



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

OVĚŘENÍ ZÁVISLOSTI MEZI INTENZITOU  
DEŠTĚ A N-LETÝM PRŮTOKEM PRO  
VYBRANÉ POVODÍ

VERIFICATION OF THE DEPENDENCE BETWEEN RAIN INTENSITY AND N-YEAR  
FLOW FOR SELECTED RIVER BASINS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Tomášek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KOZEL, Ph.D.

BRNO 2021



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Lukáš Tomášek
<b>Název</b>	Ověření závislosti mezi intenzitou deště a N-letým průtokem pro vybrané povodí
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Tomáš Kozel, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2020
<b>Datum odevzdání</b>	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

---

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

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

## PODKLADY A LITERATURA

Starý, M: Nádrže a vodohospodářské soustavy, skriptum, FAST VUT Brno, 2006.

Starý, M: Hydrologie, skriptum, FAST VUT Brno, 2005.

Starý, M: Nádrže a vodohospodářské soustavy, m. návody do cvičení 1. vyd. Brno, skriptum, VUT Brno, 1986.

Scharffenberg B. et al., Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual, U.S . Army Corps of Engineer 2018.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Student provede schematizaci pro vybrané povodí a následně provede simulaci srážkoodtokového procesu pro různé intenzity deště. Dále student vyhodnotí jednotlivé události. V následujícím kroku se student zaměří na vybranou N-letost kulminačního odtoku vody z povodí a vyhodnotí, které hodnoty intenzit dešťů jí mohou odpovídat.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ 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. Tomáš Kozel, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá ověřením různých srážkových událostí na dvou vybraných povodích. V rámci práce jsou obě povodí schematizována a pro každé je vytvořen srážko-odtokový model, který je kalibrován na základě návrhových průtoků od Povodí Odry. Na kalibrovaném srážko-odtokovém modelu jsou testovány náhradní intenzity dešťů. Výsledkem by měl být průtok, který odpovídá přibližně návrhovému průtoku  $Q_{20}$ .

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Povodí, srážko-odtokový proces, srážko-odtokový model, náhradní intenzita dešťů.

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the verification of various precipitation events in two selected river basins. Within the work, both river basins are schematized and a precipitation-runoff model is created for each of them, being calibrated on the basis of proposal flow rates from the Odra River Basin. Alternative rain intensities are tested on the calibrated precipitation-runoff model. The result should be a flow rate that corresponds approximately to the proposed flow rate  $Q_{20}$ .

## **KEYWORDS**

River basin, Precipitation-runoff process, Precipitation-runoff model, alternative rain intensity.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Lukáš Tomášek *Ověření závislosti mezi intenzitou deště a N-letým průtokem pro vybrané povodí*. Brno, 2021. 49 s., 49 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kozel, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Ověření závislosti mezi intenzitou deště a N-letým průtokem pro vybrané povodí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2021

---

Lukáš Tomášek  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Ověření závislosti mezi intenzitou deště a N-letým průtokem pro vybrané povodí* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2021

---

Lukáš Tomášek  
autor práce

**Poděkování:**

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Tomáši Kozlovi, Ph.D. za užitečné rady při vypracování práce a za čas strávený při konzultacích. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu při studiu.

# Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíl.....	10
3. Metodika.....	11
3.1. Povodí.....	11
3.2. Srážko-odtokový proces.....	12
3.3. Klimatičtí činitelé.....	13
3.3.1. Vlhkost ovzduší.....	13
3.3.2. Výpar.....	14
3.3.3. Srážky.....	14
3.4. Geografičtí činitelé.....	21
3.5. Srážko-odtokové modely.....	22
3.5.1. HEC-HMS.....	22
3.5.2. HYDROG.....	22
3.5.3. MIKE SHE.....	23
3.6. Metoda CN křivek.....	23
3.7. Truplovy tabulky.....	23
3.8. RAIN.....	23
3.8.1. Bodový výpočet náhradní maximální intenzity srážky.....	24
4. Aplikace.....	25
4.1. Povodí 1 – Polančice.....	31
4.2. Povodí 2 – Grasmanka.....	33
4.3. Výsledky.....	36
4.3.1. Povodí 1 - Polančice.....	38
4.3.2. Povodí 2 – Grasmanka.....	40
4.3.3. Shrnutí výsledků.....	41
5. Závěr.....	44
6. Seznamy.....	46
6.1. Seznam použité literatury.....	46
6.2. Seznam použitých obrázků.....	47
6.3. Seznam tabulek.....	48
6.4. Seznam zkratk.....	49



# 1. Úvod

Voda je nejdůležitější složkou planety Země. Má významnou úlohu v životě člověka. Důležitou vlastností vody je její neustálá obnova. Vypařená voda se vrací zpět na povrch země ve formě srážky, která se při dopadu na zemský povrch transformuje.

U malých povodí hrozí nebezpečí zejména přívalových povodní. Velký problém přívalových povodní je velmi obtížná předpověď. Přívalové srážky zasahují zpravidla malé území a ve většině případů nejsou včas zaznamenány. Pro prevenci vzniku přívalových povodní je nutné zajištění dostatečné kapacity odtokových cest. Z hlediska ochrany odtokových poměrů by měl být používán náhradní déšť, který generuje v malých povodích průtok kolem  $Q_{20}$ .

Pro dostatečnou ochranu před přívalovou povodní je potřeba znát hodnoty kulminačních průtoků. Při špatném určení hrozí lokální ohrožení, které může mít pro zasaženou lokalitu katastrofální následky. Přívalové povodně mohou způsobit škody na majetku, ekologické škody či oběti na lidských životech.

Zajištění dostatečně kapacitních cest pro libovolný návrhový průtok lze prakticky prosadit vyjadřovací činností správce povodí. V případě průtoků  $Q_{20}$  projektanti často pracují s náhradní intenzitou deště s periodicitou  $p=0,01$  s dobou trvání  $t=15$  minut. Povodí Odry v současnosti preferuje pro výše uvedený návrhový průtok na základě praktických zkušeností při vyjadřovací činnosti dešť o periodicitě  $p=0,1$  s dobou trvání  $t=30$  minut, který nejlépe vystihuje odtok, který by měl být návrhovým průtokem pro posuzování změny odtokových poměrů.

Je vhodné prozkoumat, která z těchto metod je pro určení návrhových kulminačních průtoků více vhodná. Projektanti v praxi často používají náhradní intenzity dešťů z Truplových tabulek. K dispozici jsou však data i z jiných zdrojů.

Pro potřeby bakalářské práce bude pro dvě vybraná povodí vytvořen srážko-odtokový model, na kterém budou zkoušeny náhradní intenzity dešťů. Výsledkem by měly být průtoky, které odpovídají přibližně hodnotě návrhového průtoků  $Q_{20}$ . Dále v práci budou porovnávány náhradní intenzity dešťů získané z webové aplikace Rain a z Truplových tabulek.

## 2. Cíl

Cílem bakalářské práce je vytvořit pro dvě dílčí povodí srážko-odtokový model, na kterém budou testovány náhradní intenzity dešťů.

Budou posuzovány 3 návrhové stavy:

- Déšť o periodicitě 0,1 s dobou trvání 30 minut.
- Déšť o periodicitě 0,05 s dobou trvání dle délky koncentrace odtoku vody v povodí.
- Déšť o periodicitě 0,01 s dobou trvání 15 minut.

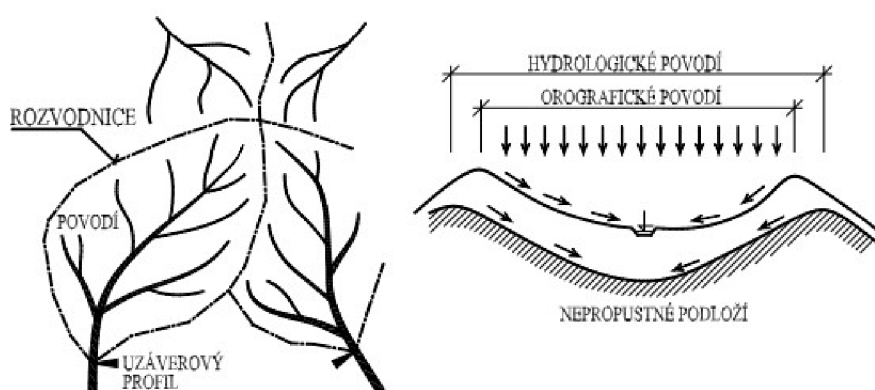
Výsledkem by měl být průtok, který odpovídá zhruba návrhovému průtoku  $Q_{20}$ .

### 3. Metodika

V této kapitole bude blíže specifikováno povodí včetně jeho rozdělení. Dále zde bude popsán srážko-odtokový proces, faktory ovlivňující srážko-odtokový proces a srážko-odtokové modely.

#### 3.1. Povodí

Povodí je oblast, ze které voda odtéká až do závěrového profilu. Hranici mezi dvěma povodími tvoří rozvodnice. Podle způsobu vymezení rozdělujeme povodí na orografické a hydrologické. Orografické povodí je vymezeno rozvodnicí, která probíhá přes nejvyšší kóty, mezi ležící hřebeny a sedla v bezprostřední blízkosti sledovaného vodního toku. Rozsah povodí s povrchovým odtokem obvykle souhlasí s rozsahem povodí s podpovrchovým odtokem. Povodí jsou popsána na obrázku 1. (1)



Obrázek 1. Orografické povodí a hydrologické povodí (2)

Na území České republiky se nachází tři hlavní evropská povodí. Mnoho řek u nás pramení, ale žádná velká řeka k nám nepřitéká a veškerá voda, která u nás naprší nebo vyvěrá, odeče pryč.

