

Další nutná informace pro určení odtokové křivky je určení využití půdy jejího způsobu obdělávání a hydrologických podmínek dané oblasti. V případě výpočtu povrchového odtoku v modelu desQ není uvažováno s lesními plochami. Zemědělské využití ploch lze orientačně zjistit z veřejného registru LPIS(Land parcel Identification System) ale vhodnější je terénní průzkum popř. komunikace s uživatelem zemědělské plochy. Dále je vhodné výpočet provést pro více možností pravděpodobných zemědělského využití v budoucnosti a zvážit nejhorší návrhový stav pro danou oblast. to stejné se týká Způsobu obdělávání i hydrologických podmínek, jelikož není možné zaručit stejné využití ploch i v budoucích letech. Proto volba podmínek záleží do jisté míry i na zkušenostech projektanta.

Možnosti využití půdy jsou uvedeny v Tab. 5. Ve které ke každé možnosti využití, způsobu obdělávání a hydrologických podmínek jsou přiřazeny 4 čísla CN odtokových křivek a spolu s určením hydrologické skupiny půd je jasné definováno právě jedno číslo CN křivky.

3.3.3 Určení čísel odtokových křivek

Vstupní informace pro určení čísla odtokové křivky byly popsány v předchozí podkapitole. Následující tabulka slouží k určení čísel CN křivek. Vysvětlivky ke zkratkám v tabulce:

- **Pz** posklizňové zbytky na 5% povrchu po celý rok
- **Př** přímé řádky vedené bez ohledu na sklon pozemku, tedy i po spádnicí
- **Vř** vrstevnicové řádky vedené přesně ve směru vrstevnic - konturově, při sklonu pozemku menším než 2% je obdělávání napříč svahu v přímých řádcích rovnocenné vrstevnicovému
- **Pr** pásové pěstované plodiny a příčně situované průlehy na pozemku
- **Db** dobré hydrologické podmínky zvyšující infiltraci a snižující odtok, kdy je více než 20% povrchu pokryto zbytky rostlin, tj. více než 850kg.ha^{-1} u širokořádkových plodin nebo 350kg.ha^{-1} u úzkořádkových plodin
- **Stř** střední hydrologické podmínky
- **Šp** špatné hydrologické podmínky omezující infiltraci vody do půdy a zvyšující odtok, s menším množstvím posklizňových zbytků než při Db

Tab. 5: Hospodářské využití a čísla CN křivek

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla CN křivek			
			A	B	C	D
Úhor	čerstvě zkypřený	běžné(úhor)	77	86	91	94
Úhor	Pz	Šp	76	85	90	93
Úhor	Pz	Db	74	83	88	90
Širokořádkové plodiny (okop.)	Př (š)	Šp	72	81	88	91
Širokořádkové plodiny (okop.)	Př(š)	Db	67	78	85	89
Širokořádkové plodiny (okop.)	Př+Pz (š)	Šp	71	80	87	90

Tab. 5: Hospodářské využití a čísla CN křivek

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla CN křivek			
Širokořádkové plodiny (okop.)	Př+Pz(š)	Db	64	75	82	85
Širokořádkové plodiny (okop.)	Vř (š)	Šp	70	79	84	88
Širokořádkové plodiny (okop.)	Vř (š)	Db	65	75	82	86
Širokořádkové plodiny (okop.)	Vř+Pz (š)	Šp	59	78	83	87
Širokořádkové plodiny (okop.)	Vř+Pz (š)	Db	64	74	81	85
Širokořádkové plodiny (okop.)	Vř+Pr (š)	Šp	66	74	80	82
Širokořádkové plodiny (okop.)	Vř+Pr (š)	Db	62	71	78	81
Širokořádkové plodiny (okop.)	Vř+Pr+Pz (š)	Šp	65	73	79	81
Širokořádkové plodiny (okop.)	Vř+Pr+Pz (š)	Db	61	70	77	80
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Př (úř)	Šp	65	76	84	88
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Př (úř)	Db	63	75	83	87
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Př+Pz (úř)	Šp	64	75	83	86
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Př+Pz (úř)	Db	60	72	80	84
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Vř (úř)	Šp	63	74	82	85
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Vř (úř)	Db	61	73	81	84
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Vř+Pz (úř)	Šp	62	73	81	84
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Vř+Pz (úř)	Db	60	72	80	83
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Vř+Pr (úř)	Šp	60	72	79	82

Tab. 5: Hospodářské využití a čísla CN křivek

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla CN křivek			
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Vř+Pr (úř)	Db	59	70	78	81
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Vř+Pr+Pz (úř)	Šp	60	71	78	81
Úzkokořádkové plodiny (obilniny)	Vř+Pr+Pz (úř)	Db	58	69	77	81
Víceleté pícniny, luštěniny	Př (v)	Šp	66	77	85	89
Víceleté pícniny, luštěniny	Př (v)	Db	58	72	81	85
Víceleté pícniny, luštěniny	Vř (v)	Šp	64	75	83	85
Víceleté pícniny, luštěniny	Vř (v)	Db	55	69	78	83
Víceleté pícniny, luštěniny	Vř+Pz (v)	Šp	63	73	80	83
Víceleté pícniny, luštěniny	Vř+Pz (v)	Db	51	67	76	80
Pastviny s pokryvem	<50% (past)	průměrné	58	79	86	89
Pastviny s pokryvem	50-75% (past)	průměrné	49	69	79	84
Pastviny s pokryvem	>75% (past)	průměrné	39	61	74	80
Louky	sklizené	průměrné	30	58	71	78
Křoviny s pokryvem	<50% (křov)	průměrné	48	67	77	83
Křoviny s pokryvem	50-75% (křov)	průměrné	35	56	70	77
Křoviny s pokryvem	>75% (křov)	průměrné	30	48	65	73
Sady se zatravněným meziřadím	běžné (sady)	Šp	57	73	82	86
Sady se zatravněným meziřadím	běžné (sady)	Stř	43	65	76	82

Tab. 5: Hospodářské využití a čísla CN křivek

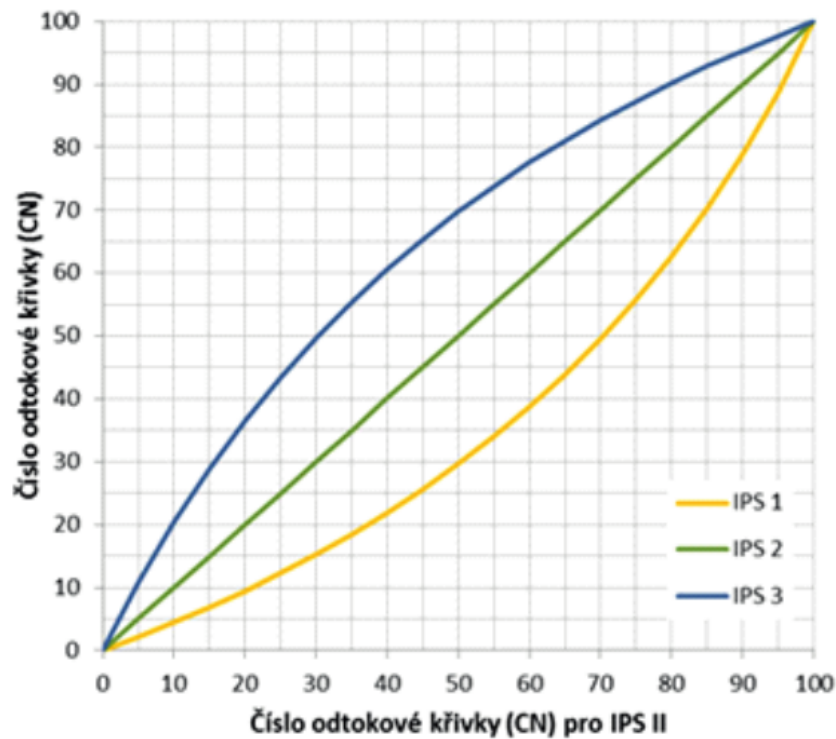
Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla CN křivek			
Sady se zatravněným meziřadím	běžné (sady)	Db	32	58	72	79
Zemědělské dvory	běžné (dvory)	běžné	59	74	82	86
Komunikace s příkopy	makadamové, šterkové	běžné	83	89	92	93
Komunikace s příkopy	hlíněné	běžné	76	85	89	91
Komunikace s příkopy	nespecifikováno	běžné	72	82	87	89
Nepropustné	plochy (neprop)	běžné	98	98	98	98

Dobrá nebo špatné hydrologické podmínky zemědělských půd závisí především na hustotě zapojení porostu během roku, procentuální zastoupení jeteletrav v osevním postupu, množství posklizňových zbytků na povrchu půdy ($>20\%$ Db) a na drsnosti povrchu. Průměrná čísla křivek odtoku CN odpovídají průměrným hospodářským podmínkám během vegetačního období. Sezónní změny Cn lze vyjadřovat tak, že pro období orání a setí (sázení) CN odpovídá úhoru. Mezi výsevem (výsadbou) a před vrcholovým růstem odpovídající CN průměrům. V období vrcholového růstu, zpravidla před sklizní, je $CN = 2CN_{\emptyset} - CN_{hor}$. Po sklizni závisí CN na zakrytí povrchu půdy rostlinnými zbytky. Pokud jsou $2/3$ povrchu půdy bez pokryvu, pak CN odpovídá úhoru, pokud je $1/3$ bez pokryvu, odpovídá průměrnému CN. [2]

Dalším faktorem ovlivňující číslo CN je aktuální vlhkost půdy. Do výpočtu může být zahrnu ta ve třech stupních a to IPS I, IPS II a IPS III, kde první možnost je nejméně nasycená a třetí nejvíce nasycená. Dle metodiky se určuje na základě úhrnu srážek za posledních 5 dní. Při praktické aplikaci se však použije IPS II jako průměrné vláhové podmínky popř. IPS III při úvaze použít horší návrhový stav. IPS I z toho pohledu nemá význam protože dosažené výsledky by bylo pro návrhový stav který by nastal je v určité části v roce. Číslo CN určené z předchozího vztahu se podle vláhových podmínek přepočte podle následujících vztahů v závislosti na IPS. IPS II odpovídá průměrnému CN určenému z předchozího kroku.

$$CN_{IPS_I} = 4,2CN_{IPS_{II}}/(10 - 0,058CN_{IPS_{II}}) \quad (3.6)$$

$$CN_{IPS_{III}} = 23CN_{IPS_{II}}/(10 + 0,13CN_{IPS_{II}}) \quad (3.7)$$



Obr. 2: Čísla odtokové křivky pro indexy předchozího nasycení IPS I-III [1]

3.4 Drsnostní charakteristika povrchu povodí

Při řešení hydrologicko-hydraulických závislostí v procesu povrchového odtoku lze uvažovat drsnostní charakteristiku podle vztahů dle Bazina nebo dle Manninga. Drsnostní součinitel dle Manninga n je bezrozměrný součinitel oproti Bazinova drsnostního součinitele γ který má jednotku [s](sekunda).

Hlavním vstupem do výpočtu povrchového odtoku je hydraulická charakteristika As . Pro její výpočet musíme nejdřív spočítat parametr vyjadřující vliv drsnosti a sklonu a a drsnostní charakteristiku m . Drsnostní charakteristika se určí dle následujících vztahů:

$$\text{dle Bazina} \quad m = \frac{87}{\gamma} \quad (3.8)$$

$$\text{dle Manninga} \quad m = \frac{1}{n} \quad (3.9)$$

Parametr vyjadřující vliv drsnosti a sklonu:

$$a = m \cdot I_s^{\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

I_s	Průměrný sklon svahu [%]
m	Drsnostní charakteristika [-]
a	drsnostní charakteristika [-]

Následně můžeme vypočítat hydraulickou charakteristiku svahu:

$$As = a^{-1} \cdot L_{so} \quad (3.11)$$

I_s	Průměrný sklon svahu [%]
m	Drsnostní charakteristika [-]
a	drsnostní charakteristika [-]

3.5 Metoda redukce 1-denních maximálních srážkových úhrnů

Přívalový déšť, proměnné intenzity v čase, je v modelu DesQ-MaxQ nahrazen výpočtovým deštěm s náhradní intenzitou, příslušnou době jeho trvání a periodicitě výskytu. Pro výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů je použita metoda redukce 1-denních maximálních srážkových úhrnů. Potřebnými vstupy jsou právě jednodenní srážkové úhrny pro dané N-letosti H_{1d_N} . [4]

Princip metody vychází z určení redukčního součinitele ψ . Ten je definován pomocí délky trvání srážky a pro ni odvozených regionálních koeficientů. S tím nastává hlavní problém této metody. Koeficienty odvozené v roce 1985 jsou platné pouze pro oblast povodí Labe, tudíž jejich použití na jiné oblasti je značně diskutabilní. Délka srážky je rozdělena do 3 skupin dle trvání srážky a to 10-40 minut, 40-120 minut a 120 a 1440 minut. Všechny hodnoty jsou shrnuty v Tab.6.