V České republice se nachází 3 hlavní povodí:

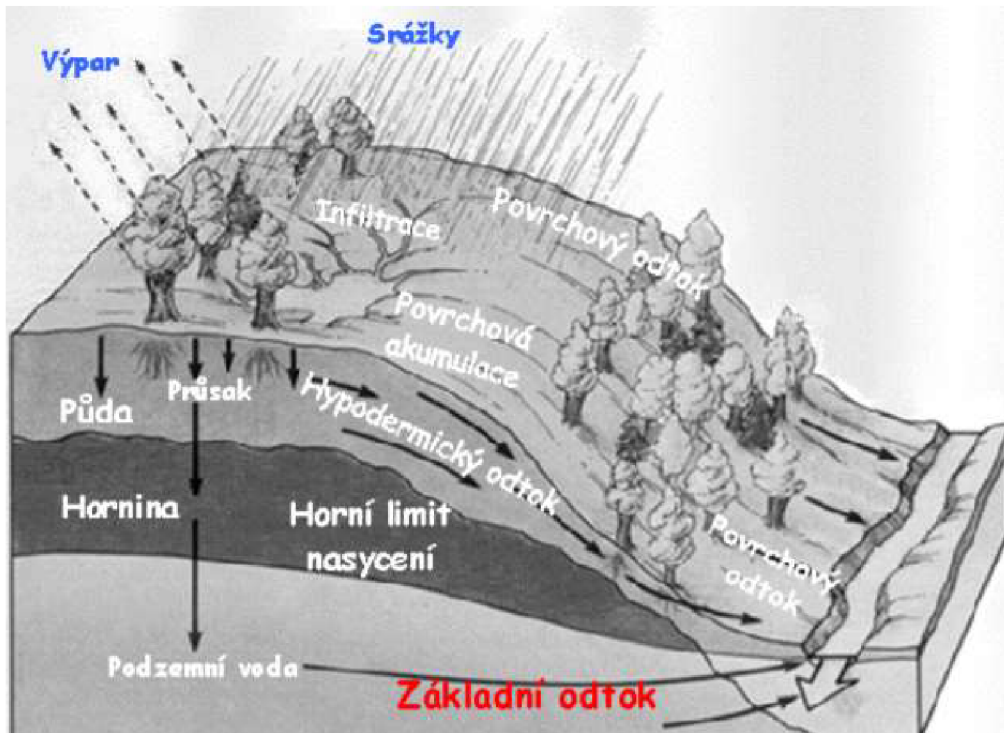
- Povodí Labe – voda z povodí odtéká do Severního moře.
- Povodí Dunaje – voda z povodí odtéká do Černého moře.
- Povodí Odry – voda z povodí odtéká do Baltského moře.

V České republice jsou hlavní povodí rozděleny do pěti oblastí povodí, které spravuje pět státních podniků povodí.

- Povodí Vltavy
- Povodí Labe
- Povodí Ohře
- Povodí Moravy
- Povodí Odry

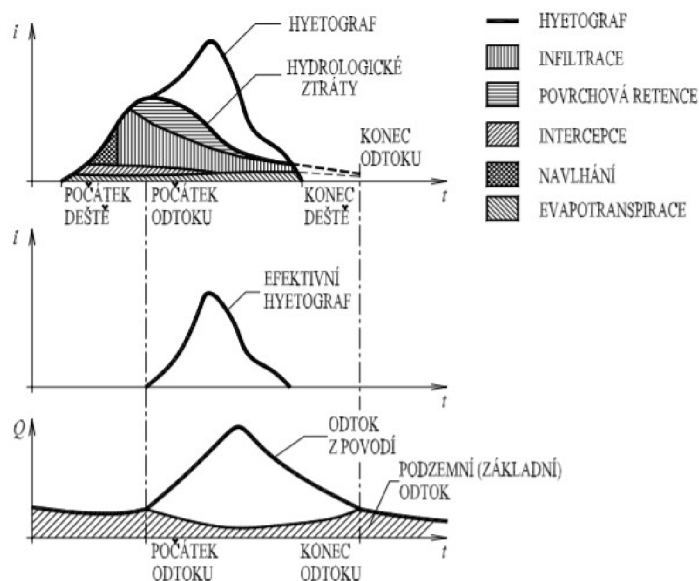
### 3.2. Srážko-odtokový proces

Srážko-odtokovým procesem v povodí se rozumí postupná srážka dopadající na povodí až na odtok vody závěrovým profilem povodí. Jedná se o složitý proces, který je ovlivněn řadou činitelů. Jsou klimatičtí činitelé a geografičtí činitelé povodí. První skupinu tvoří kromě srážky zejména meteorologické veličiny, které ovlivňují především celkový výpar vody z povodí. Druhá skupina popisuje prostředí, ve kterém se proces odehrává. Určuje vlastnosti povodí, které jsou rozhodující pro způsob, jakým se bude časový průběh srážky v daném povodí transformovat na časový průběh odtoku vody závěrovým profilem. Schéma srážko-odtokového procesu je popsáno na obrázku 2. (2)



Obrázek 2. Schéma srážko-odtokového procesu v povodí (2)

Srážko-odtokový proces se skládá ze dvou dílčích transformací. V průběhu první – hydrologické transformace – jsou od srážky dopadající na povodí postupně odečítány hydrologické ztráty. Sem patří ztráta výparem – evapotranspirace, ztráta vlivem intercepce, ztráta navlháním, ztráta infiltrací vody do půdy a ztráta povrchovou retencí. Postupnou separací hydrologických ztrát od časového průběhu intenzity srážky získáme efektivní intenzitu srážky. Voda takto spadlá na povrch terénu odtéká z povodí ve formě plošného povrchového odtoku. Tím začíná druhá transformace – hydraulická. Plošný povrchový odtok se postupně koncentruje v ronových a erozních rýhách a následně v říční síti až na odtok závěrovým profilem. Část z celkového odtoku tvoří podzemní odtok. Z podzemí pak potom odtéká buď z nenasycené zóny nad hladinou podzemní vody, nebo z nasycené zóny pod souvislou hladinou podzemní vody ve formě podzemního odtoku do říční sítě. (2)



Obrázek 3. Hydrologická a hydraulická transformace. (2)

V nenasyčené zóně zemědělsky obdělávaných povodí bývá půda do obdělávané hloubky nakypřená a má tím pádem větší propustnost než půda pod tímto horizontem. Proto dochází k odtoku mezi těmito hloubkami a voda může vytékat na svazích na povrch půdy. Voda v nasycené zóně se pohybuje po relativně nepropustném podloží. Někdy však proniká vlivem puklin z nepropustné zóny do značných hloubek a pak může vyvěrat v jiném povodí, než na které dopadla srážka. (2)

### 3.3. Klimatičtí činitelé

Ve srážko-odtokovém procesu mají klimatičtí činitelé značný vliv. Patří sem zejména srážky a jejich průběh, vlhkost ovzduší, výpar a další.

#### 3.3.1. Vlhkost ovzduší

Vlhkost ovzduší je stanovena množstvím vodních par v ovzduší, které silně kolísá. Obsah vodních par charakterizujeme hlavně absolutní vlhkostí vzduchu. Je to okamžitá skutečná vlhkost. Vyjadřuje množství vodních par obsažených při dané teplotě ve vzduchu. Značí se buď  $q$  a vyjadřuje hmotnost vodních par v gramech na  $1 \text{ m}^3$  vzduchu, nebo se značí  $e$  a vyjadřuje tlak vodních par v kPa. Vlhkost vzduchu se měří pomocí vlhkoměrů (Assmanův, Augustův, kondenzační, vlasový). (2)

Při dané teplotě může ovzduší obsahovat maximálně množství par, které udává maximální vlhkost  $E$  ( $q_{\max}$ ). Poměr mezi absolutní vlhkostí  $e$  a maximální vlhkostí  $E$  při dané teplotě je relativní vlhkost  $r$  [%]. (2)

Rovnice 1. Výpočet relativní vlhkosti  $r$ . (2)

$$r = \frac{e}{E} \cdot 100 [\%]$$

Množství vodních par, které vzduch může ještě za určité teploty přijmout, se nazývá sytostní doplněk  $d$  [kPa]. (2)

Rovnice 2. Výpočet sytostního doplňku  $d$ . (2)

$$d = E - e [\text{kPa}]$$

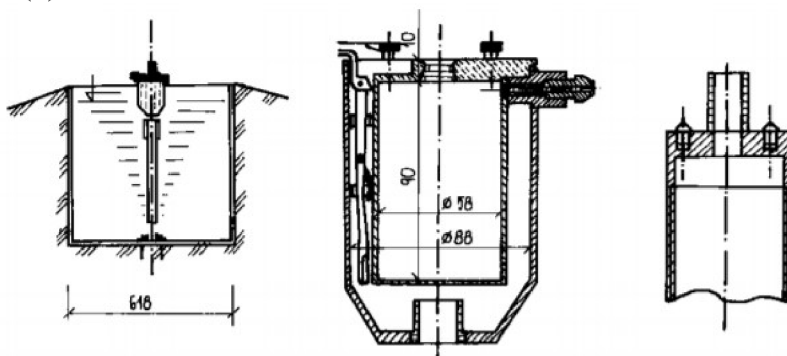
### 3.3.2. Výpar

Vypařování vyplývá z neustálého pohybu molekul vody, který se stupňuje s nárůstem teploty. Jedná se o složitý proces závislý na řadě činitelů. Rozeznáváme výpar z volné vodní hladiny, výpar z půdy a výpar rostlinami.

- **Výpar z vodní hladiny**

U vodních nádrží se jedná o nejvýznamnější složku ztráty vody. V našich podmínkách se tento výpar pohybuje okolo 1 až 3 mm za den a 200 až 800 mm za rok. Množství vypařené vody závisí hlavně na teplotě a nadmořské výšce. (2)

Pro měření výparu se v současné době standardně používá Šermerův výparoměr (obrázek 4). Jedná se o výparoměr o půdorysné ploše 3000 cm<sup>2</sup>. Poloha vodní hladiny se odečítá pomocí Byretky. (2)



Obrázek 4. Šermerův výparoměr. (2)

- **Výpar z půdy**

Závisí na meteorologických podmínkách a vlastnostech půdy. Z nasycené půdy se odpařuje 10 až 15 mm vody denně. Lze říci, že výpar je tím menší, čím silnější je povrchová vrstva vysušené půdy a čím pomaleji se vlhkost doplňuje ze spodních vrstev. Větší výpar mají tmavší půdy. Důležitý je také vliv polohy. Podstatný vliv na zmenšení výparu má také zastínění půdy. Zastínění rostlinstvem může snížit výpar až o 20 %. Výpar z půdy se měří pomocí lyzometrů. Je to sada tří válcových nádob naplněných rostlým vzorkem půdy a zapuštěných do země. Hodnota výparu za určité období se stanoví podle úbytku hmotnosti při převážení. (2)

- **Transpirace rostlin**

Jedná se o projev životního procesu rostlin. Kořeny rostlin se nasává podzemní voda, která se pak listy částečně vypařuje. (2)

### 3.3.3. Srážky

Vznik srážek souvisí s kondenzací vodní páry obsažené ve vzduchu, nejčastěji při jejím ochlazení během výstupných pohybů vzduchu. Vznikají vodní kapky a ledové krystalky tvořící oblaky. Ledové krystalky narůstají tak, že na nich namrzají drobné kapky přechlazené vody. Tím rychle narůstají na úkor vodních kapek, dokud nejsou na tolik velké, že ve formě ledových vloček začnou padat. Při svém pádu od určité výšky, kde je okolní vzduch dostatečně teplý, tají a vznikají z nich dešťové kapky. (3)

Padající srážky představují dešť, mrznoucí dešť, mrholení, mrznoucí mrholení, sníh, sněhové krupky, sněhová zrna, zmrzlý dešť, kroupy, ledové jehličky apod. Jako usazené

označujeme rosu, zmrzlou rosu, jinovatku, námrazu, ledovku. Pokud srážky vypadávají z oblaků, ale nedopadají k zemskému povrchu, označujeme je jako srážkové pruhy. (4)

Pokud srážky trvají delší dobu s víceméně stálou intenzitou, tak se označují jako trvalé. Jestliže na určitou dobu ustávají, tak se označují jako občasně. Přeháňky mají náhlý začátek a konec, rychlé kolísání intenzity, obvykle krátké trvání. Trvalé srážky zasahují větší plochu, zatímco přeháňky mají spíše místní charakter. (4)

Rozlišujeme konvekční, cyklonální a orografické srážky.

Konvekční srážky mají přeháňkový charakter, krátkou dobu trvání a větší intenzitu. Jsou často provázeny bouřkou. V létě jsou obvykle tvořeny velkými dešťovými kapkami, někdy i s kroupami, v ostatních částech roku jsou tvořeny zpravidla mokrým sněhem nebo sněhovými krupkami. (4)

Cyklonální srážky vypadávají v oblasti tlakové níže, považují se za ně frontální srážky v oblasti atmosférické fronty. V chladném období mají zpravidla trvalý charakter a jejich intenzita závisí na vlhkosti vzduchu. V teplém období se vyskytují frontální srážky ve formě přeháněk. (4)

Orografické srážky se vytvářejí díky terénním překážkám především při výstupu vzduchu po svazích, v závětří horských překážek pak vypadávají srážky. (4)

### ***Extrémní srážky***

Deště charakterizujeme dobou trvání v minutách nebo hodinách a intenzitou, což je množství vody, které spadne za jednotku času. Podle trvání a intenzity rozdělujeme deště na regionální a přivalové. (2)

Regionální deště jsou dlouhodobé deště s velkou rozlohou a obvykle i menší intenzitou. Regionální deště způsobují povodně v rámci velkých povodí, zatímco přivalové deště (lijáky) jsou vydatné krátkodobé deště, které zasahují poměrně malé plochy. Způsobují prudké rozvodnění malých toků a nejsilněji se u nich projevuje splavování ornice (vodní eroze). (2)

Přivalové deště nemají v meteorologické praxi přesnou definici. Podle Hellmana jsou to deště s dobou trvání do 180 minut a s výškou srážek 10–80 mm. Intenzita deště během jeho trvání značně kolísá. Pro hydrotechnické výpočty se průběh skutečného deště zjednodušuje a nahrazuje modelovým deštěm konstantní intenzity, různé doby trvání, ale tak aby měl stejný účinek jako dešť původní. Takový modelový dešť se nazývá náhradním deštěm a určuje se z ombrografických záznamů. (2)

Pozorování dešťů prokázala některé závislosti. Zejména, že intenzita deště bývá nejsilnější brzy po začátku deště a při jeho dalším trvání klesá. Čím větší je intenzita deště, tím menší je zasažená plocha. (2)

Přivalové deště charakterizujeme periodicitou neboli průměrnou roční frekvencí  $p'$ . Toto číslo udává, kolikrát je v průměru dešť o určité intenzitě v rámci jednoho roku dosažen nebo překročen. Převrácenou hodnotou periodicity je průměrná doba opakování  $N$ . Udává průměrný počet let, ve kterých je dešť určité intenzity dosažen nebo překročen. (2)

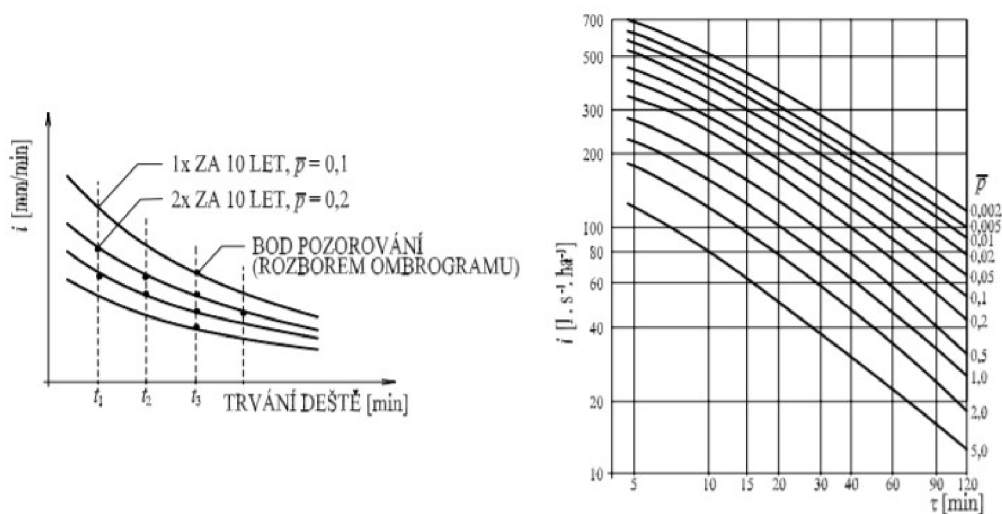
*Rovnice 3. Průměrná roční frekvence  $p'$ . (2)*

$$p' = \frac{m}{M}$$

*Rovnice 4. Průměrná doba opakování. (2)*

$$N = \frac{1}{p'} = \frac{M}{m}$$

Kde:  $m$  – počet výskytů daného jevu za sledované období  
 $M$  – počet roků pozorování



Obrázek 5. Vztah mezi trváním, intenzitou a periodicitou deště podle Trupla. (2)

### Indikátor přívalových povodní

Hlavním úkolem aplikace je zjištění potenciálního rizika vzniku přívalové povodně. Skládá se ze tří hlavních částí:

- Odhad aktuální nasycenosti území v denním kroku.
- Odvození potenciálně rizikových srážek o době trvání 1, 3 a 6 hodin, které mohou za aktuálních podmínek nasycenosti území vyvolat plošný povrchový odtok povodňového charakteru.
- Stanovení rizika vzniku přívalové povodně na konkrétním území na základě aktuálních údajů o spadlých srážkách a jejich krátkodobé předpovědi.

Aplikace je provozována pouze v konvektivní sezóně (duben–říjen). Výstupy jsou prezentovány v mapové aplikaci. (5)

### Závislost intenzity deště na velikosti zasažené plochy

Přívalové deště zasahují malá území. Jejich intenzita na ploše není rovnoměrně rozložena. Od jádra deště, kde je intenzita největší, k jeho okrajům se snižuje. Čím je dešť intenzivnější, tím menší území zasáhne. S rostoucí plochou povodí je třeba zjištěnou intenzitu redukovat. Řešení tohoto problému poskytuje Frühlingův vzorec: (2)

Rovnice 5. Frühlingův vzorec. (2)

$$i_{pr} = i_b(1 - 0,005 L^{0,5})$$

Kde:  $i_{pr}$  – plošně průměrná intenzita v kruhu o poloměru  $L$   
 $i_b$  – maximální bodová intenzita v jádru deště

Frühling zjednodušeně uvádí, že intenzita přívalového deště klesá se vzdáleností od jádra a to tak, že ve vzdálenosti 3 kilometry od jádra klesá na polovinu.

Pro ČR je možno přibližně použít Reinholdova závěru, že vypočítanou intenzitu lze snížit pro povodí do 10 km<sup>2</sup> o 5 %, do 25 km<sup>2</sup> o 10 %. (2)



## Měření srážek

Měření srážek patří k jednomu z nejdůležitějších měření v hydrologii. Údaje o srážkách jsou důležité pro pozorování hydrologického cyklu a změn klimatu. Dále slouží jako zdroj dat pro hydrologické a klimatické modely nebo pro předpověď extrémních situací.