Rovnice pro výpočet redukčního součinitele je ve tvaru:

$$\psi = a_d \cdot t^{1-c} \quad (3.12)$$

t	Délka trvání srážky [min]
a_d	Parametr srážky [-]
$1 - c$	Parametr srážky [-]

Následně je možné vypočítat úhrn a intenzitu návrhové srážky pro danou délku trvání srážky t a dobu opakování N .

$$H_{t,N} = \psi \cdot H_{1d,N} \quad (3.13)$$

$H_{t,N}$ Návrhový úhrn srážky [-]
 ψ Redukční součinitel [-]
 $H_{1d,N}$.1-denní úhrn srážky pro dobu opakování N [-]

$$i_{t,N} = c_d \cdot t_d^{-c} \quad (3.14)$$

$i_{t,N}$ Návrhová intenzita srážky [-]
 c_d Parametr srážky [-]
 $H_{1d,N}$.1-denní úhrn srážky pro dobu opakování N [-]

kde:

$$c_d = H_{1d,N} \cdot a_d \quad (3.15)$$

a_d Parametr srážky [-]
 $H_{1d,N}$.1-denní úhrn srážky pro dobu opakování N [-]

Tab. 6: Hodnoty koeficientů a_d a c pro povodí Labe

N	t			
(roky)	(min)	10-40	40-120	120-1440
2	a_d	0.166	0.237	0.235
2	1-c	0.299	0.197	0.199
2	c	0.701	0.803	0.801
5	a_d	0.171	0.265	0.324
5	1-c	0.312	0.197	0.155
5	c	0.688	0.803	0.845
10	a_d	0.163	0.280	0.380
10	1-c	0.344	0.197	0.133
10	c	0.656	0.803	0.867
20	a_d	0.169	0.300	0.463
20	1-c	0.352	0.197	0.106
20	c	0.648	0.803	0.894
50	a_d	0.174	0.323	0.580

Tab. 6: Hodnoty koeficientů a_d a c pro povodí Labe

N	t			
50	1-c	0.362	0.197	0.075
50	c	0.638	0.803	0.925
100	a_d	0.173	0.335	0.642
100	1-c	0.375	0.197	0.061
100	c	0.625	0.803	0.939

3.6 Hydrologicko-hydraulické závislosti

- **IEOP** Idealizovaná Elementární odtoková plocha, definovaná jako nakloněná deska s homogenním nepropustným povrchem
- **EOP** Elementární Odtoková Plocha, definovaná jako nakloněná deska s homogenním propustným povrchem a přírodním pokryvem, EOP představují svahy "*modelového povodí*", kterým schematizujeme přírodní povodí za účelem matematického modelování odtoku v uzavírajícím profilu povodí
- **MP** Modelové Povodí, je definováno jako povodí ve tvaru "otevřené knihy", jehož svahy tvoří elementární odtokové plochy [5]

Model DesQ využívá následujících zjednodušujících předpokladů pro odvození hydraulických závislostí při svahovém odtoku na elementární odtokové ploše:

- Tvar EOP je schematizován obdélníkem nebo Lichoběžníkem.
- EOP je zasažena přívalovým (výpočtovým) deštěm konstantní intenzity i_d a v době svého trvání t_d , rovnoměrného plošného rozložení. Efektivní dešť představuje přítok na svah, jehož objem je rovný objemu odtoku.
- Svah je uvažován jako propustný, pokryv svahu, geologické a půdní poměry odpovídají přírodnímu povodí (prototypu). Průměrné charakteristiky těchto poměrů se odvozují váženým průměrem, dle plošného zastoupení půd, druhů způsobu využívání pozemků v povodí, apod.
- Analytické vztahy odvozené pro IEOP lze využít pro EOP při nahrazení výpočtového deště deštěm efektivním, intenzity i_{sp} a doby trvání t_{sp}
- Hydraulické řešení vychází z modelu kinematické vlny, který využívá zjednodušených St. Venantových rovnic, rovnice kontinuity je ponechána v diferenciálním tvaru:

$$\frac{\delta y}{\delta t} + \frac{\delta q}{\delta x} = i_{sp} \quad (3.16)$$

y	.....	výška vrstvy odtékající vody [m]
x	.....	délka svahu [m]
i_{sp}	.....	intenzita přítoku(efektivního deště) [$m.s^{-1}$]
t	.....	čas [s]
q	.....	průtok z jednotkové šířky svahu [$m^2.s^{-1}$]

a dynamická podmínka je zjednodušena do tvaru:

$$q = a.y^b \quad (3.17)$$

y	.....	výška vrstvy odtékající vody [m]
a, b	.....	hydraulické parametry [-]
q	.....	průtok z jednotkové šířky svahu [$m^2.s^{-1}$]

Základní rovnice vycházející z modelu kinematické povodňové vlny:

$$\begin{aligned} y &= f(x, t) & v &= (f, x, t) & q &= f(x, t) \\ v &..... & & & & \text{střední profilová rychlost } [m.s^{-1}] \end{aligned} \quad (3.18)$$

3.7 Maximální odtok ze svahu modelového povodí

3.7.1 Přítok na svah

Předpokládá se zasažení celé plochy přívalovým deštěm doby trvání t_d a příslušné intenzity i_d . Závislost intenzity na době jeho trvání je vyjádřena vztahem:

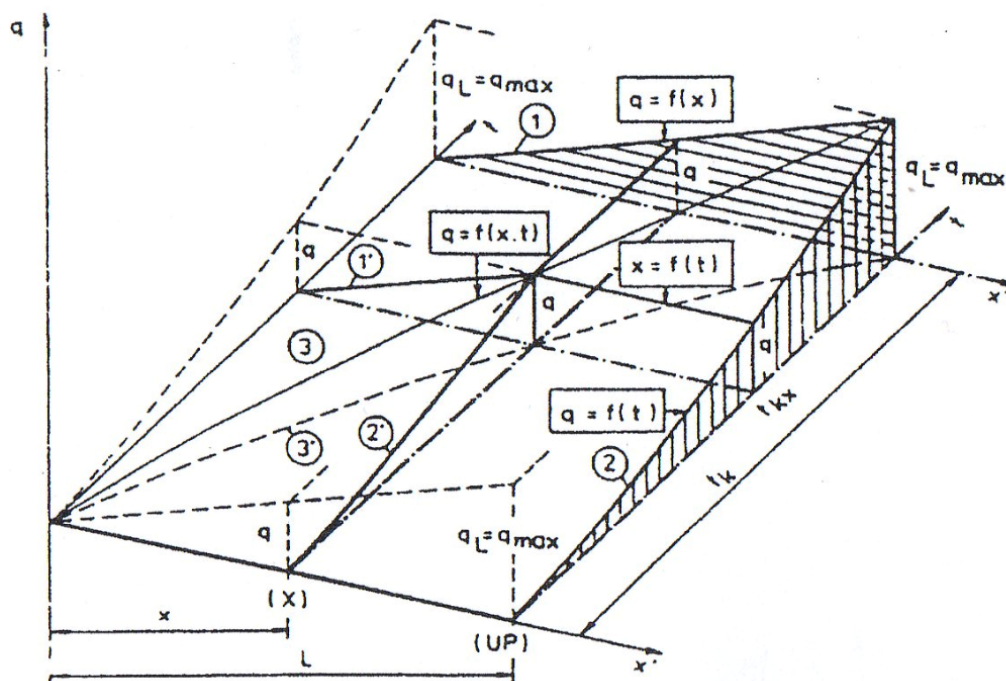
$$i_d = c_d.t_d^{-c} \quad (3.19)$$

Objem deště vyjádřen výškou deště:

$$H_d = c_d.t_d^{1-c} \quad (3.20)$$

Výška efektivního deště(přítok na svah) je odvozena dle metody CN-křivek, dle metodiky *Soil conservation service z roku 1972* [7]:

$$H_{ed} = \frac{(H_d - R_1)^2}{H_d + R_p - R_1} \quad \text{za podmínky } H_d > R_1 \quad (3.21)$$



Obr. 3: Hydraulické závislosti procesu svahového odtoku [4]

H_{ed} výška efektivního deště [mm]
 H_d výška deště [mm]
 R_p potenciální retence povrchu [mm]
 R_1 počáteční retence povrchu v bezodtokové fázi [mm]

Přičemž počáteční retence je uvažována jako redukováná 20% hodnota retence potencionální.

$$R_1 = 0,2 \cdot r \cdot R_p \quad (3.22)$$

kde R_p lze vyjádřit jako:

$$r = \left(\frac{H_{1d,N}}{H_{1d,100}} \right)^2 \quad (3.23)$$

r redukční součinitel [-]
 α exponent $\alpha = f(N) = 0,8992^{-0,3035}$ [-]
 $H_{1d,N}$... 1-denní maximální úhrn s dobou opakování N-let [mm]
 $H_{1d,100}$ 1-denní maximální úhrn s dobou opakování 100 let [mm]

V původní metodice SCS je počáteční retence uvažována jako $R_p = 0,20 \cdot R_p$,

tento odhad je však velmi hrubý, proto byl citlivostní analýzou model DesQ určen redukční koeficient r. [5]

Hodnota potenciální retence je vyjádřena jako:

$$R_p = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3.24)$$

R_p potenciální retence [mm]
 CN číslo odtokové křivky [-]

Dobu efektivního deště lze stanovit jako:

$$t_{ed} = t_d - t_1 \quad (3.25)$$

t_{ed} doba trvání efektivního deště [min]
 t_d doba trvání přívalového deště [min]
 t_1 doba trvání bezodtokové fáze [min]

kde:

$$t_1 = \frac{R_1}{i_d} \quad (3.26)$$

i_d intenzita přívalového deště [$mm \cdot min^{-1}$]
 R_1 potenciální retence [mm]

Ze vztahů 3.20, 3.21 a 3.25 lze vyjádřit intenzitu efektivního deště jako:

$$i_{ed} = \frac{(c_d \cdot t_d^{1-c} - R_1)^2}{(t_d - R_1 \cdot c_d^{-1} \cdot t_d^c) \cdot (c_d \cdot t_d^{1-c} + R_p - R_1)} \quad (3.27)$$

zároveň i jako:

$$i_{ed} = \frac{H_{ed}}{t_{ed}} \quad (3.28)$$

H_{ed} výška efektivního deště [mm]

3.7.2 Odtok ze svahu

Doba koncentrace je obecně definována jako doba, za kterou se v uzavíracím profilu soustředí voda z celé plochy, dojde k ustálení hladiny vody po celé délce svahu. V uzavíracím profilu svahu se vytvoří maximální výška vrstvy

vody. Doba koncentrace je často definována jako nejdelší doba doběhu částice vody z povodí do posuzovaného (uzavírajícího) profilu. [5]

Doba koncentrace je vyjádřena jako: zároveň i jako:

$$t_{sk} = A_s^{\frac{1}{b}} \cdot i_{sp}^{\frac{1-b}{b}} \quad \text{za předpokladu} \quad i_{sp} = i_{ed} \quad (3.29)$$

$$b = \frac{5}{3} \quad \dots\dots\dots \text{při vyjádření m dle Manninga [-]}$$

$$b = 2 \quad \dots\dots\dots \text{pro vyjádření m dle Bazina [-]}$$

Intenzita v době koncentrace je maximální intenzitou odtoku ze svahu při době trvání přítoku $t_{sk} < t_{sp}$

$$i_{sk} = A_s^{\frac{1}{b-1}} \cdot i_{sp}^{\frac{b}{1-b}} \quad \text{za předpokladu} \quad i_{sp} = i_{ed} \quad (3.30)$$

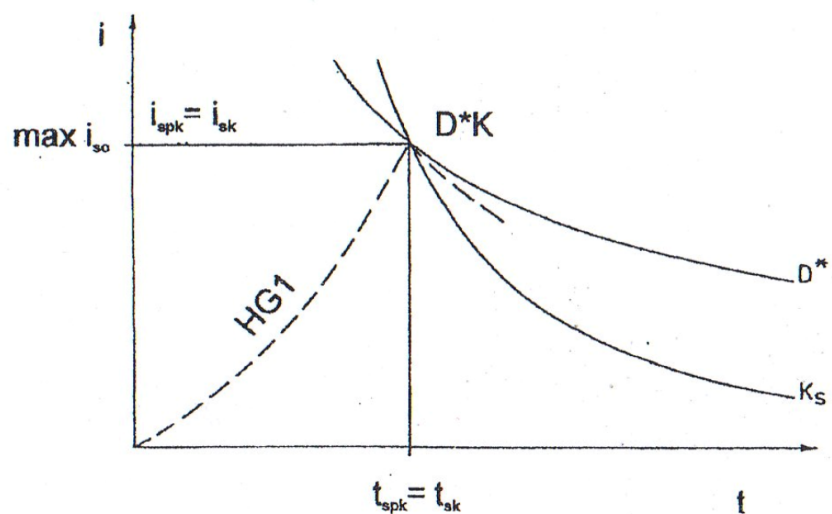
V době koncentrace platí $i_{sk} = i_{sp}$. [5]

pro řešení maximální intenzity odtoku ze svahu je nutné definovat *přítokovou křivku D* vyjadřující vztah $i_{sp} = f(t_{sp})$ a *křivku koncentrace* K_s danou vztahem $i_{sk} = f(t_{sk})$. Výpočet může probíhat ve třech variantách a to v závislosti mezi návrhové délky trvání srážky t_d a délce trvání kritického deště t_{dk} . Kritický déšť je definován jako doba trvání srážky, která vyvolá nejvyšší možnou intenzitu odtoku ze svahu.

- Když $t_d = t_{dk}$ výpočet dle **VARIANTA I**
- Když $t_d > t_{dk}$ výpočet dle **VARIANTA II**
- Když $t_d < t_{dk}$ výpočet dle **VARIANTA III**

VARIANTA I Maximální intenzita odtoku je vyvolána deštěm kritické doby trvání t_{dk} . Odpovídající kritická doba trvání přítoku je rovná době koncentrace. Řešení je graficky schematizováno na obr. 4, kde HG1 je vzestupné větve hydrogramu. . Princip řešení spočívá v řešení soustavy rovnic $i_{sp} = f(t_{sp})$ a $i_{sk} = f(t_{sk})$. Předpokládá se že kritická doba trvání přítoku na svah t_{spk} je doba trvání efektivního deště. Podmínkou vzniku maximální intenzity odtoku ze svahu je rovnost doby trvání přítoku a doby koncentrace na svahu. [5]

$$t_d = t_{dk} \quad \text{zároveň} \quad t_{sp} = t_{spk} = t_{sk} \quad (3.31)$$



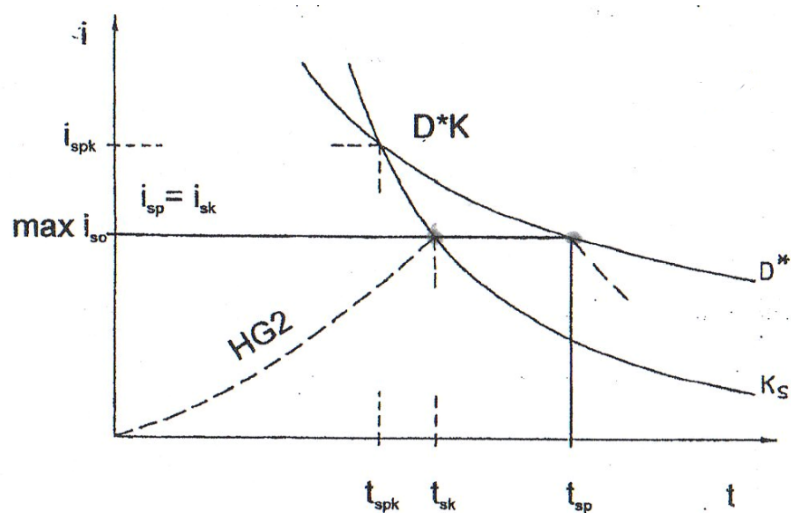
Obr. 4: Grafické řešení maximální intenzity odtoku VARIANTA I [5]

VARIANTA II Výpočet maximální intenzity odtoku ze svahu při **zadané** době trvání deště:

$$t_d > t_{dk} \quad \text{zároveň} \quad t_{sp} > t_{sk} \quad (3.32)$$

Řešení je znázorněno na obr. 5. Maximální intenzita odtoku nastává v době koncentrace t_{sk} , a trvá až do ukončení přítoku t_{sp} .

$$\max i_{so} = i_{sp} \quad (3.33)$$



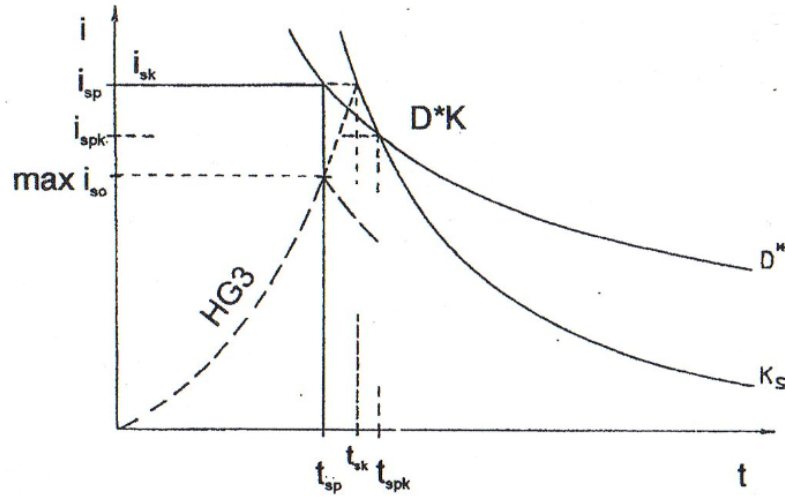
Obr. 5: Grafické řešení maximální intenzity odtoku VARIANTA II [5]

VARIANTA III Výpočet maximální intenzity odtoku ze svahu při **zadané** době trvání deště:

$$t_d < t_{dk} \quad \text{zároveň} \quad t_{sp} < t_{sk} \quad (3.34)$$

Řešení je znázorněno na obr.6. Maximální intenzita odtoku nastává v době ukončení přítoku t_{sp} , maximální intenzita odtoku $max \ i_{so} < i_{sp}$, pak:

$$max \ i_{so} = A_s^{-1} \cdot H_{sp}^b \quad (3.35)$$



Obr. 6: Grafické řešení maximální intenzity odtoku VARIANTA III [5]

Porovnání variant řešení maximální intenzity odtoku ze svahu Maximální intenzita vypočtená dle varianty I je nejvyšší možnou intenzitou odtoku z daného svahu, která je vyvolaná deště zvolené doby opakování. Intenzity vypočtené dle variant I a II jsou vždy menší. V případě varianty II leží kulminace hydrogramu HG2 na křivce K_s , konec kulminace leží na přítokové křivce D . S rostoucí dobou trvání výpočtového deště, maximální intenzita přítoku klesá. Při řešení varianty III kulminace nenastávají v době koncentrace na svahu t_{sk} ale dříve, v době ukončení přítoku. Kulminace hydrogramů leží na *redukční křivce* RD , vyjádřené rovnicí:

$$i_{sor} = A_s^{-1} \cdot (i_{sp} \cdot t_{sp})^b \quad (3.36)$$

i_{sor} redukovaná maximální intenzita odtoku [$mm.min^{-1}$]

Variant I umožňuje výpočet maximálních průtoků Q_N , zvolené doby opakování, vyvolané přívalovým deštěm. V případě kdy kritická délka trvání deště je větší než 300 minut, použije se pro výpočet odtoků VARIANTA II, a to s dobou trvání srážky $t_d = 300$ minut, tato maximální délka trvání reálné srážky je možné doporučit pro naše klimatické podmínky. [5]

Maximální průtok se pak vypočte dle vztahu:

$$Q_N = k \cdot \max i_{so} \cdot F_s \quad (3.37)$$

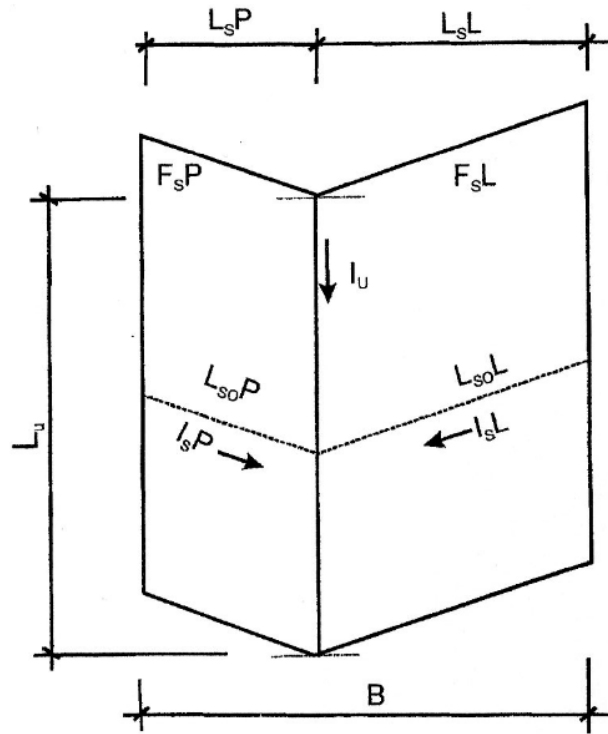
Q_N	.....	N-letý maximální průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]
k	.....	rozměrový součinitel, $k=16,67$ [-]
F_s	.....	plocha svahu [m^2]
$\max i_{so}$	.....	maximální intenzita odtoku ze svahu [$mm \cdot min^{-1}$]

3.7.3 Řešení odtoku z modelového povodí

Přírodní povodí (prototyp) je schematizováno modelovým povodím MP, ve tvaru *otevřené knihy* s rovinnými svahy se společnou patou v údolnici. Předpoklady řešení [5]

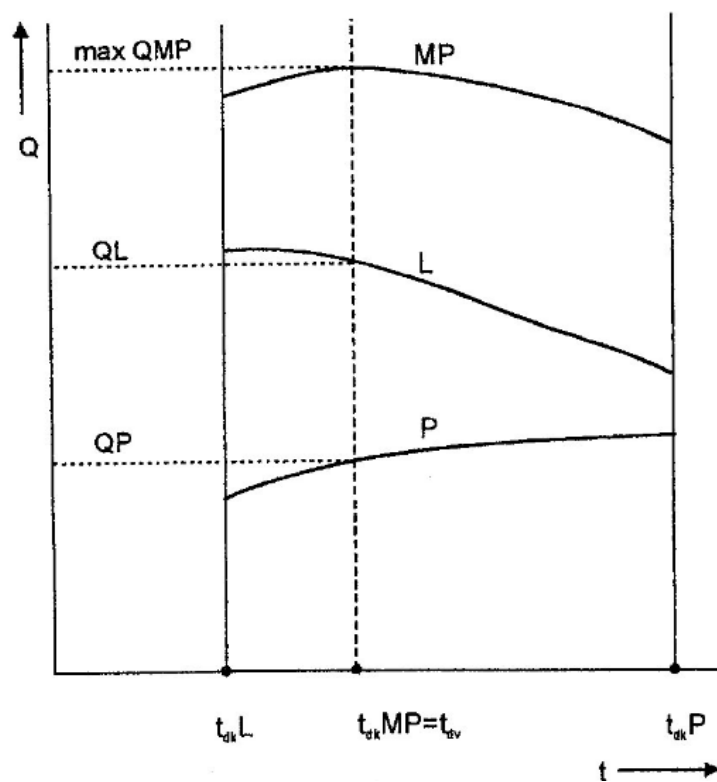
- Maximální odtok je vyvolán přívalovým deštěm rovnoměrného plošného rozložení
- Oba svahy MP jsou zasaženy stejným *Výpočtovým deštěm* doby trvání t_d s příslušné náhradní (konstantní) intenzity i_{dN} , případně zvolené doby i_d .
- Geometrické, půdní a sklonové poměry, způsob využívání pozemků aj. jsou odvozovány z charakteristik přírodního povodí.
- Výsledný maximální průtok je roven součtu maximálních průtoků ze svahů modelového povodí
- Výsledný hydrogram se stanoví superpozicí hydrogramů levého a pravého svahu

Odvození kritické doby výpočtového deště a maximálního průtoku z modelového povodí Výpočtový dešť kritické doby trvání $t_d = t_{dkMP}$ vyvolává v uzavírajícím profilu MP největší možný průtok $\max Q_{MP}$, příslušné

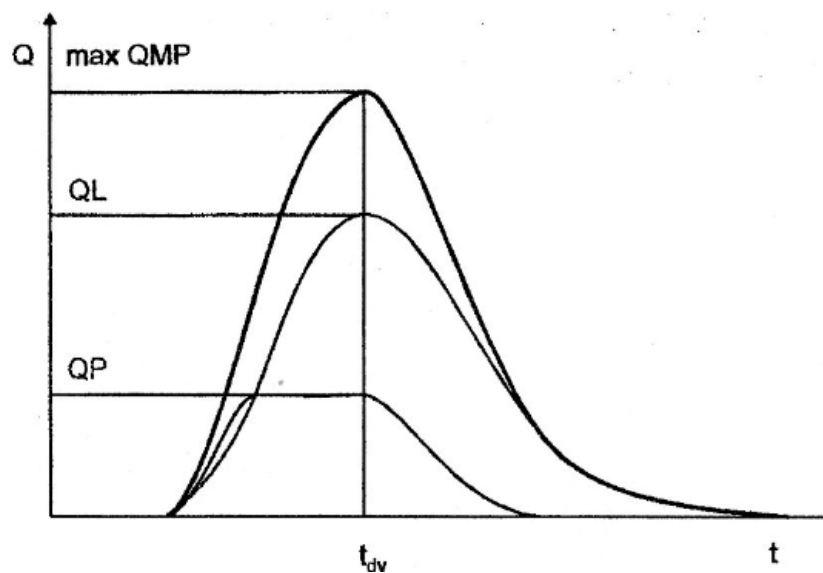


Obr. 7: Schematizace modelového povodí [5]

doby opakování. Kritická doba výpočtového deště leží na intervalu daném kritickými dobami srážek pro levý a pravý svah t_{dkL} a t_{dkP} . Interval rozdělíme na doby trvání srážek v rozestupu 1 minuty. Pro každou hodnotu vypočteme s pomocí variant I až III maximální průtoky pro levý a pravý svah. Kritická doba pro MP je pak hodnota délky trvání srážky při níž součet průtoků z levého a pravého svahu je z celého intervalu největší.



Obr. 8: Odvození doby trvání výpočtového deště t_{dv} pro MP [5]



Obr. 9: Superpozice hydrogramů levého a pravého svahu [5]

4 Program RainRunoff



Obr. 10: Ikona programu RainRunoff

V rámci diplomové práce byl vytvořen program pro výpočet odtoků z malých povodí s uživatelským rozhraní. Jedná se o okenní, formulářovou aplikaci vytvořenou v prostředí Windows Visual studio, s pomocí knihovny Windows Forms které je součástí standardního NET. frameworku. Ačkoliv je v dnešní době Windows Forms nahrazeno modernějším a značně rozšířeným Windows Presentation Foundation, pro potřeby této diplomové práce je v porovnání s WF zbytečně složitý a nabízí možnosti, které nejsou při vývoji programu využitelné a tudíž celý proces komplikuje. Díky zvolenému frameworku lze program používat v operačním systému Windows.

Výpočet může probíhat ve variantách jeden svah a dva svahy, v režimu výpočtu na maximální průtok ze svahu nebo povodí Q_N pro příslušnou dobu opakování N nebo na základě doby trvání srážky t_d .

Program je schopen najít nejbližší hydrologickou stanici na základě zadaných souřadnic zeměpisné šířky a délky dané lokality. K dané stanici sepíše úhrny 1-denních srážek pro $N=2,5,10,20,50$, a 100 let. Hodnoty úhrnů je možné zadávat i jednotlivě pokud máme data např. zakoupené od ČHMÚ. Dále je schopen podle zadaného dvojčíslí Hlavní půdní jednotky určit hydrologickou skupinu půd HSP, sepíše příslušnou hodnotu A,B,C nebo D a v závislosti na navolené využití půdy, způsobu obdělávání a hydrologických podmínkách přiřadí číslo odtokové křivky CN. Dalším krokem je volba počátečního nasycení půdy kde 1 je nejméně nasycená a 3 nejvíce nasycená. Po zadání nasycení se CN přepočte. Charakteristika svahu se určí dle zadané délky údolnice, sklon údolnice, průměrný sklon svahu, plochy svahu a drsnostního součinitele dle Bazina.

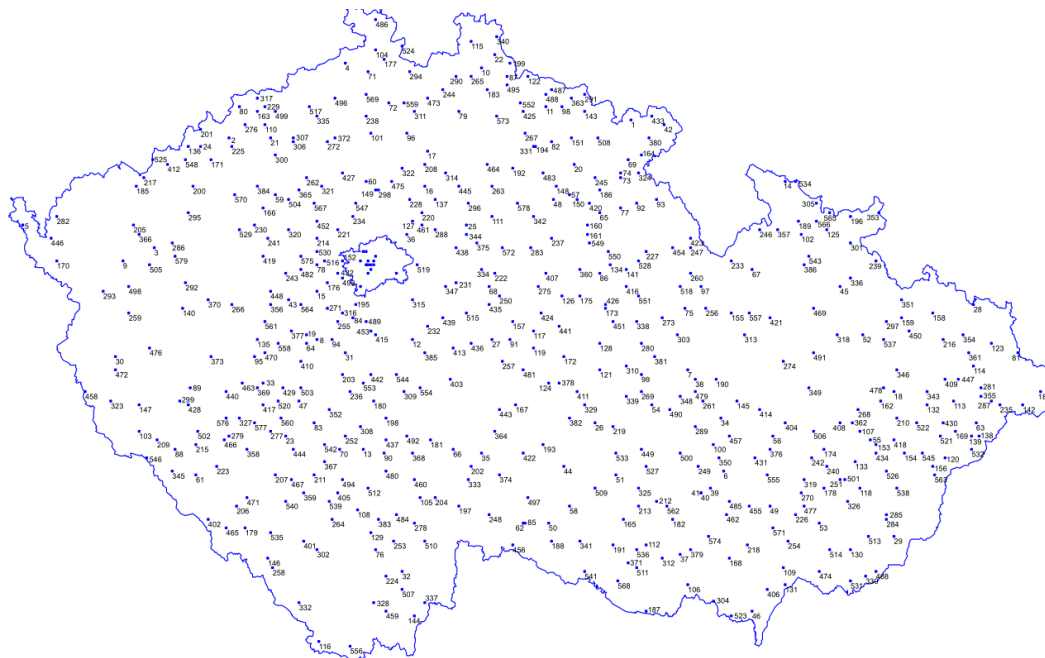
Před spuštěním výpočtu je nutné zaškrtnout, zda-li chceme výpočet spustit na maximální průtok z povodí dle příslušně N doby opakování, nebo na zadanou dobu trvání návrhové srážky. Po spuštění výpočtu se odemkne možnost vykreslení hydrogramů. Grafy mohou být ve formě trojúhelníkových hydro-

gramů, nebo vyhlazené hydrogramy kde se trojúhelníkový hydrogram aproximuje křivkou hustoty rozdělení pravděpodobnosti Pearson III. Grafy je možné exportovat do formátu jpeg nebo zkopírovat do schránky a přímo vložit do Word nebo Excel souboru.