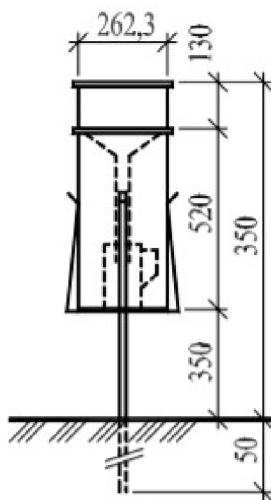
Hydrologické předpovědi jsou v České republice zajišťovány Českým hydrometeorologickým ústavem. Předpovědi vychází z pozorování v hlásné síti vodoměrných stanic a ze znalosti spadlých a předpovězených srážek. Měření srážek je zdrojem reálných dat pro srážko-odtokové předpovědní modely. Jedním z cílů těchto modelů je s dostatečným časovým předstihem určit průtoky v tocích a umožnit tak včasné varování obyvatelstva a snížení povodňových škod. (2)

Meteorologická a klimatologická měření probíhají v síti 802 stanic ČHMÚ (červen 2011). Nejvyšší postavení a nejrozsáhlejší pozorovací program má síť 38 profesionálních meteorologických stanic, z nichž část, celkem 6 stanic, je pod správou Armády ČR. Rozsáhlá klimatologická měření poskytuje síť 179 dobrovolnických klimatologických stanic, z nichž je většina částečně nebo plně automatizována. Pozorovací program 559 dobrovolnických srážkoměrných stanic je omezen jen na měření srážek a vlastností sněhové pokrývky. Doplnkové údaje o ročním úhrnu srážek poskytuje navíc i 26 totalizátorů umístěných v obtížně přístupných horských lokalitách. (6)

## Měření srážek pomocí srážkoměrů

Srážkoměr, či také hyetometr, je základním meteorologickým přístrojem pro měření atmosférických srážek různého druhu. Jde o úhrn srážek, tedy výšku vodního sloupce srážkové vody, na vodorovném nepropustném povrchu, za předpokladu absence výparu a odtoku. (7)

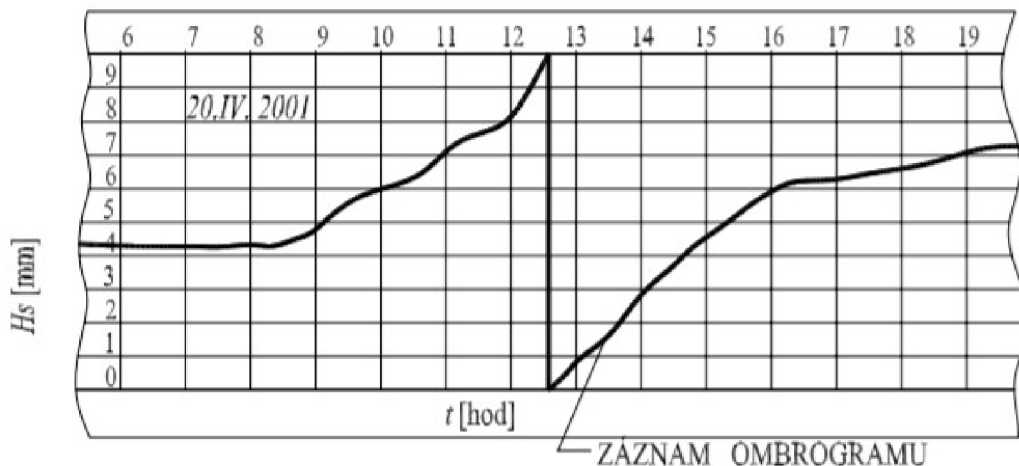
Srážkoměr neboli ombrometr se skládá ze záchytné nálevky, jejíž okraj je 100 cm nad zemí a plocha 500 cm<sup>2</sup>. Nálevka zasahuje do sběrné nádoby umístěné uvnitř ochranné nádoby. K vybavení patří skleněná kalibrovaná nádoba, v níž se odměřuje zachycená voda. Měření se provádí pravidelně každý den v 7 hodin ráno nebo i po jednotlivých deštích. (2)



Obrázek 6. Ombrometr. (2)

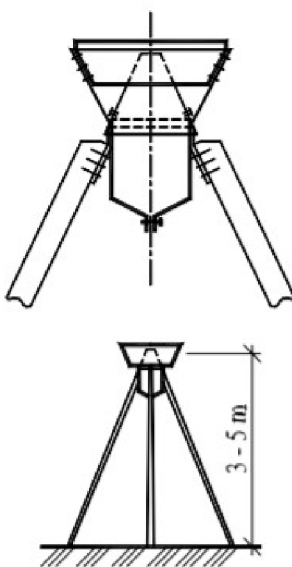
Dokonalejší údaje dostáváme zapisujícím srážkoměrem, ombrografem. Ze záchytné nálevky stéká voda do nádobky s plovákem, na kterém je připevněno písátko přiléhající na papír navinutý na bubnu. Ten se otáčí pomocí hodinového strojku. Papír má na vodorovné ose

označen čas a na svislé výšce spadlého deště. Když je nádobka plná vody, vyprázdní se násoskou do podstavné sběrné nádoby, pisátko přitom rychle poklesne a zápis je přerušen téměř svislou čarou. Ombrogram umožňuje stanovit nejen průběh jednotlivých dešťů, ale i intenzitu podle strmosti záznamů. (2)



Obrázek 7. Záznamy Ombrogramu. (2)

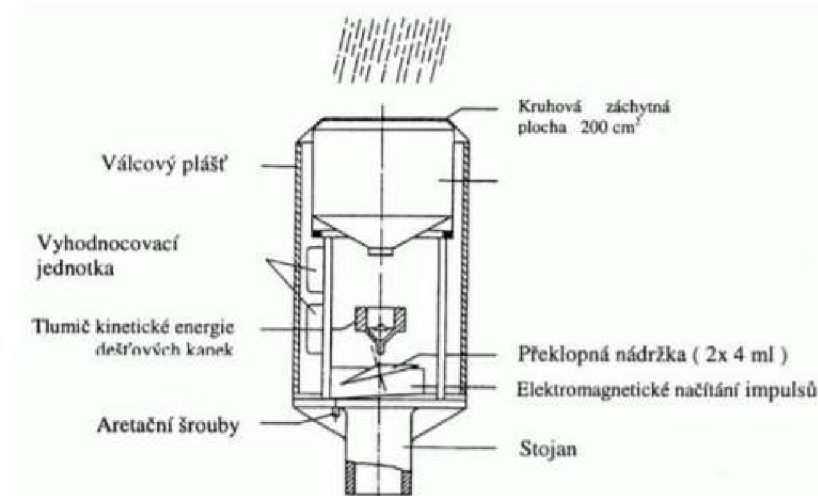
Na těžko přístupných místech, hlavně v horách, se měří srážkový úhrn za delší období pomocí totalizátoru. Jeho výška nad terénem je 3 až 5 m. Zachycené pevné srážky se v něm rozpustí v roztoku chloridu vápenatého a chrání se před výparem vrstvou vaselinového oleje. Sběrná nádoba musí mít dostatečný obsah, aby zachytila srážky za celé měrné období. Nad ní je kuželovitá část se sběrnou plochou a ta je před vlivem turbulentního účinku větru chráněna širokým plechovým kuzelem. (2)



Obrázek 8. Totalizátor. (2)

Impulsivní srážkoměr je asi nejznámější, funguje u něj měření na základě počtu překlopení dvoudílného člunku vlivem srážkové vody přitékající do přístroje. Vstupní nálevka zachycuje srážky a nasměruje je na jednu z lopatek překlopného mechanismu, je vyslán

mechanický impuls a začíná se plnit další lopatka mechanismu. Srážkoměr bývá vytápěn pro celoroční funkci. Počet překlopení určuje množství srážek za daný čas a jejich intenzitu. (2), (7)



Obrázek 9. Impulsivní srážkoměr. (2)

Srážkoměry s periodickým vážením jsou obdobou totalizátorů, jejich součástí je však mechanismus, který v určitých časových intervalech váží hmotnost vody. Srážkoměr může být ovládán na dálku a lze měnit periodu vážení srážkové vody. Ze shromážděných dat lze získat informace o celkovém objemu srážek za určitý čas a také informace o intenzitě deště. (2)

Optické srážkoměry měří srážky pomocí infračerveného paprsku. Skládají se z vysílače paprsku a přijímače, mezi nimiž je volný prostor. Charakter prostředí v tomto prostoru má vliv na infračervený paprsek, po příjmu a vyhodnocení paprsku jsou zpětně vypočteny charakteristiky prostředí. Přístroje jsou závislé na správné kalibraci. (2)



Obrázek 10. Optický srážkoměr. (2)

## Radarová měření

Meteorologické radiolokátory slouží ke zjišťování rozložení okamžitých intenzit atmosférických srážek a výskytu jevů spojených s oblačností na velké ploše. Jejich funkce je založena na schopnosti srážkových částic v atmosféře odrazet radiovlny v centimetrovém pásmu vlnových délek. (8)

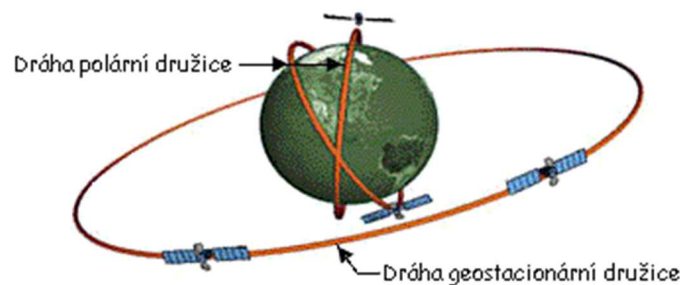
Radarová měření díky plošnému pokrytí a dobrému prostorovému i časovému rozlišení dat vhodně doplňují síť pozemních stanic i družicová pozorování pro synoptickou a leteckou meteorologii. Poskytují okamžitý přehled o pohybu a struktuře srážkových systémů. Umožňují krátkodobou předpověď a varování před nebezpečnými jevy. (8)

Účinný dosah běžně používaných meteorologických radarů pro určování intenzit srážek bývá přibližně 100–150 km, pro detekci bouřkové oblačnosti do cca 250–300 km. Schopnost detekce jevu radarem klesá se vzdáleností. Tato omezení radiolokační metody lze překonat kombinací dat z více radarů propojených do radarové sítě. (8)

Na území České republiky se v současné době nachází dva meteorologické radary, v Brdech u Prahy a ve Skalce u Boskovic. Měření probíhá nepřetržitě ve stanovených časových intervalech. (2)

## Satelitní měření

Kolem Země se na oběžné dráze nachází několik satelitních meteorologických družic. Jejich přístroje zachycují infračervené a mikrovlnné záření přicházející ze Země pod nimi. Kromě vizuálních snímků poskytují družice teploty na pevnině a v různých úrovních atmosféry, rychlost větru a atmosférickou vlhkost. Na obrázku 11 jsou znázorněny dráhy družic při obíhání. (9)