4.1 Vstupní data

4.1.1 Hydrologické stanice a úhrny srážek

Vstupní data vycházejí z dnes již zastaralé ale bohužel dosud jediného dostupného zdroje úhrnu 1-denních srážek zpracovaného v roce 1985 [8] Šamajem. Hodnoty jsou dostupné pro 579 stanic a doby opakování 2,5,10,20,50 a 100 let. Další možností je zakoupení dat od ČHMÚ jako nestandardní hydrologické údaje. Problém ovšem je jejich cenová náročnost.



Obr. 11: Mapa meteorologických stanic uvedených Denní úhrny srážek s mimoriádnou výdatností v ČSSR v období 1901 - 1980 [9]

Alternativou může být webová aplikace d-rain-point, která pracuje ve formě volně dostupné webové GIS aplikace. Po načtení aplikace je možné jednoduše nastavit místo výpočtové lokace, délku trvání srážky a dobu opakování N. Spuštěním výpočtu dostaneme hodnotu úhrnu návrhové srážky. Problémem je že vstupní data vychází ze stejného zdroje jako pro program RainRunoff, výhodou naopak je že bodové pole souřadnic a hodnot úhrnů srážek bylo

aproximováno plošnou interpolací a velikosti gridu 1km^2 . Tím se dosáhne větší přesnosti určení návrhového úhrnu srážky v místech mezi stanicemi.



Obr. 12: Ukázka prostředí programu d-rain-point

4.1.2 Půdní charakteristiky

Postup a vstupní data pro určení CN křivky jsou uvedeny a popsány v kapitole 3 *Teorie-popis model* a to v sekci 3.3 *Půdní charakteristiky a způsob využívání pozemků v povodí*.

4.2 Popis programu

Po otevření se defaultně otevře výpočtové prostředí pro jeden svah. Přepínání mezi výpočty pro jeden a dva svahy je v horní části programu pomocí widgetu tabControl. Formulář je rozdělen do dvou groupBoxů hlavních částí VSTUPY a VÝSTUPY, přičemž VSTUPY jsou rozděleny na další tři podle charakteru vstupů.

4.2.1 Desetinný oddělovač

Program může pracovat s desetinným oddělovačem ve formě desetinné čárky i tečky. Na základě aktuální jazykové preference počítače, program převede vstupy obsahující používající jako oddělovač ", "na "." a naopak. V případě aktuální české verze jazyka se používá čárka, při anglické verzi tečka. To usnadní používání programu zejména při prvním setkání s programem, a program jako takový působí více "user-friendly".

RainRunoff Jeden Svah Dva Svahy

VSTUPY

Výběr stanice a příslušných hodnot úhmmů

Výběr stanice:

Zeměpisná šířka:

Zeměpisná délka:

Definice čísla CN křivky

Číslo CN křivky: (2 a 3. číslo kódu BPEJ) <https://bpej.vutp.cz>

Hydrologická skupin půd:

Využití půdy:

Způsob obdělávání:

Hydrologické podmínky:

Číslo CN:

Typ CN křivky:

Přepočtené číslo CN:

Charakteristika svahu

Délka údolí: [m]

Sklon údolí: [%]

Průměrný sklon svahu: [%]

Plocha svahu: [m²]

Drobností součinitel: [s] (de Bazna)

O Programu

☐ Zadaná doba trvání srážky [min]

☐ Vyházené grafy

Vypočítej

Hydrogramy

VÝSTUPY

N=2 roky

R1: [mm] [mm] [mm]

t_{dk}: [min] [min] [min]

t_{dk}: [mm/min] [mm/min] [mm/min]

max(iso): [mm/min] [mm/min] [mm/min]

Q_{ik}: [m³/s] [m³/s] [m³/s]

t₁: [min] [min] [min]

t_{ap}: [min] [min] [min]

t_{sez}: [min] [min] [min]

W: [m³] [m³] [m³]

N=5 let

R1: [mm] [mm] [mm]

t_{dk}: [min] [min] [min]

t_{dk}: [mm/min] [mm/min] [mm/min]

max(iso): [mm/min] [mm/min] [mm/min]

Q_{ik}: [m³/s] [m³/s] [m³/s]

t₁: [min] [min] [min]

t_{ap}: [min] [min] [min]

t_{sez}: [min] [min] [min]

W: [m³] [m³] [m³]

N=10 let

R1: [mm] [mm] [mm]

t_{dk}: [min] [min] [min]

t_{dk}: [mm/min] [mm/min] [mm/min]

max(iso): [mm/min] [mm/min] [mm/min]

Q_{ik}: [m³/s] [m³/s] [m³/s]

t₁: [min] [min] [min]

t_{ap}: [min] [min] [min]

t_{sez}: [min] [min] [min]

W: [m³] [m³] [m³]

N=20 let

R1: [mm] [mm] [mm]

t_{dk}: [min] [min] [min]

t_{dk}: [mm/min] [mm/min] [mm/min]

max(iso): [mm/min] [mm/min] [mm/min]

Q_{ik}: [m³/s] [m³/s] [m³/s]

t₁: [min] [min] [min]

t_{ap}: [min] [min] [min]

t_{sez}: [min] [min] [min]

W: [m³] [m³] [m³]

N=50 let

R1: [mm] [mm] [mm]

t_{dk}: [min] [min] [min]

t_{dk}: [mm/min] [mm/min] [mm/min]

max(iso): [mm/min] [mm/min] [mm/min]

Q_{ik}: [m³/s] [m³/s] [m³/s]

t₁: [min] [min] [min]

t_{ap}: [min] [min] [min]

t_{sez}: [min] [min] [min]

W: [m³] [m³] [m³]

N=100 let

R1: [mm] [mm] [mm]

t_{dk}: [min] [min] [min]

t_{dk}: [mm/min] [mm/min] [mm/min]

max(iso): [mm/min] [mm/min] [mm/min]

Q_{ik}: [m³/s] [m³/s] [m³/s]

t₁: [min] [min] [min]

t_{ap}: [min] [min] [min]

t_{sez}: [min] [min] [min]

W: [m³] [m³] [m³]

potenciální reference

R_p: [mm] [mm] [mm]

L_{so}: [m] [m] [m]

L_s: [m] [m] [m]

A_s: [l] [l] [l]

R₁: [mm] [mm] [mm]

t_{ik}: [min] [min] [min]

t_{ik}: [mm/min] [mm/min] [mm/min]

max(iso): [mm/min] [mm/min] [mm/min]

Q_{ik}: [m³/s] [m³/s] [m³/s]

t₁: [min] [min] [min]

t_{ap}: [min] [min] [min]

t_{sez}: [min] [min] [min]

W: [m³] [m³] [m³]

počáteční reference

t_{ik}: [min] [min] [min]

t_{ik}: [mm/min] [mm/min] [mm/min]

max(iso): [mm/min] [mm/min] [mm/min]

Q_{ik}: [m³/s] [m³/s] [m³/s]

t₁: [min] [min] [min]

t_{ap}: [min] [min] [min]

t_{sez}: [min] [min] [min]

W: [m³] [m³] [m³]

hydraulická charakteristika svahu - de Bazna

t_{ik}: [min] [min] [min]

t_{ik}: [mm/min] [mm/min] [mm/min]

max(iso): [mm/min] [mm/min] [mm/min]

Q_{ik}: [m³/s] [m³/s] [m³/s]

t₁: [min] [min] [min]

t_{ap}: [min] [min] [min]

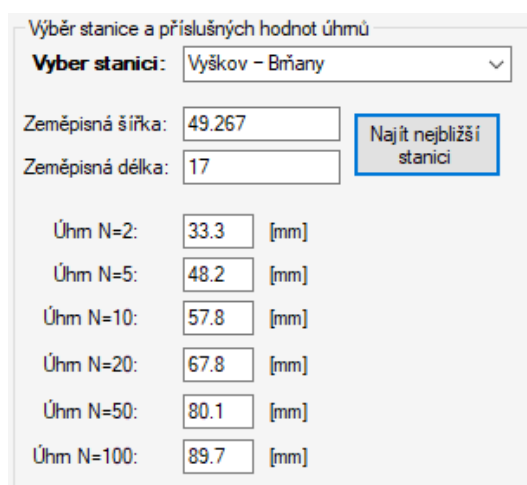
t_{sez}: [min] [min] [min]

W: [m³] [m³] [m³]

Obr. 13: Prostředí po otevření programu

4.2.2 Vstupní srážky

Postup zadávání vstupů probíhá intuitivně zleva doprava, kdy se prvně na vnořené groupBoxu *Výběr stanice a příslušných hodnot úhrnů* zadá nejbližší meteorologická stanice. Zadání může proběhnout třemi způsoby. První vyžaduje manuálně vybrat stanici z rozevřací nabídky stanic, toto však vyžaduje znalost umístění nejbližší stanice vůči zkoumané lokalitě, proto bylo přikročeno k implementování funkce, která najde nejbližší stanici v souladu se zadanou zeměpisnou šířkou a délkou uvažované lokality. Souřadnice lze jednoduše zjistit např. kliknutím do mapy v prostředí Google Maps viz obr. 18 Formát zadávaných souřadnic musí být s desetinnou tečkou, pro lepší porozumění jsou v textBoxech defaultní hodnoty *šš.šššš* a *dd.dddd*. Po zadání souřadnic stačí kliknout na tlačítko *Najít nejbližší stanici*, které najde sepíše hodnoty 1-denních úhrnů pro danou stanici a comboBoxu se přímo navolí daná stanice která má nejmenší součet absolutních hodnot rozdílů souřadnic stanice a dané lokality. Poslední možností je přímé zadání hodnot úhrnů do textBoxů.



Výběr stanice a příslušných hodnot úhrnů

Vyber stanici: Vyškov - Brňany

Zeměpisná šířka: 49.267

Zeměpisná délka: 17

Najít nejbližší stanici

Úhm N=2: 33.3 [mm]

Úhm N=5: 48.2 [mm]

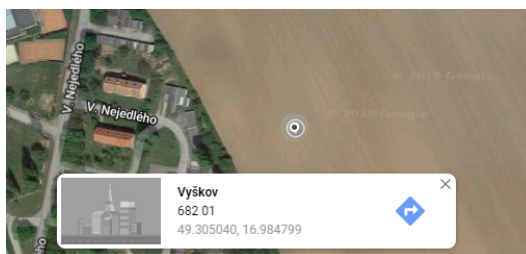
Úhm N=10: 57.8 [mm]

Úhm N=20: 67.8 [mm]

Úhm N=50: 80.1 [mm]

Úhm N=100: 89.7 [mm]

Obr. 14: groupBox pro zadání úhrnů vstupních srážek



Obr. 15: Ukázka získání souřadnic v prostředí Google Maps

4.2.3 Definice čísla CN

Pro určení čísla odtokové křivky je třeba nejdříve určit kód BPEJ, k tomu může pomoci odkaz v pravé horní části groupBoxu, který po kliknutí otevře webovou stránku Výzkumného ústavu meliorací a pozemků, kde lze jednoduše kód BPEJ zjistit. v rozbalovací nabídce HPJ, je nutné zadat dvojčíslí HPJ, které odpovídá 2. a 3. číslu kódu BPEJ. Zadávání rozbalovací nabídkou bylo zvoleno z důvodu eliminace chybného zadání od uživatele, jelikož rozsah HPJ je pouze v rozsahu 01 až 76. Po vybrání dvojčíslí se do textBoxu pod nabídkou sepíše písmeno označující skupinu hydrologické skupiny půd odpovídající zadanému HPJ.

Využití půd je provedeno také rozbalovací nabídkou. Po zadání hodnoty v první rozbalovací nabídce se odemkne nabídka způsobu obdělávání, nyní je nutné navolit způsob obdělávání příslušný způsobu využití půdy. Stejným postupem určíme i Hydrologické podmínky. Po zadání všech potřebných údajů se odemkne tlačítko pro určení čísla CN. Po stisknutí tlačítka se do textBoxu "číslo CN" sepíše hodnota určená číslem HPJ a využitím půdy. Dlešním krokem je navolení počátečního stupně nasycení, které přepočte číslo CN a sepíše do textBoxu "přepočtené číslo CN".

Ochrana proti nesprávnosti zadaných vstupů je vždy pomocí změny barvy pozadí nezadaných polí nebo polí které je nutné aktualizovat. Pokud je pole červené, znamená to že je nutné pole aktualizovat změnou hodnoty nebo je nutné znova stisknout určení čísla CN. Pokud je např. změněno využití půdy je nutné znovu navolit způsob obdělávání a hydrologické podmínky, protože každé využití půdy má své specifické možnosti způsobu obdělávání a hydrologických podmínek. Tento způsob je patrný z Obr. 24, kde horní obrázek ukazuje neúplně vyplněný formulář pro určení CN. Můžeme vidět, že červeně svítí pole pro zadání Způsobu obdělávání, hydrologických podmínek a tlačítko určení čísla CN, proto musíme nejdříve navolit první dvě pole, které nám odemknou volbu určení čísla CN.

Pro lepší orientaci ve zkratkách v nabídce lze využít nápovědu která otevře nové okno s vysvětlivkami viz. Obr. 32 .

4.2.4 Zadání charakteristik svahu

V části charakteristik svahu je nutné zadat délku údolnice, sklon údolnice, průměrný sklon svahu, plochu svahu a drsnostní součinitel dle Bazina. K určení lze použít nápovědu která otevře nové okno s tabulkou hodnot drsnostního součinitele dle Bazina pro nejběžnější hodnoty užívání půdy. Tato tabulka byla převzata ze softwaru DesQ.

Zadána čísla CN křivek i drsnostní součinitele musí být určeny jako vážený průměr hodnot vztažených k příslušné ploše svahu.

Definice čísla CN křivky

Číslo CN křivky:

Číslo HPJ (hlavní půdní jednotka) : 09 (2. a 3. číslo kódu BPEJ) <https://bpei.vumop.cz>

Hydrologická skupin půd: B [-]

Využití půdy: kokořádkové plodiny (obilniny) ?

Způsob obdělávání: [red box]

Hydrologické podmínky: [red box] **Určit číslo CN**

Číslo CN: [-]

Typ CN křivky: [-] (V závislosti na počátečním nasycení půdy)

Přepočtené číslo CN: [-]

(a) částečně vyplněný formulář pro definici čísla CN

Definice čísla CN křivky

Číslo CN křivky:

Číslo HPJ (hlavní půdní jednotka) : 16 (2. a 3. číslo kódu BPEJ) <https://bpei.vumop.cz>

Hydrologická skupin půd: B [-]

Využití půdy: Širokořádkové plodiny (okop.) ?

Způsob obdělávání: Vř

Hydrologické podmínky: Šp **Určit číslo CN**

Číslo CN: 79 [-]

Typ CN křivky: 2 [-] (V závislosti na počátečním nasycení půdy)

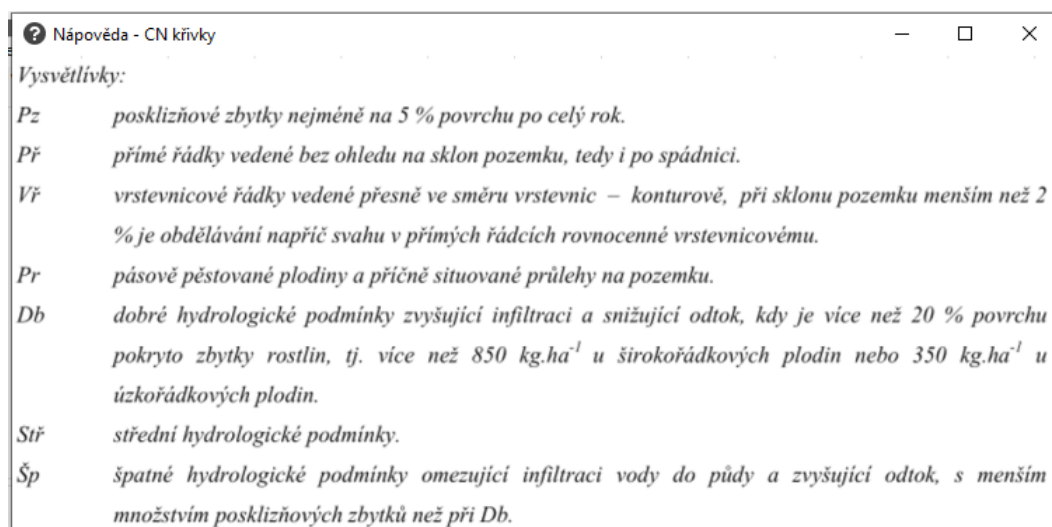
Přepočtené číslo CN: 79 [-]

(b) kompletně vyplněný formulář pro definici čísla CN

Obr. 16: Formulář pro definici čísla CN

4.2.5 Spuštění výpočtu

V poslední části groupBoxu VSTUPY je formulář pro spuštění výpočtu. Zde je možno zadat možnost výpočtu maximálního průtoku pro danou dobu opakování, nebo maximální průtok pro zadanou dobu trvání srážky. Po zaškrtnutí "zadaná doba trvání srážky" je nutné zadat dobu návrhové srážky v minutách. Zadání všech vstupů je ošetřeno zamknutím tlačítka pro spuštění výpočtu, pokud jsou zadány všechny potřebné údaje tlačítko se odemkne a je možné spustit výpočet. Po spuštění výpočtu se ve spodní části formuláře odemkne groupBox s Výstupy kde jsou uvedeny všechny výstupy pro výpočet jednoho svahu.



Obr. 17: Okno s vysvětlivkami pro využití půdy

Charakteristika svahu

Délka údolnice: [m]

Sklon údolnice: [%]

Průměrný sklon svahu: [%]

Plocha svahu: [m²]

Drsnostní součinitel: [s] (dle Bazina) ?

Obr. 18: Zadání geometrických a hydraulických charakteristik svahu

Zároveň se odemkne možnost vykreslení hydrogramů, které může být ve dvou možnostech vyhlazeného a trojúhelníkového hydrogramu. Vyhlazený hydrogram je aproximací trojúhelníkového hydrogramu křivkou hustoty rozdělení pravděpodobnosti Pearson III danou rovnicí:

$$f_x(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x - \epsilon}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\epsilon}{\alpha}\right)} \quad (4.1)$$

Po zvážení byla ponechána možnost vykreslení trojúhelníkového i vyhlazeného hydrogramu. Hlavním důvodem byl fakt, že vyhlazený hydrogram je pouze modifikací křivky a není početně korektní. Vypočítaný celkový odtok,

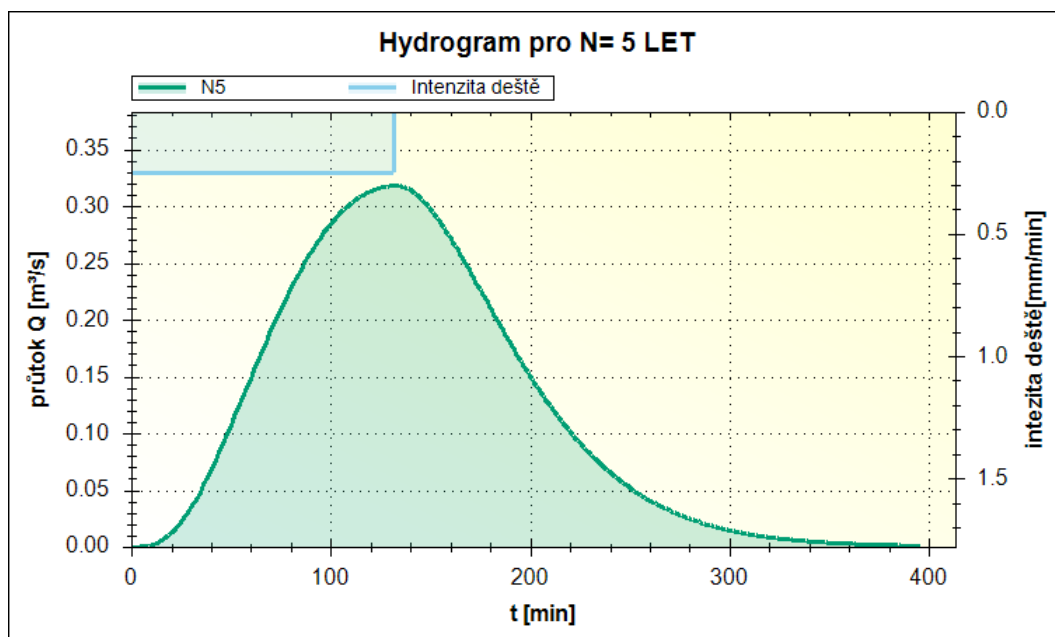
Obr. 19: Spuštění výpočtu a možnost zadání délky srážky

který je roven výšce efektivního deště neodpovídá objemu deště určeného integrací křivky hydrogramu, tedy objemu odtoku daného plochou pod křivkou hydrogramu. Protože v metodice není popsán postup aproximace trojúhelníkového hydrogramu vyhlazenou křivkou, a tedy konstrukce vyhlazení je pouze podle mého nejlepšího uvážení, je přikročeno obou možnostem vykreslení.

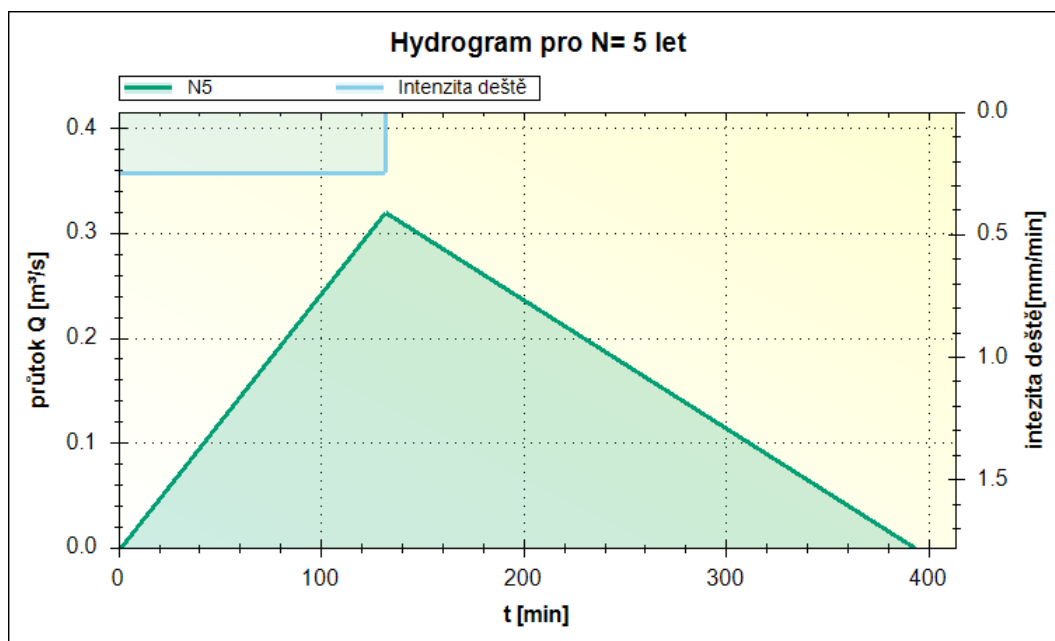
Po otevření okna hydrogramů se na kartě Modelové povodí objeví hydrogramy pro všechny N-letosti od 2-100 let. Dále pak na každé kartě hydrogram pro danou N-letost s příslušnou intenzitou blokového deště. Export grafů lze po kliknutí pravým tlačítkem na graf a vybrání "Save Image as.."nebo "Copy".

4.3 Výpočet pro dva Svahy

Zadávání hodnot probíhá stejným způsobem s tím rozdílem že pro každý svah je nutné určit vlastní číslo CN křivky, dále pak hodnotu průměrného sklonu svahu a plochy svahu i drsnostní součinitel. Sklon a délka údolnice je pro oba svahy stejná. Výsledky na hlavní kartě jsou pro modelové povodí. V oblasti výstupů pak přibyla možnost podrobných výsledků, po jehož stisknutí se otevře nové okno s výsledky pro levý a pravý svah. Další změna je pak při vykreslení hydrogramů, kdy se pro jednotlivé N-letosti vykreslí hydrogram pro levý a pravý svah dále pak i výsledný hydrogram povodí vzniklý superpozicí hydrogramů levého a pravého svahu.



(a) Příklad vyhlazeného hydrogramu



(b) Příklad trojúhelníkového hydrogramu

Obr. 20: Porovnání vyhlazeného a trojúhelníkového hydrogramu

5 Praktická aplikace programu

Pro porovnání správné funkčnosti programu bylo vybráno několik reálných případů svahového odtoku, z několika diplomových prací. Odtoky byli vypočítány v programu DesQ. Porovnány byly kulminační průtoky, celkový objem odtoku a vizuální průběh a tvar hydrogramů.

5.1 Oblast Janovice

Data vychází z Diplomové práce *Analýza erozních a odtokových poměrů pro potřeby řešení pozemkových úprav* [10]. Souřadnice oblasti jsou 49.616664, 18.408079. Na základě těchto souřadnic byla přiřazena stanice Lubno která je přibližně 2km od obce Janovice. V tomto případě se program RainRunoff ukázal jako efektivnější, protože dokázal určit bližší stanici než je uvedena v diplomové práci. Hodnoty úhrnů uvedené v práci odpovídají stanici *Frýdek Místek, Místek* který je zhruba o 7km vzdálenější než stanice Lubno. Pro porovnání výsledků použijeme hodnoty úhrnů uvedené v DP.

Tab. 7: Tabulka vstupních hodnot pro Janovice

Vstupní veličiny		Povodí	Levý Svah	Pravý svah	
F	plocha povodí	0,81			$[km^2]$
F_s	plocha svahu		0,52	0,29	$[km^2]$
l_s	průměrný sklon svahu		15,2	16,3	$[\%]$
γ	drsnostní charakteristika		6	6	$[sec]$
L_u	délka údolnice	1,3			$[km]$
l_u	průměrný sklon údolnice	10			$[\%]$
CN_{typ}	typ odtokové křivky(1, 2, 3)		2	2	$[...]$
CN	číslo odtokové křivky		70,7	72,6	$[...]$
H_{1d5}	1-denní srážkový úhrn, N=5 let		62,5		$[mm]$
H_{1d10}	1-denní srážkový úhrn, N=10 let		71		$[mm]$
H_{1d20}	1-denní srážkový úhrn, N=20 let		79,9		$[mm]$
H_{1d50}	1-denní srážkový úhrn, N=50 let		90,7		$[mm]$
H_{1d100}	1-denní srážkový úhrn, N=100 let		99,3		$[mm]$

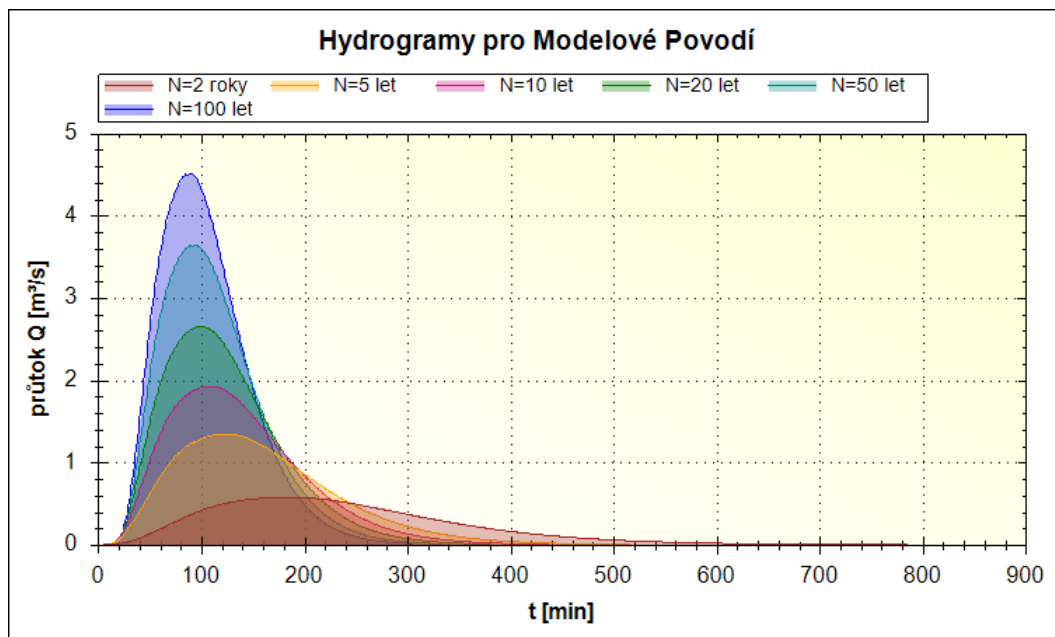
Program DesQ neumožňuje výpočet pro N=2 roky, proto tyto hodnoty nemůžeme porovnat.