Obrázek 11. Geostacionární a polární družice. (9)

- **METEOSAT**

Družice obíhají v rovině rovníku ve výšce kolem 36 000 km a jsou usazeny nad stálým místem. Díky těmto družicím je možné pozorovat stále jeden prostor na zemském povrchu. Ke geostacionárním družicím se řadí družice Meteosat – MSG (Meteosat druhé generace). Družice Meteosat je provozovaná společností EUMETSAT. (10)

Družice Meteosat skenuje s časovým krokem 15 minut. Pořizuje 3 základní druhy dat: vizuální (ve viditelném spektru), IR (v kanálu tepelného záření) a WV (pásmo absorpce vodní páry). Navíc poskytuje třeba odhad množství písku a popela v atmosféře nebo pozice rozsáhlých požárů. MSG poskytuje snímky s vysokým rozlišením. (10)

- **NOAA**

NOAA je zkratkou National Oceanic & Atmospheric Administration, volně přeloženo Národní úřad pro oceán a atmosféru. Je to americká vládní agentura zaměřená na sledování atmosféry a oceánů. Mezi její hlavní činnosti patří dlouhodobý monitoring stavu atmosféry a mořských ekosystémů, mimo jiné dává také výstrahy před očekávanými nebezpečnými meteorologickými situacemi, sleduje změny ozonové vrstvy. (11)

Družice NOAA patří k zástupcům polárních družic. Družice se pohybují v rozmezí 810-870 km nad zemským povrchem s oběžnou dobou 102 minut. Dráha družice je zvolena tak, že každý přelet probíhá vždy v přibližně stejný čas. Předpoklad správné funkčnosti systému je provoz alespoň dvou družic, jejichž roviny drah spolu svírají úhel 90°, což zajistí snímání určité lokace zemského povrchu nejméně 4x za 24 hodin. Během svého přeletu neustále skenuje pás území široký 3000 km a data vysílá online na zem. (11)

### **3.4. Geografictí činitelé**

Odtok vody z povodí je ovlivněn řadou geografických činitelů. Mají zásadní vliv na transformaci srážky dopadající na zemský povrch.

#### **Fyzikálně-geometrickí činitelé**

Významně ovlivňují průběh odtoku vody z povodí.

Patří sem:

- Zeměpisná poloha povodí
- Průměrná nadmořská výška povodí
- Plocha povodí
- Tvar povodí
- Průměrný sklon povodí

#### **Geologické vlastnosti povodí**

Geologické vlastnosti povodí ovlivňují zejména infiltraci vody. Mají vliv na povrchový a podpovrchový odtok. Propustné zeminy způsobují vyrovnané průtoky a dostatek podzemní vody. Na rozdíl od nepropustných hornin, kde je rychlý povrchový odtok a nedostatek podzemní vody.

- **Infiltrace**

Jedná se o proces vsakování vody, který nastává při srážkách nebo při zavlažování. Vsakování dešťové vody závisí na velikosti a intenzitě srážek. Do suché půdy je vsakování nejvyšší, ale až po navlhnutí půdy. Méně intenzivní srážky se pak mohou do půdy infiltrovat téměř úplně, zatímco při přívalových srážkách odtéká podstatná část po povrchu. Počáteční vlhkost půdy má zásadní vliv na infiltraci, která v čase klesá. (2)

#### **Vegetační pokryv**

Půda zakrytá vegetací je odolnější vůči erozi, a tím pádem je tento kryt i vodohospodářsky výhodný. Tráva zdrsňuje povrch, zmenšuje rychlost odtoku a zvyšuje infiltraci. Nejdůležitější z vegetačních činitelů je les. Příznivé účinky jsou však podmíněné správnou skladbou a polohou lesa. Nejlépe působí smíšený les, ve kterém je půda chráněna dobrým zápojem porostu a dostatečnou vrstvou humusu. Nejméně vhodný účinek na odtok má les jehličnatý, který v našich krajinách převládá. (2)

### 3.5. Srážko-odtokové modely

Matematický model srážko-odtokového procesu je zjednodušenou představou složitého hydrologického systému. Hydrologický matematický model představuje algoritmus řešení soustavy rovnic, kterými je popsána struktura a chování povodí během srážko-odtokového procesu. (12)

Při výběru vhodného modelu se zohledňuje dostupnost, prakticky přípustná míra zjednodušení hydrologicko-hydraulických vztahů, náročnost na vstupní data a citlivost výstupních parametrů na nepřesnosti vstupních parametrů. (12)

#### 3.5.1. HEC-HMS

HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) byl vyvinut hydrologickým inženýrským centrem Americké armády pro studium srážko-odtokových procesů v povodí. Je navržen pro různé zeměpisné oblasti. Disponuje přehledným grafickým uživatelským rozhraním a implementací pokročilých metod pro hydrologickou a hydraulickou transformaci srážko-odtokových procesů. V následujícím textu jsou stroze popsány základní prvky programu. Podrobný návod je k dispozici v manuálu HEC-HMS (<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest>). (13)

Základní části, které tvoří uživatelské rozhraní jsou:

- Basin model – obsahuje samotnou schematizaci povodí.

Skládá se z prvků:

- Subbasin Creation Tool – Dílčí část povodí
- Reach Creation Tool – Úsek toku
- Reservoir Creation Tool – Vodní nádrž
- Junction Creation Tool – Soutok
- Diversion Creation Tool – Odbočka, rozdělení
- Source Creation Tool – Zdroj vody
- Sink Creation Tool – Odtok z povodí
- Meteorologic model – popisuje rozmístění srážek na povodí.
- Control specifications – popisuje časový interval a parametry simulace.
- Inut data – popisuje srážky, průtoky, teploty, různá rastrová data a další.

Z těchto komponentů se pak sestaví výpočet pro simulaci – Simulation run. Díky tomuto řešení je možné komponenty libovolně kombinovat, což umožňuje možnost simulace různých scénářů.

#### 3.5.2. HYDROG

HYDROG je software, který byl primárně navržen pro potřeby operativní praxe, kde se i osvědčil. Je určen pro simulaci, operativní předpovědi a operativní řízení odtoku vody z povodí z přivalové nebo regionální srážky. Tento software byl vyvinut profesorem Milošem Starým z VUT v Brně a v současné době je používán pro regionální předpovědi. (13)

Schematizace povodí je řešena pomocí orientovaného ohodnoceného grafu  $G(N, H, P)$ , který nahrazuje skutečné povodí.  $N$  zde představuje množinu vrcholů grafu (uzly grafu),  $H$  množinu hran grafu (vodních toků) a  $P$  množinu zavěšených ploch (subpovodí převedených na obdélníky) na hrany grafu. Vrcholy grafu pak představují bodové zdroje vody (přítoky do povodí, odběry vody, vodní nádrže). (13)

Hlavní výhodou modelu HYDROG je v použití kalibračních koeficientů. Kalibrační koeficienty upravují výsledky modelu bez přímého zásahu do schematizace.

### 3.5.3. MIKE SHE

MIKE SHE je srážko-odtokový model pro simulaci všech hlavních procesů hydrologického cyklu od srážek až po odtok vody z povodí, a to přes povrchový odtok, podzemní odtok, tání sněhu, evapotranspiraci a další procesy. Model je vhodný pro analýzu, plánování a řízení v oblasti vodních zdrojů, povodí a životního prostředí. Na rozdíl od modelu HEC-HMS a HYDROG je model MIKE SHE příliš komplexní na straně vstupu a metodik. Z toho vyplývá, že pro operativní provoz v rámci hydrologické prognózy se hodí méně než oba jmenované modely. (13)

### 3.6. Metoda CN křivek

Metoda CN křivek je založena na experimentálním výzkumu. Používá se ke stanovení přímého odtoku na základě znalosti intenzity srážek a typu povrchu. Výpočet podle metody CN křivek lze použít pro stanovení objemu přímého odtoku způsobeného návrhovým přívalovým deštěm dané pravděpodobnosti výskytu. (14)

Metoda byla odvozena na zemědělsky využívaných povodích, jejichž plocha není větší než 10 km<sup>2</sup>. U velkých povodí je potřeba u výsledků počítat s nepřesností. Velká povodí nelze řešit dohromady. Je potřeba je rozdělit na dílčí povodí. Nevýhodou metody je vysoká citlivost na zvolené hodnoty CN. (14)

Čísla CN se podle typu povrchu teoreticky pohybují mezi hodnotami od CN=0, kdy se vše vsákne, do CN=100, kdy vše odteče. Hodnota závisí na typu povrchu, způsobu jeho využití, případném uplatnění protierozních opatření a propustnosti půdy vodou. (14)

Čísla CN křivek jsou podle hydrologických vlastností půd rozděleny do 4 skupin na základě minimálních rychlostí infiltrace vody bez pokryvu po dlouhodobém syčení a využití půdy, vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření. (12)

Pro potřeby práce byla čísla CN křivek určena pomocí tabulek převzatých z metodiky Ochrana zemědělské půdy před erozí. (15)

### 3.7. Truplovy tabulky

Hlavní a dodnes nejpoužívanější datový soubor, který poskytuje podklady pro vykreslení intenzitních křivek pro 96 stanic na území České republiky, sestavil v roce 1958 Ing. Josef Trupl – tzv. Truplovy tabulky. Zde je také uveden popis metodiky zpracování srážkových dat. Truplovy tabulky dodnes slouží jako relevantní podklad pro projekční praxi v oblasti vodního hospodářství. (16)