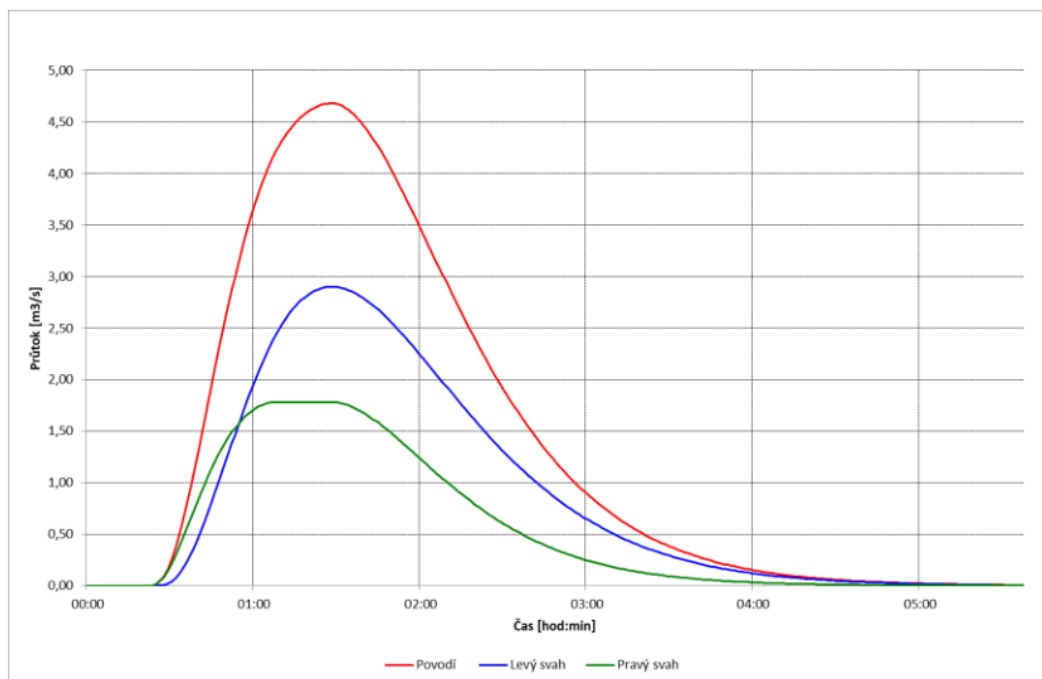
Tab. 8: Tabulka výstupních hodnot z programu RainRunoff a DesQ

Výstupní veličiny		RainRunoff	DesQ
Q_{maxN5}	Max. průtok z povodí pro N=5 let	1,349	1,390
Q_{maxN10}	Max. průtok z povodí pro N=10 let	1,933	1,990
Q_{maxN20}	Max. průtok z povodí pro N=20 let	2,660	2,73
Q_{maxN50}	Max. průtok z povodí pro N=50 let	3,654	3,77
$Q_{maxN100}$	Max. průtok z povodí pro N=100 let	4,525	4,67
W_{N5}	Max. odtok z povodí pro N=5 let	9710	9660
W_{N10}	Max. odtok z povodí pro N=10 let	11620	11600
W_{N20}	Max. odtok z povodí pro N=20 let	13690	13600
W_{N50}	Max. odtok z povodí pro N=50 let	16080	16000
W_{N100}	Max. odtok z povodí pro N=100 let	17940	17900

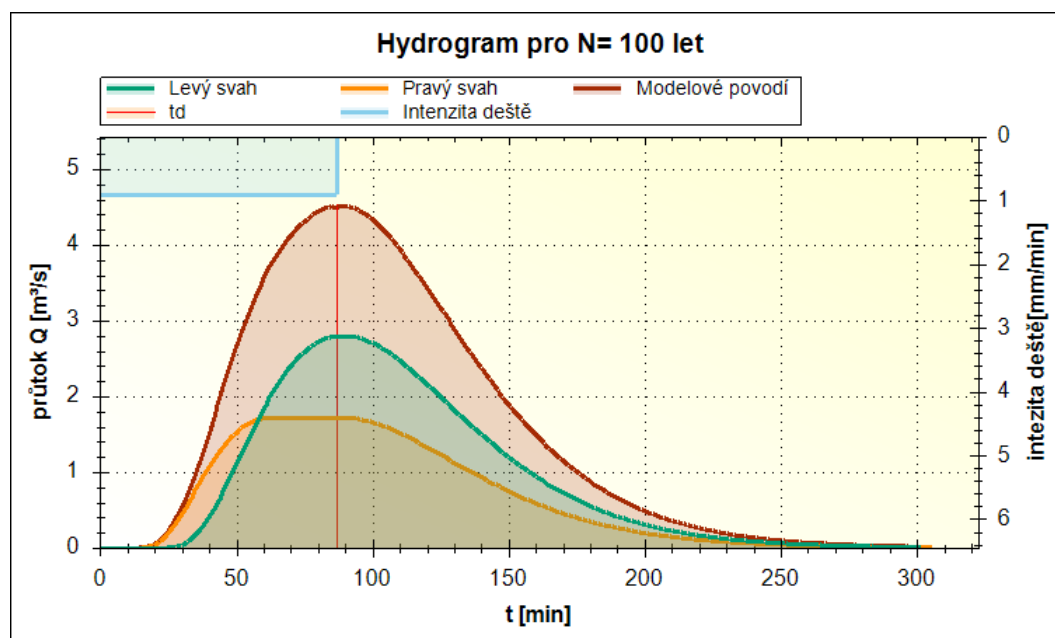
Můžeme vidět že průtoky a celkový objem srážek odpovídá výsledkům dosaženým z programu DesQ. Chyba výpočtu může být zapříčiněna rozdílným zaokrouhlením čísel během výpočtu, ovšem chyba je v poměru k rozsahu hodnot a nejistot ve výpočtu zanedbatelná.

Z porovnání průběhu hydrogramů můžeme vidět vizuální shodu i délku trvání odtoku.

**Obr. 21:** Hydrogramy pro N=2 až 100 let z programu RainRunoff



(a) Hydrogram pro N=100 z pr. DesQ



(b) Hydrogram pro N=100 z pr. RainRunoff

Obr. 22: Porovnání hydrogramů z pr. DesQ a RainRunoff

5.2 Oblast Velké Albrechtice

Další oblast byla vybrána z diplomové práce *Ochrana zastavěných území ohrožených přívalovými srážkami* [11].

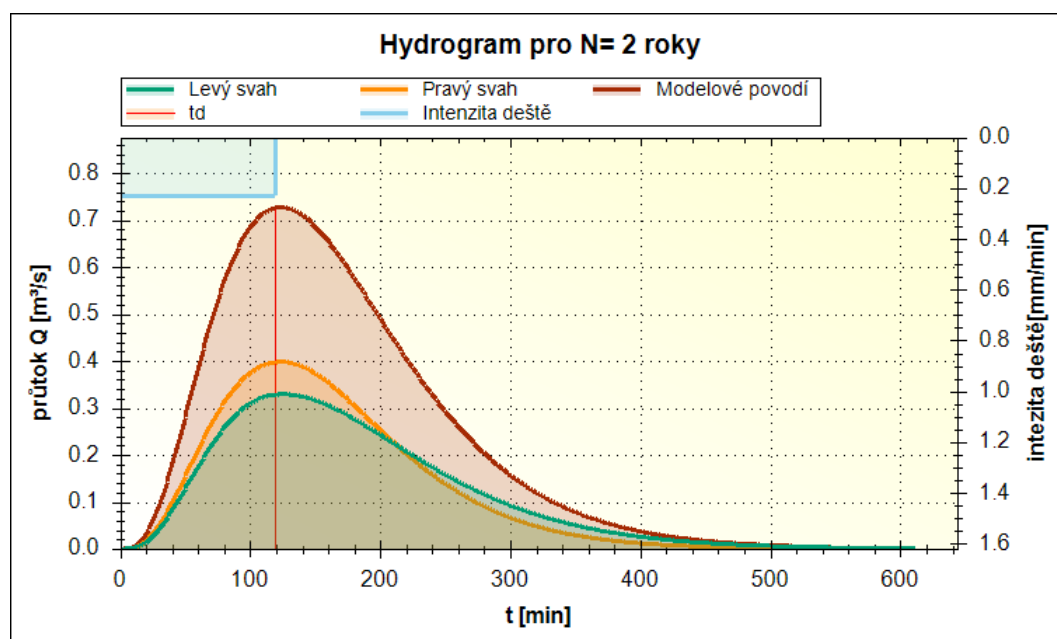
Tab. 9: Tabulka vstupních hodnot pro Velké Albrechtice

Vstupní veličiny		Povodí	Levý Svah	Pravý svah	
F	plocha povodí	0,79			[km^2]
F_s	plocha svahu		0,425	0,365	[km^2]
l_s	průměrný sklon svahu		8,2	7,6	[%]
γ	drsnostní charakteristika		5	5	[sec]
L_u	délka údolnice	1,73			[km]
l_u	průměrný sklon údolnice	6,5			[%]
CN_{typ}	typ odtokové křivky(1, 2, 3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		75,4	78,5	[...]
H_{1d5}	1-denní srážkový úhrn, N=5 let	63,2			[mm]
H_{1d10}	1-denní srážkový úhrn, N=10 let	74,6			[mm]
H_{1d20}	1-denní srážkový úhrn, N=20 let	86,4			[mm]
H_{1d50}	1-denní srážkový úhrn, N=50 let	100,9			[mm]
H_{1d100}	1-denní srážkový úhrn, N=100 let	112,3			[mm]

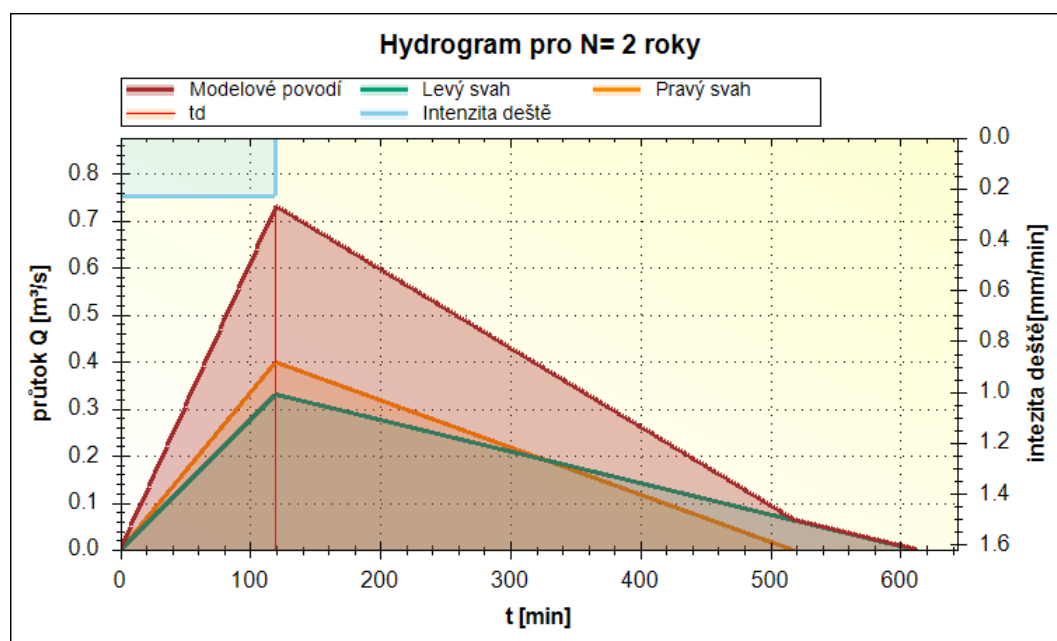
Tab. 10: Tabulka výstupních hodnot z programu RainRunoff a DesQ

Výstupní veličiny		RainRunoff	DesQ
Q_{maxN5}	Max. průtok z povodí pro N=5 let	2,170	2,24
Q_{maxN10}	Max. průtok z povodí pro N=10 let	3,515	3,52
Q_{maxN20}	Max. průtok z povodí pro N=20 let	5,326	5,40
Q_{maxN50}	Max. průtok z povodí pro N=50let	7,947	7,92
$Q_{maxN100}$	Max. průtok z povodí pro N=100 let	10,25	10,20
W_{N5}	Max. odtok z povodí pro N=5 let	10070	9660
W_{N10}	Max. odtok z povodí pro N=10 let	12860	11600
W_{N20}	Max. odtok z povodí pro N=20 let	15750	15600
W_{N50}	Max. odtok z povodí pro N=50 let	20230	19700
W_{N100}	Max. odtok z povodí pro N=100 let	23039	22400

Z dosažených výsledků můžeme opět vidět poměrně dobrou shodu. V diplomové práci nebyl přiložen graf průběhu odtoku, proto ho v tomto případě nemůžeme porovnat.



(a) Vyhlazený hydrogram pro N=2



(b) Trojúhelníkový hydrogram pro N=2

Obr. 23: Porovnání hydrogramů z pr. RainRunoff

5.3 Oblast Liderovice

Třetí oblast byla vybrána z diplomové práce *Analýza erozních a odtokových poměrů pro potřeby pozemkových úprav v k.ú Liderovice* [12]. Souřadnice oblasti (49.417, 14.667) odkazují na nejbližší stanici Tábor.

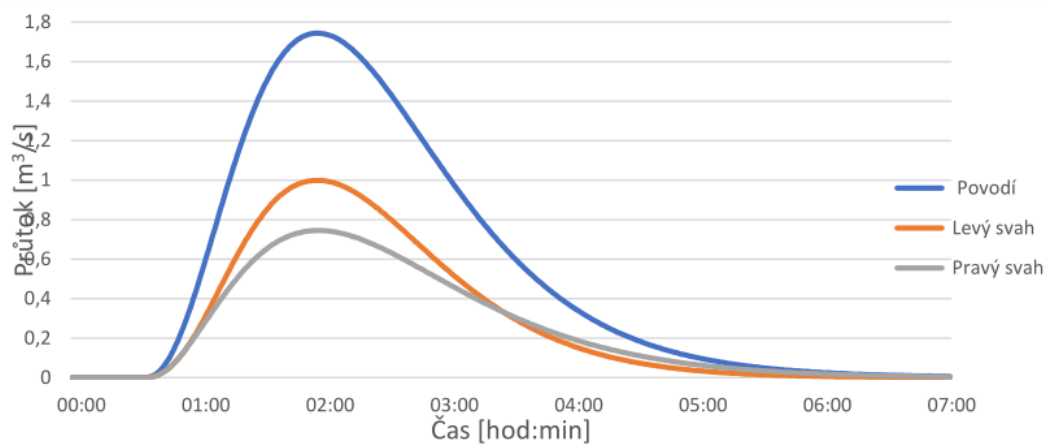
Tab. 11: Tabulka vstupních hodnot pro oblast Liderovice

Vstupní veličiny		Povodí	Levý Svah	Pravý svah	
F	plocha povodí	0,63			[km^2]
F_s	plocha svahu		0,31	0,32	[km^2]
l_s	průměrný sklon svahu		4,3	4,4	[%]
γ	drsnostní charakteristika		6,77	6,17	[sec]
L_u	délka údolnice	1,39			[km]
l_u	průměrný sklon údolnice	1,62			[%]
CN_{typ}	typ odtokové křivky(1, 2, 3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		76	73	[...]
H_{1d5}	1-denní srážkový úhrn, N=5 let	44,1			[mm]
H_{1d10}	1-denní srážkový úhrn, N=10 let	50,7			[mm]
H_{1d20}	1-denní srážkový úhrn, N=20 let	57,6			[mm]
H_{1d50}	1-denní srážkový úhrn, N=50 let	66,1			[mm]
H_{1d100}	1-denní srážkový úhrn, N=100 let	72,7			[mm]

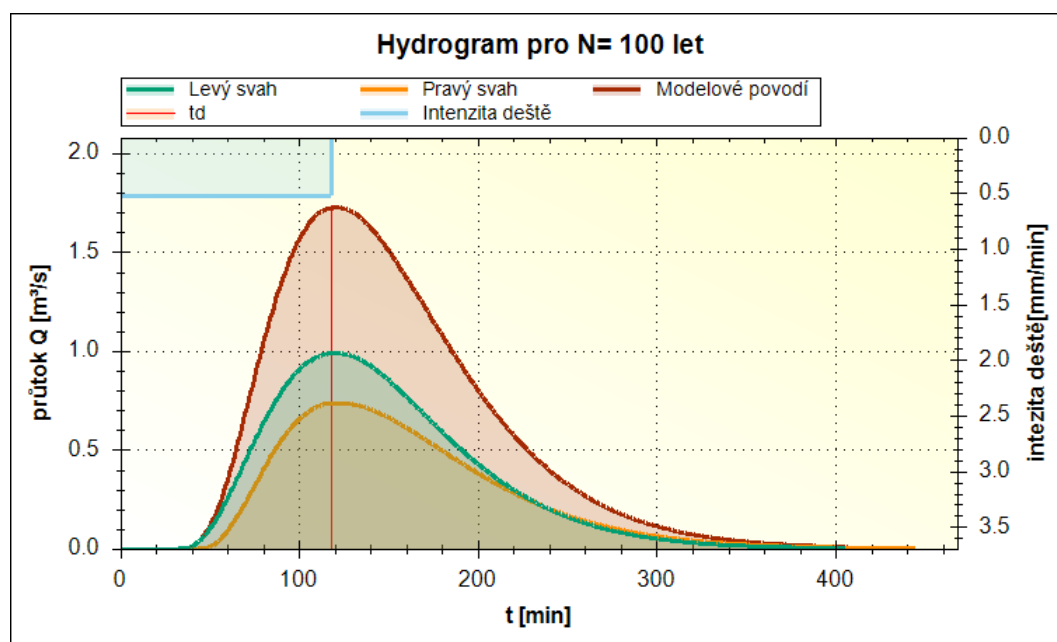
Tab. 12: Tabulka výstupních hodnot z programu RainRunoff a DesQ

Výstupní veličiny		RainRunoff	DesQ
Q_{maxN5}	Max. průtok z povodí pro N=5 let	0,488	0,490
Q_{maxN10}	Max. průtok z povodí pro N=10 let	0,716	0,717
Q_{maxN20}	Max. průtok z povodí pro N=20 let	0,993	0,994
Q_{maxN50}	Max. průtok z povodí pro N=50 let	1,391	1,400
$Q_{maxN100}$	Max. průtok z povodí pro N=100 let	1,733	1,740
W_{N5}	Max. odtok z povodí pro N=5 let	5140	5140
W_{N10}	Max. odtok z povodí pro N=10 let	6220	6220
W_{N20}	Max. odtok z povodí pro N=20 let	7330	7330
W_{N50}	Max. odtok z povodí pro N=50 let	8660	8650
W_{N100}	Max. odtok z povodí pro N=100 let	9660	9700

V tomto případě můžeme vidět téměř totožnou shodu výsledků.

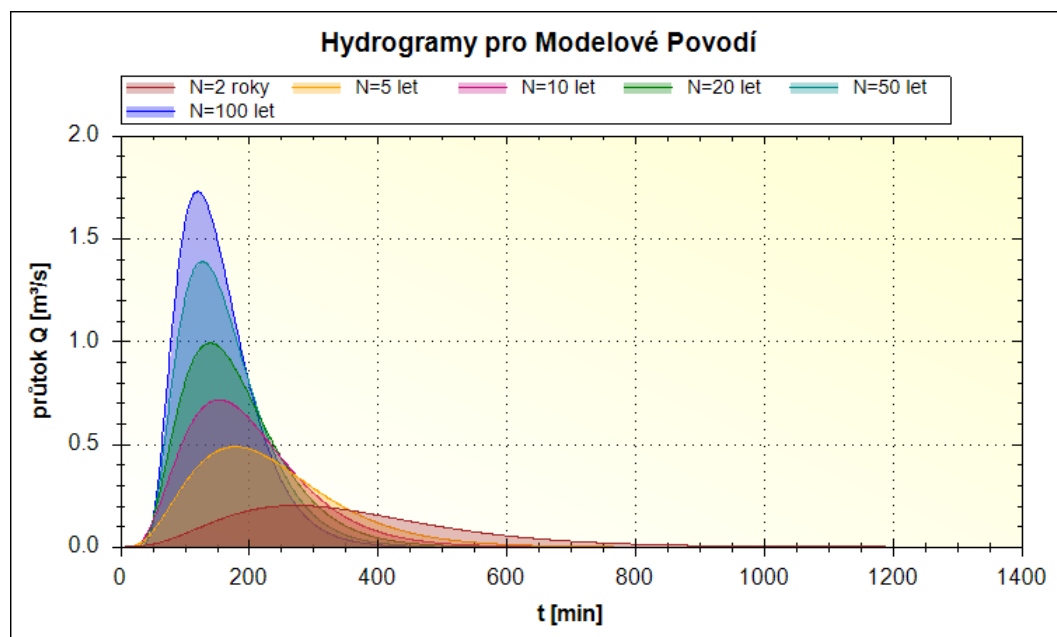
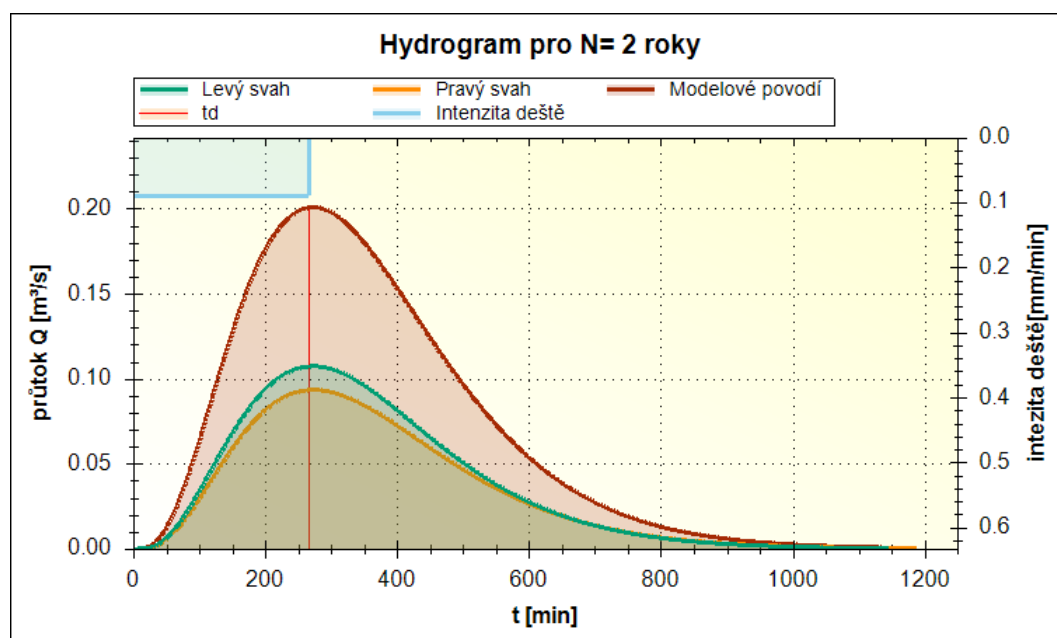


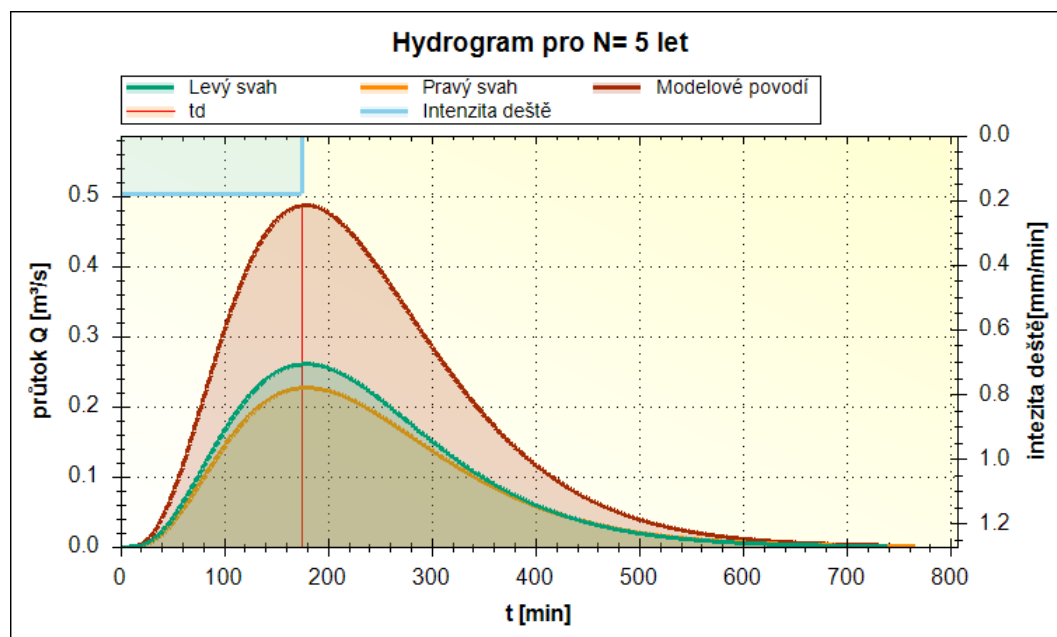
(a) Hydrogram pro N=100 z programu DesQ



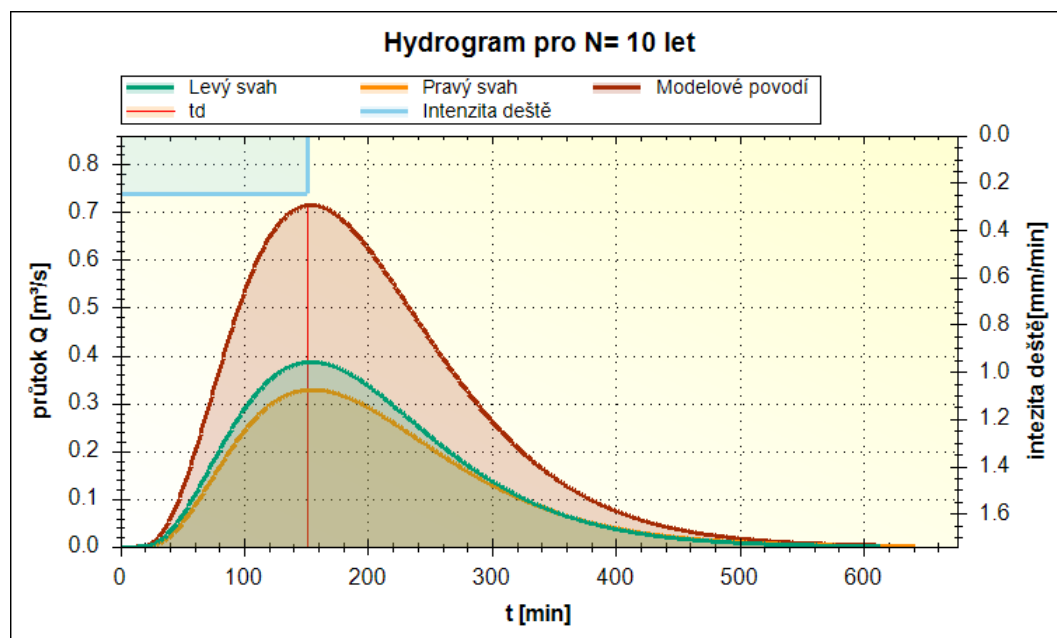
(b) Hydrogram pro N=100 z programu RainRunoff

Obr. 24: Porovnání hydrogramů pro N=100

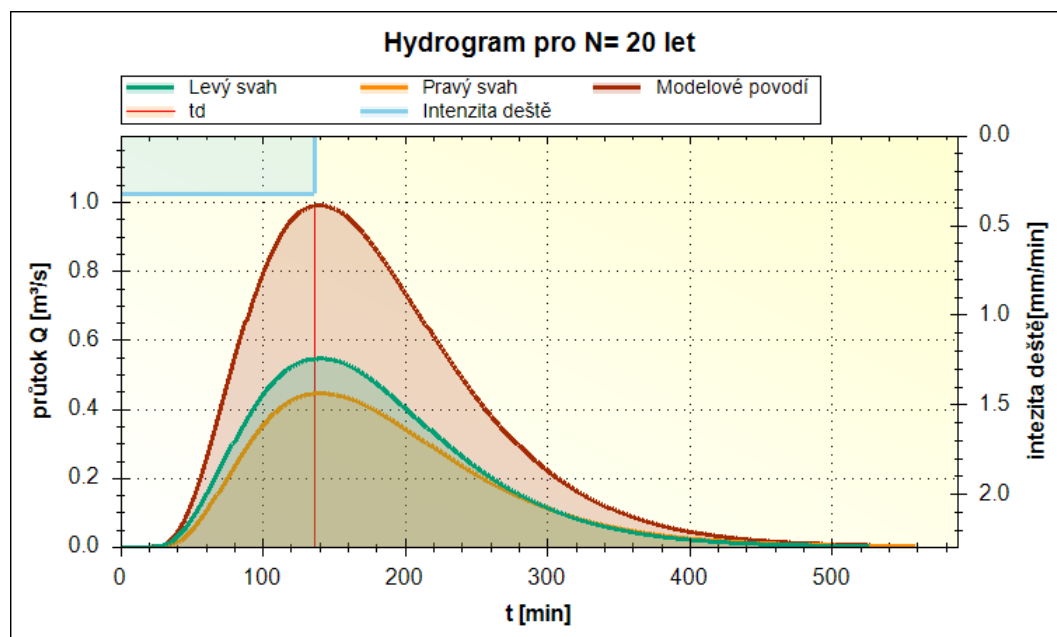
Obr. 25: Hydrogramy pro $N=2$ až 100 let z programu RainRunoffObr. 26: Hydrogramy pro $N=2$ z programu RainRunoff