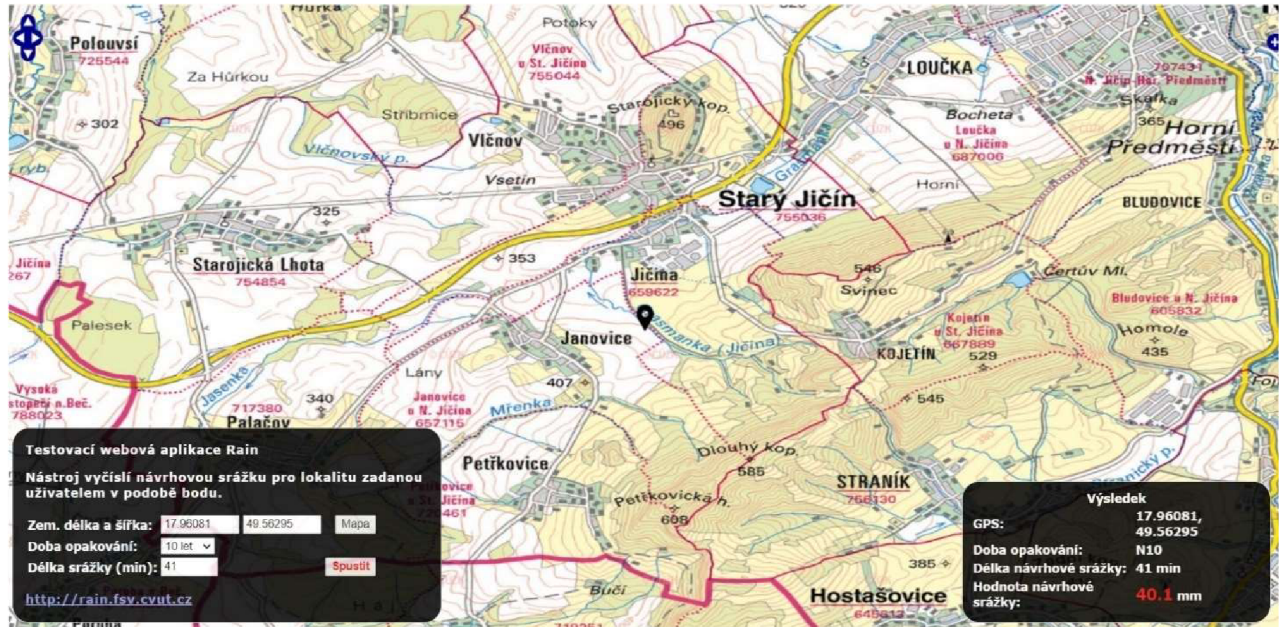
Truplovy tabulky obsahují data o srážkách s minimální periodicitou 0,05 (srážka s dobou opakování 20 let). Pro stoletou (padesátiletou) srážku je nutné provést extrapolaci. Extrapolace se provádí na základě rovnice trendu řady hodnot intenzit deště.

### 3.8. RAIN

Aplikace Rain slouží pro rychlý a jednoduchý přístup k podkladům pro odvození návrhové srážky v libovolném místě na území České republiky. Jedná se zejména o průběhy intenzit a pravděpodobností výskytu šestihodinových návrhových srážek a odhady návrhových úhrnů s různou délkou trvání deště a dobou opakování 2-100 let. (17)

### 3.8.1. Bodový výpočet náhradní maximální intenzity srážky

Aplikace umožňuje pro daný bod při zadané hodnotě doby opakování a délky srážky odečíst hodnoty úhrnu návrhové srážky v milimetrech. Polohu bodu lze zadat posunem bodu na mapě, nebo přímým zadáním souřadnic zeměpisné délky a šířky do webového formuláře. Způsob odečtení návrhové srážky je zobrazen na obrázku 12. (17)



Obrázek 12. Výpočet návrhové srážky pro daný bod v aplikaci Rain. (17)



## 4. Aplikace

Pro účely ověření navrhované metody byla vybrána dvě dílčí povodí. Každé povodí má různý tvar, délku toku, povrch, sklon apod. Pro tato povodí byly od Povodí Odry poskytnuty N-leté vody (odhady kulminačních průtoků, které byly počítány s využitím statistických metod). V rámci schematizace a výpočtu bylo pro obě povodí uvažováno území od pramene po profil plánované suché nádrže (Povodí 1 - Polančice, Povodí 2 - Grasmanka). Vybraná povodí jsou zobrazena na obrázku 13.



Obrázek 13. Vybraná dílčí povodí.

Úkolem bylo na vybraných povodích otestovat vliv délky a intenzity deště na celkovém průběhu srážko-odtokového procesu. Výsledkem by měl být průtok, který odpovídá zhruba návrhovému průtoku  $Q_{20}$ . Pro testování byl použit srážko-odtokový model HEC-HMS.

V rámci zadání bakalářské práce byly řešeny tři varianty výpočtů:

- **Varianta 1** - Metoda, kterou doporučuje Povodí Odry. Déšť o periodicitě 0,1 s dobou trvání 30 minut.
- **Varianta 2** - Metoda zavedená na základě doby koncentrace, která slouží k porovnání tabulkových hodnot. Déšť o periodicitě 0,05 s dobou trvání dle délky koncentrace odtoku vody v povodí.
- **Varianta 3** - Metoda často využívána projektanty, zejména kanalizačních systémů. Déšť o periodicitě 0,01 s dobou trvání 15 minut.

Mimo zadání byla navíc řešena varianta 4, která slouží k porovnání intenzit získaných aplikací Rain a Truplových tabulek pro odhad  $Q_{100}$ . Tato varianta byla zavedena vzhledem k velkému rozdílu intenzit návrhového deště.

- **Varianta 4** - Déšť o periodicitě 0,01 s dobou trvání dle délky koncentrace odtoku vody v povodí.

Na průběh srážko-odtokového procesu má vliv mnoho parametrů. Správné fungování srážko-odtokového modelu ovlivňuje především celková doba koncentrace odtoku, nasycenost povodí, intenzita deště, parametry povodí (plocha, sklon, tvar, délka toku, vegetační pokryv, geologické vlastnosti).

Základní parametry pro sestavení srážko-odtokového modelu jsou:

**Doba koncentrace:**

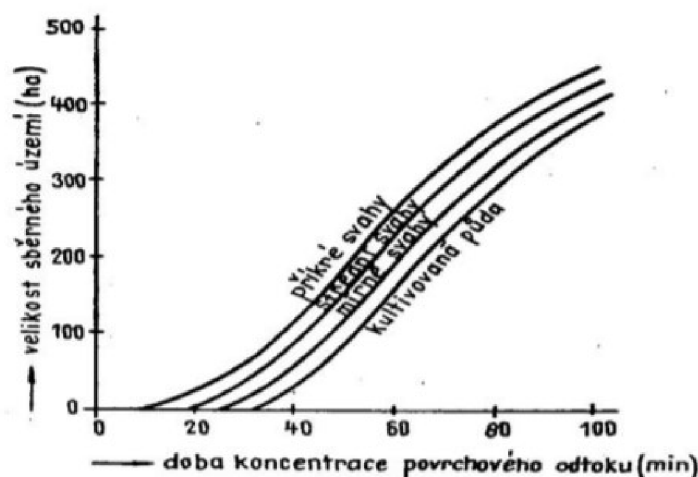
Doba koncentrace je čas, za který srážka doteče z nejbzdálenějšího místa povodí do závěrového profilu. Pro výpočet byla doba koncentrace odhadována na základě tří metod.

- **Podle Q. C. Ayrese**

Tabulka 1. Doba koncentrace odtoku podle Q. C. Ayrese (18)

Velikost povodí (ha)	Doba koncentrace $t_k$ (min)	Velikost povodí (ha)	Doba koncentrace $t_k$ (min)
0,4	1,4	120,0	29,0
2,0	3,5	202,5	41,0
4,0	4,0	320,0	60,0
12,0	8,0	405,0	75,0
40,5	17,0		

- **Podle R. M. Cormacka**



Obrázek 14. Graf pro určení doby koncentrace podle R. M. Cormacka. (18)

- **Podle odhadu rychlostí**

Vzhledem ke sklonu a drsnosti povrchu byla po poradě s vedoucím práce uvažována rychlost vody v korytě 3 m/s a mimo koryto rychlost 1 m/s.

**Výsledná doba koncentrace:**

Vzhledem k charakteru prvního povodí byla použita metoda odhadu rychlostí. U druhého povodí byla použita metoda podle Q. C. Ayrese. U všech metod vycházely podobné doby koncentrace. Výsledné hodnoty doby koncentrace byly určeny po poradě s vedoucím práce a jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2. Použité doby koncentrace pro výpočet v programu HEC-HMS.

Povodí	Q. C. Ayres	R. M. Cormack	Odhad rychlostí
1 - Polančice	61	63	60
2 - Grasmanka	40	43	41

### Nasyacenost povodí:

Při velkém nasyčení povodí roste riziko zvýšení povrchového odtoku vlivem přívalové srážky. Je-li nasyčenost povodí nízká, roste infiltrační schopnost půdy, a tím pádem klesá i riziko zvýšení povrchového odtoku.

Nasyčenost povodí silně ovlivňuje kulminační průtok. Bylo zkoušeno několik variant stavu povodí, od méně po více nasyčené povodí s ohledem na převládající pokryv povodí.

Pro výpočet byly uvažovány tři návrhové stavy:

- Počáteční ztráta 5 milimetrů.
- Počáteční ztráta 10 milimetrů.
- Počáteční ztráta 15 milimetrů.

### Intenzita deště:

Byl použit blokový dešť s konstantní intenzitou s odlišnou dobou trvání. Pro výpočet byly použity náhradní intenzity dešťů z Truplových tabulek a z webové aplikace Rain.

Vzhledem ke stáří Truplových tabulek lze předpokládat neaktuálnost dat náhradních intenzit dešťů. Proto byla použita k porovnání data z webové aplikace Rain, která umožňuje rychlé odvození návrhové srážky kdekoli na území ČR.

#### • **Truplovy tabulky:**

Truplovy tabulky obsahují data o srážkách do periodicity 0,05 ( $Q_{20}$ ). Proto bylo nutné provést extrapolaci pomocí logaritmické spojnice trendu pro získání srážky o periodicitě 0,01 ( $Q_{100}$ ).

Pro Povodí 1 byla použita stanice č. 50-55 – Průměr Ostrava. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.

*Tabulka 3. Srážkový úhrn z Truplových tabulek uvažovaný pro Povodí 1.*

Doba trvání deště	Celkový úhrn deště [mm] za dobu t při periodicitě n							
	t [min]	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05
15	5,9	8,9	11,5	14,1	17,8	20,6	23,4	30
30	6,9	10,5	13,7	17,2	22,1	25,9	30,1	39,6
60	7,9	12,1	15,9	20,2	26,3	31,3	36,7	49

4. Pro Povodí 2 byla použita stanice č. 45 – Nový Jičín. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.

*Tabulka 4. Srážkový úhrn z Truplových tabulek uvažovaný pro Povodí 2.*

Doba trvání deště	Celkový úhrn deště [mm] za dobu t při periodicitě n							
	t [min]	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05
15	5,8	8,5	10,5	12,8	15,8	18,2	20,4	26,4
30	6,9	10,5	13,5	16,8	20,9	24,1	27,4	34,8
40	7,3	1,2	14,5	18	22,8	26,4	30	38,2

- **Rain:**

Aplikace poskytuje údaje o srážkách s periodicitou 0,5-0,01 ( $Q_2$ - $Q_{100}$ ) kdekoli v území ČR. (<https://rain1.fsv.cvut.cz/webapp/d-rain-point/>)

Vypočtené údaje z aplikace Rain jsou uvedeny v tabulce 5 pro Povodí 1 a v tabulce 6 pro Povodí 2.

*Tabulka 5. Srážkový úhrn z aplikace Rain pro Povodí 1.*

Doba trvání deště	Celkový úhrn deště [mm] za dobu t při periodicitě n			
t [min]	0,5	0,1	0,05	0,01
15	15,4	25,8	31,1	43,2
30	18,9	32,7	39,7	56
60	21,9	39,1	47,7	67,9

*Tabulka 6. Srážkový úhrn z aplikace Rain pro Povodí 2.*

Doba trvání deště	Celkový úhrn deště [mm] za dobu t při periodicitě n			
t [min]	0,5	0,1	0,05	0,01
15	16,2	28,5	34,8	49,4
30	19,9	36,2	44,4	64
40	21,2	40	54,3	71,6

- **Použité náhradní intenzity dešťů pro testování v programu HEC-HMS:**

Shrnuté hodnoty náhradních intenzit dešťů jsou k dispozici v tabulce 7 pro Povodí 1 a v tabulce 8 pro Povodí 2.

*Tabulka 7. Použité srážkové úhrny pro Povodí 1.*

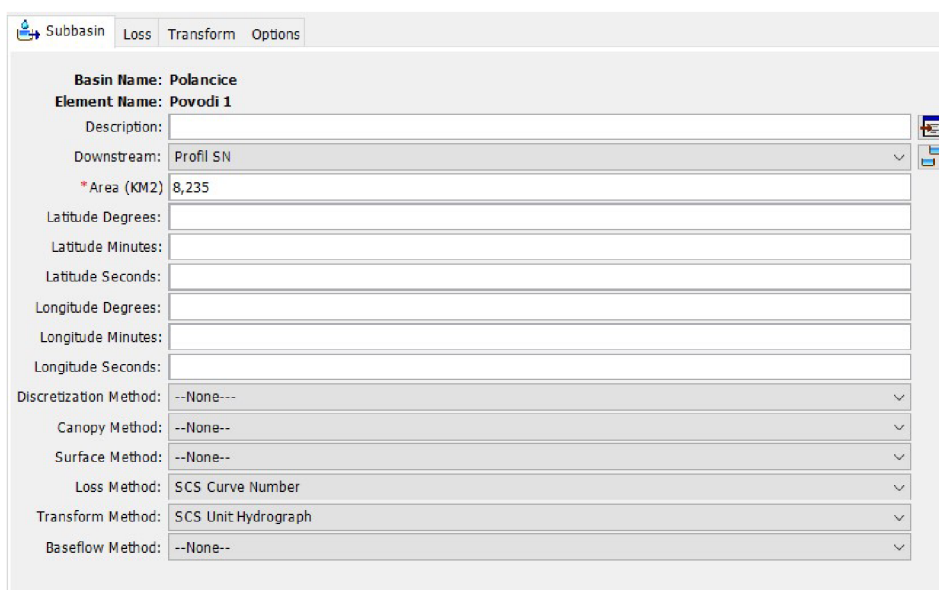
<b>Povodí 1</b>	<b>Srážkový úhrn [mm]</b>	
	<b>RAIN</b>	<b>TRUPL</b>
$Q_{20}$ - 60 minut	47,7	36,7
$Q_{10}$ - 30 minut	32,7	25,9
$Q_{100}$ - 15 minut	43,2	30
$Q_{100}$ - 60 minut	67,9	49

*Tabulka 8. Použité srážkové úhrny pro Povodí 2.*

<b>Povodí 2</b>	<b>Srážkový úhrn [mm]</b>	
	<b>RAIN</b>	<b>TRUPL</b>
$Q_{20}$ - 40 minut	54,3	30
$Q_{10}$ - 30 minut	36,2	24,1
$Q_{100}$ - 15 minut	49,4	26,4
$Q_{100}$ - 40 minut	71,6	38,2

## Použité metody v HEC-HMS:

Pro náš výpočet bylo uvažováno s metodou ztrát SCS Curve Number a transformační metodou SCS Unit Hydrograph, která popisuje proces povrchového odtoku. Na obrázku 15 je znázorněno nastavení použitých metod v srážko-odtokovém modelu HEC-HMS.



The screenshot shows the 'Loss' configuration window in HEC-HMS. The 'Basin Name' is 'Polancice' and the 'Element Name' is 'Povodí 1'. The 'Area (KM2)' is 8,235. The 'Loss Method' is set to 'SCS Curve Number' and the 'Transform Method' is set to 'SCS Unit Hydrograph'. Other methods like 'Discretization Method', 'Canopy Method', 'Surface Method', and 'Baseflow Method' are set to '--None--'.

Obrázek 15. Nastavené metody v HEC-HMS.

- **SCS Curve Number (metoda ztrát):**

Tato metoda pracuje s křivkami CN, které vyjadřují odtokový potenciál daného území. Pro testování uvažujeme průměrné číslo CN, které se odvíjí podle typu a vlastností půdy. Správné určení čísla CN je velmi složité a jeho odhad značně ovlivňuje výsledky testování. Odhad průměrných čísel CN byl upraven na základě kalibrace, která byla provedena pro obě metody určení náhradních intenzit dešťů. Výsledná čísla odtokových křivek po kalibraci jsou uvedena v tabulce 9 (Povodí 1) a v tabulce 10 (Povodí 2). Nastavení metody ztrát je znázorněné na obrázku 16.

Tabulka 9. Průměrná čísla CN pro povodí 1.

Povodí 1		
Povodí	Průměrné CN (Rain)	Průměrné CN (Trupl)
1	62	65

Tabulka 10. Průměrná čísla CN pro povodí 2.

Povodí 2		
Povodí	Průměrné CN (Rain)	Průměrné CN (Trupl)
1	67	71
2	66	70
3	66	70
4	66	70
5	67	71
6	68	72
7	71	75

Subbasin		Loss	Transform	Options
<b>Basin Name: Polancice</b>				
<b>Element Name: Povodi 1</b>				
Initial Abstraction (MM)	5			
*Curve Number:	62			
*Impervious (%)	0,0			

Obrázek 16. Nastavení metody ztrát.

- **SCS Unit Hydrograph (transformační metoda):**

Metoda určuje procentuální množství odtoku, které nastane před dosažením kulminace. Pro naše účely bylo počítáno se standardním jednotkovým hydrogramem (PRF 484), který počítá s hodnotou 37,5 %. Nastavení transformační metody je znázorněno na obrázku 17.

**Lag time:**

Dalším důležitým parametrem je doba koncentrace odtoku (Lag time) v minutách. Metoda byla použita v rámci zjednodušení. Nepředpokládá se transformace povodňové vlny v údolní nivě.

Subbasin		Loss	Transform	Options
<b>Basin Name: Polancice</b>				
<b>Element Name: Povodi 1</b>				
Graph Type:	Standard (PRF 484) ▾			
*Lag Time (MIN)	60			

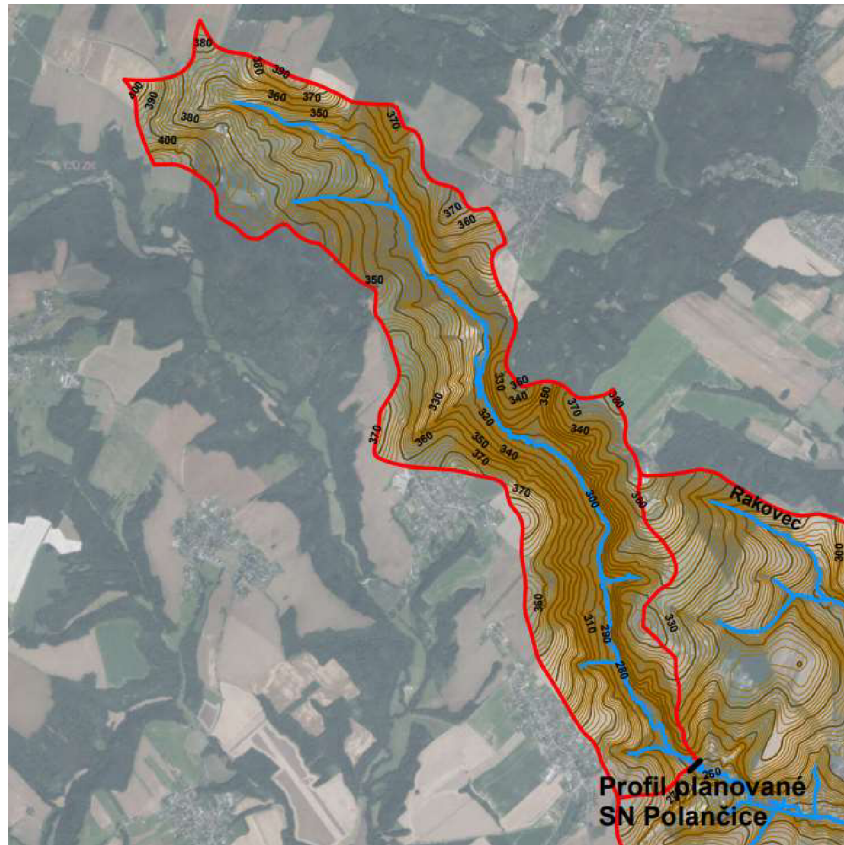
Obrázek 17. Nastavení transformační metody.