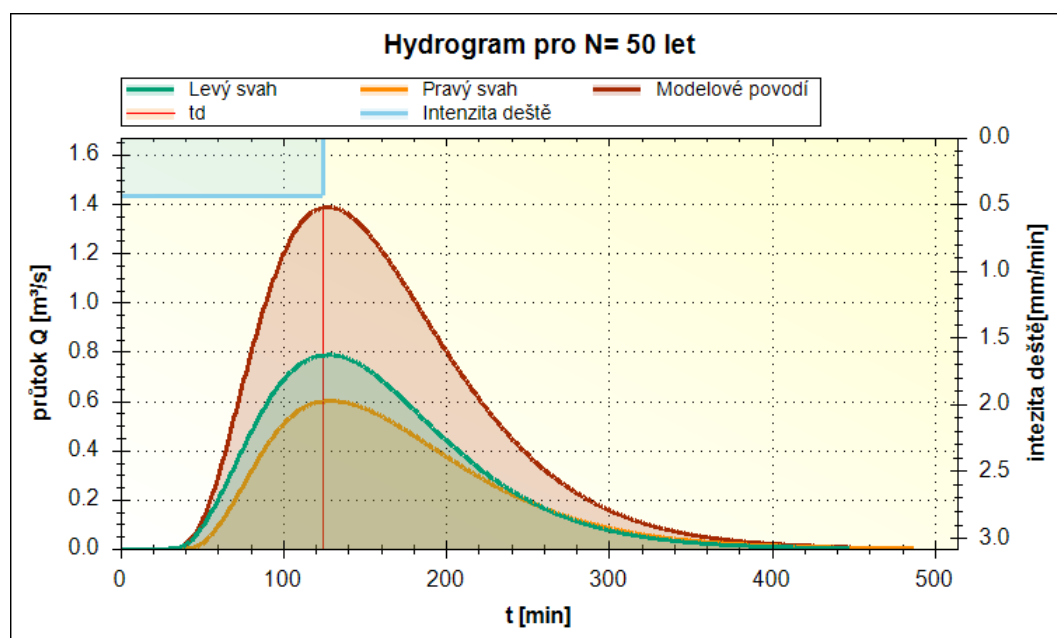
Obr. 27: Hydrogramy pro N=5 z programu RainRunoff



Obr. 28: Hydrogramy pro N=10 z programu RainRunoff



Obr. 29: Hydrogramy pro $N=20$ z programu RainRunoff



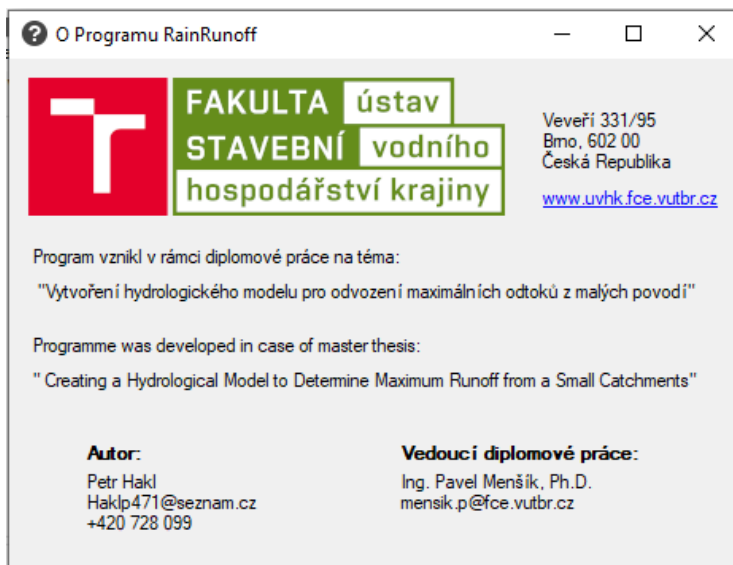
Obr. 30: Hydrogramy pro $N=50$ z programu RainRunoff

[illegible]

Obr. 31: Ukázka rozšířené tabulky výsledků v programu RainRunoff

6 Závěr

V diplomové práci byl popsána teorie modelu, metodika programu a postup zadávání vstupních dat a export výstupních dat. Hlavní devíza práce je ovšem program samotný. K instalaci programu je nutné spustit RainRunoff.msi, který provede instalaci do zadané složky na počítači. Na ploše se vytvoří zástupce programu. Rozsah samotného programu je cca 13 000 řádků kódu, při čemž pro vykreslování a export grafů byla použita opensource knihovna ZedGraph dostupná na serveru Source Forge.



Obr. 32: O programu RainRunoff

Program byl otestován na několika reálných modelových povodích vybraných z několika diplomových prací, a výsledky porovnány s výstupy z programu DesQ. Výsledky z obou programů vykazují dobrou shodu, se zanedbatelnou relativní odchylkou, kterou lze pominout při uvážení míry nejistot u vstupních dat. Pro úplné prohlášení správné funkčnosti programu je nutné program řádně otestovat na více povodích, např. při používání v projekční kanceláři při návrhu protierozních opatření s průběžnou kontrolou výsledků z programu DesQ.

Pro největší přesnost výsledků je nutné použít aktuální data 1-denních srážek, které lze zakoupit u ČHMÚ, avšak záleží na finančních možnostech daného projektu. Pro orientační hodnoty průtoků potřebných pro návrh technických opatření však data dostupná v programu stačí, což odpovídá i účelu vytvoření programu tedy vytvořit prostředek který by byl schopen na základě dostupných dat vypočítat návrhové hodnoty, zejména kulminační průtoky popř. celkový objem odtoku.

Dalším důvodem pro vytvoření programu byl fakt, že program lze oproti DesQ dále rozšiřovat o další funkce jako například návaznost výpočtu dimenze propustku v uzavírajícím profilu, návrh výšky hrázek, dimenze přelivů, objem hrázek a suchých nádrží, profily svodných průlehů atd.. Je tedy zřejmé, že samotné vlastnictví zdrojových kódů programu je část cíle této práce, ačkoliv se může zdát že oproti programu DesQ program RainRunoff nepřináší mnoho nového. Program má potenciál stát se komplexním, pomocným, výpočetním prostředkem při projektování protierozní ochrany, společných zařízení v rámci pozemkových úprav či návrhu opatření pro ochranu zastavěného území před povrchovým odtokem.

Literatura

- [1] KAVKA, Petr, Miloslav MÜLLER, Luděk STROUHAL, et al. Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině: metodika. 2018. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2018. ISBN 978-80-01-06363-7.
- [2] JANEČEK, Miloslav. Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.
- [3] Návrhové průtoky pro velmi malá povodí: Hydrologická směrnice. Praha, 1989. Schválil: MZVŽ ČSR ČJ. 465/89-420 z 28.3.1989, Vydal: Hydroprojekt, Tábořská 31, 140 43 Praha 4, Vypracoval: Vysoká škola zemědělská Praha, katedra základů vodního hospodářství.
- [4] HRÁDEK, František a Jan ZEŽULÁK. Výpočet maximálních průtoků na malých povodích: model DesQ ver. 4.1. Praha, 1998.
- [5] HRÁDEK, František a Karel KUŘÍK. Maximální odtok z povodí: teorie svahového odtoku a hydrologický model DesQ-MAX Q. Praha: Credit, [2001]. ISBN 80-213-0782-X.
- [6] EKatalog BPEJ [online]. 2019 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz>
- [7] Soil Conservation: Official organ of the soil Conservation service. Washington, 1977.
- [8] ŠAMAJ, F; VALOVIČ, Š; BRÁZDIL, R. Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901 - 1980. In ŠAMAJ, F (ed.). Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu. Bratislava : ALFA, 1985.
- [9] VAŠŠOVÁ, Darina a Pavel KOVÁŘ. Program DES RAIN: Dokumentace Uživatelská příručka. Praha, 2011.
- [10] Michal Břenda Analýza erozních a odtokových poměrů pro potřeby řešení pozemkových úprav. Brno, 2019. 66 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.
- [11] Věra Horáková Ochrana zastavěných území ohrožených přívalovými srážkami. Brno, 2017. 73 s., 2 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

-
- [12] Jiří Benáček Analýza erozních a odtokových poměrů pro potřeby pozemkových úprav v k.ú Liderovice. Brno, 2019. 32s., 4s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

Seznam obrázků

1	Sklonové a Geometrické poměry MP	9
2	Čísla odtokové křivky pro indexy předchozího nasycení IPS I-III	17
3	Hydraulické závislosti procesu svahového odtoku	22
4	Grafické řešení maximální intenzity odtoku VARIANTA I	25
5	Grafické řešení maximální intenzity odtoku VARIANTA II	25
6	Grafické řešení maximální intenzity odtoku VARIANTA III	26
7	Schematizace modelového povodí	28
8	Odvození doby trvání výpočtového deště t_{dv} pro MP	29
9	Superpozice hydrogramů levého a pravého svahu	29
10	Ikona programu RainRunoff	30
11	Mapa meteorologických stanic uvedených Denné úhrny zrážek s mimoriadnou výdatností v ČSSR v období 1901 - 1980	31
12	Ukázka prostředí programu d-rain-point	32
13	Prostředí po otevření programu	33
14	groupBox pro zadání úhrnů vstupních srážek	34
15	Ukázka získání souřadnic v prostředí Google Maps	34
16	Formulář pro definici čísla CN	36
17	Okno s vysvětlivkami pro využití půdy	37
18	Zadání geometrických a hydraulických charakteristik svahu	37
19	Spuštění výpočtu a možnost zadání délky srážky	38
20	Porovnání vyhlazeného a trojúhelníkového hydrogramu	39
21	Hydrogramy pro povodí, N=2 až 100 let z programu RainRunoff pro oblast Janovice	41
22	Porovnání hydrogramů z pr. DesQ a RainRunoff	42
23	Porovnání vyhlazeného a trojúhelníkového hydrogramu pro N=2roky z pr. RainRunoff	44
24	Porovnání hydrogramů pro N=100 pro oblast Lederovice	46
25	Hydrogramy pro N=2 až 100 let z programu RainRunoff pro oblast Lederovice	47
26	Hydrogramy pro N=2 z programu RainRunoff pro oblast Lede- rovice	47
27	Hydrogramy pro N=5 z programu RainRunoff pro oblast Lede- rovice	48
28	Hydrogramy pro N=10 z programu RainRunoff pro oblast Le- derovice	48
29	Hydrogramy pro N=20 z programu RainRunoff pro oblast Le- derovice	49
30	Hydrogramy pro N=50 z programu RainRunoff pro oblast Le- derovice	49

31	Ukázka rozšířené tabulky výsledků v programu RainRunoff . . .	50
32	O programu RainRunoff	51

Seznam tabulek

1	Přehled technických opatření v krajině a návrhový parametr . .	1
1	Přehled technických opatření v krajině a návrhový parametr . .	2
2	Přehled modelů a jejich aspekty	3
3	Charakteristika hydrologických vlastností	10
4	Kategorie BPEJ a hydrologické skupiny HSP	10
4	Kategorie BPEJ a hydrologické skupiny HSP	11
4	Kategorie BPEJ a hydrologické skupiny HSP	12
5	Hospodářské využití a čísla CN křivek	13
5	Hospodářské využití a čísla CN křivek	14
5	Hospodářské využití a čísla CN křivek	15
5	Hospodářské využití a čísla CN křivek	16
6	Hodnoty koeficientů a_d a c pro povodí Labe	19
6	Hodnoty koeficientů a_d a c pro povodí Labe	20
7	Tabulka vstupních hodnot pro Janovice	40
8	Tabulka výstupních hodnot z programu RainRunoff a DesQ . .	41
9	Tabulka vstupních hodnot pro Velké Albrechtice	43
10	Tabulka výstupních hodnot z programu RainRunoff a DesQ . .	43
11	Tabulka vstupních hodnot pro oblast Liderovice	45
12	Tabulka výstupních hodnot z programu RainRunoff a DesQ . .	45

Seznam použitých zkratk a symbolů

zkratka/symbol	jednotka	název
L_s	[m]	střední délka svahu
F_s	[m ²]	plocha svahu
L_u	[m]	délka údolnice
L_{so}	[m]	dráha svahového odtoku
I_u	[‰]	sklon údolnice
I_s	[‰]	průměrný sklon svahu
f_i	[m ²]	plocha elementárního proužku
$I_{s,i}$	[‰]	sklon elementárního proužku
Δh	[m]	interval vrstevnic
L_1	[m]	délka nejnižší vrstevnice
L_{jj}	[m]	dálka nejvyšší vrstevnice
ΔH	[m]	rozdíl nejvyššího a nejnižšího bodu údolnice
CN	[-]	číslo odtokové křivky
m	[-]	drsnostní charakteristika
a	[-]	parametr vyjadřující vliv sklonu a drsnosti svahu
A_s	[s]	hydraulická charakteristika
ψ	[-]	redukční součinitel deště
a_d	[-]	parametr deště
$1 - c$	[-]	parametr deště
$H_{t,N}$	[mm]	návrhový úhrn srážky pro danou dobu t a opakování N
c_d	[-]	parametr deště
$i_{t,N}$	[mm.min ⁻¹]	návrhová intenzita srážky
y	[m]	výška vrstvy odtékající vody
x	[m]	délka svahu
i_{sp}	[mm.min ⁻¹]	intenzita přítoku(efektivního deště)
q	[m ² .s]	průtok z jednotkové šířky svahu
a, b	[-]	hydraulické parametry
v	[m.s ⁻¹]	střední profilová rychlost
H_{ed}	[mm]	výška efektivního deště
R_1	[mm]	počáteční retence
R_p	[mm]	potenciální retence
r	[-]	redukční součinitel
α	[-]	exponent redukčního součinitele
t_{ed}	[min]	doba trvání efektivního deště
t_1	[min]	doba trvání bezodtokové fáze

i_d	[min]	intenzita přívalového deště
i_{ed}	[mm.min ⁻¹]	intenzita efektivního deště
t_{sk}	[min]	doba koncentrace
t_{spk}	[min]	doba trvání svahového přítoku
i_{sor}	[min]	redukována maximální intenzita odtoku
Q_N	[m ³ .s ⁻¹]	N-letý maximální odtoku
k	[-]	rozměrový součinitel
$max \quad i_{so}$	[mm.min ⁻¹]	maximální intenzita odtoku]