## 4.1. Povodí 1 – Polančice

Vodní tok Polančice se nachází v Moravskoslezském kraji, protéká okresy Opava a Ostrava-město. Polančice pramení v Kyjovicích v nadmořské výšce okolo 350 metrů a ústí do Odry.

Polančice má řadu bezejmenných přítoků. Pramení v Nížkém Jeseníku ve východní části Kyjovic. Protéká přes Přírodní park Oderské vrchy, dále protéká Chráněnou krajinnou oblastí Poodří, kde se napojuje na řeku Odru.

Reliéf tvoří hlavně břidlice. Terén je převážně svažité, na řadě míst převažují smrkové nebo smíšené lesy. Na zbylých plochách se nachází zejména zatravněná plocha nebo orná půda.

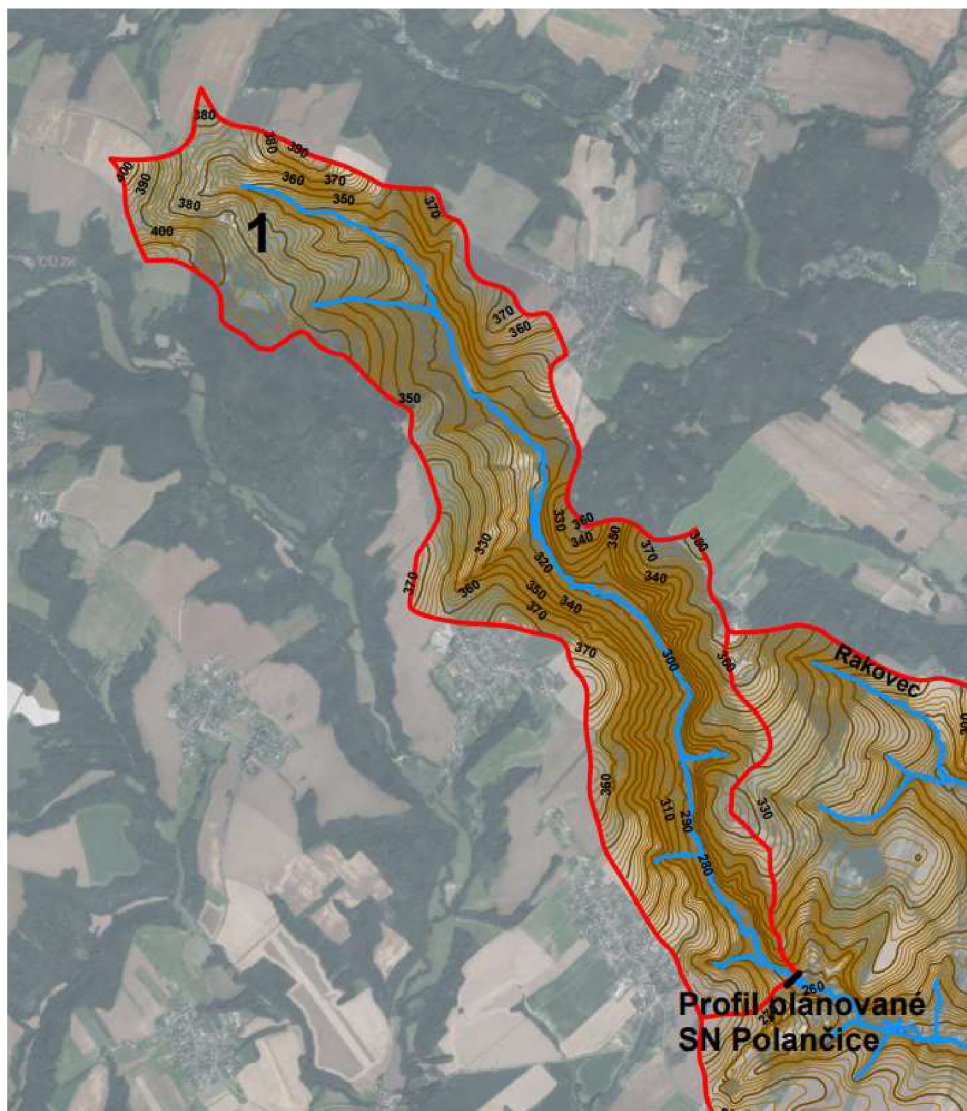


Obrázek 18. Zájmové území Polančice.

Na obrázku 18 je znázorněno řešené povodí. Jedná se o území od pramene vodního toku Polančice po plánovaný profil suché nádrže Polančice. Tlustá červená čára vymezuje hranici povodí, tlustá černá čára znázorňuje plánovaný profil suché nádrže.

### **Schematizace:**

Po prvotní schematizaci v programu ArcMap, kdy byly zjištěny základní parametry a vlastnosti povodí, následovala schematizace v programu HEC-HMS. Vzhledem k dominantnosti hlavního toku s téměř žádnými přítoky, bylo povodí rozděleno pouze na jedno subpovodí. Schematizace Povodí 1 v programu ArcMap je znázorněna na obrázku 19. Parametry Povodí 1 jsou uvedeny v tabulce 11.



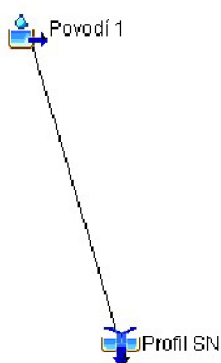
Obrázek 19. Schematizace Povodí 1 v ArcMap.

Tabulka 11. Parametry Povodí 1.

<b><i>Plocha [km<sup>2</sup>]</i></b>	<b><i>Délka toku [km]</i></b>	<b><i>Převýšení [m]</i></b>	<b><i>Průměrné CN (Rain)</i></b>	<b><i>Průměrné CN (Trupl)</i></b>	<b><i>Doba koncentrace [min]</i></b>
8,24	7,98	152	62	65	60

Pro správnou funkci modelu bylo nutné provést základní schematizaci povodí v části Basin Model Manager. Díky jednoduchosti povodí nám ke schematizaci stačily pouze prvky Subbasin a Junction. Nastavení těchto prvků je vysvětleno v kapitole Použité metody v HEC-HMS. Schematizace Povodí 1 v programu HEC-HMS je znázorněna na obrázku 20.





Obrázek 20. - Basin model Povodí 1.

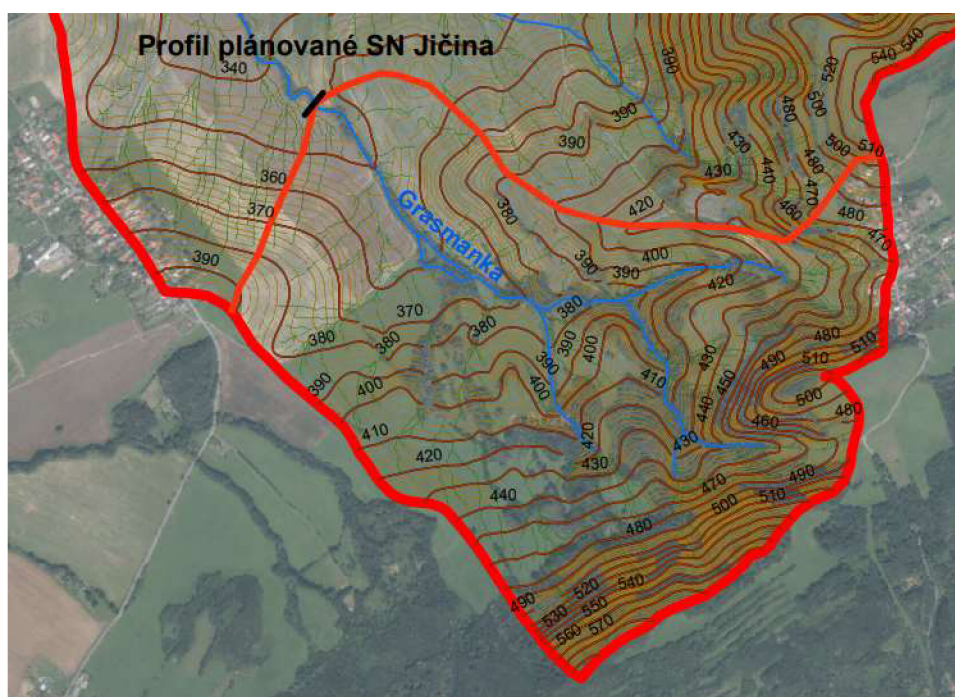
Po základní schematizaci byla v části Meteorologic Model Manager definována srážka. Byla použita metoda Specified Hyetograph, pro kterou byla vytvořena časová řada intenzit deště. Časová řada je blíže definovaná v části Time-Series Data Manager. Použité náhradní intenzity dešťů jsou definovány v kapitole Intenzita deště.

Pro správnou simulaci bylo potřeba nastavit časové okno v části Control Specifications Manager, které musí souhlasit s daty z části Time-Series Data.

## 4.2. Povodí 2 – Grasmanka

Vodní tok Grasmanka vyvěrá v Moravskoslezském kraji v okrese Nový Jičín nedaleko obce Kojetín. Pramení v nadmořské výšce okolo 450 metrů. Protéká obcí Starý Jičín, následně míří do městské části Nového Jičína, kde ústí do řeky Jičinky.

Terén v území je převážně členitý nebo svažité. Na části území se nachází smrkové lesy. Zbytek ploch tvoří převážně louky a na malé části území se nachází orná půda.



Obrázek 21. Zájmové území Grasmanka.

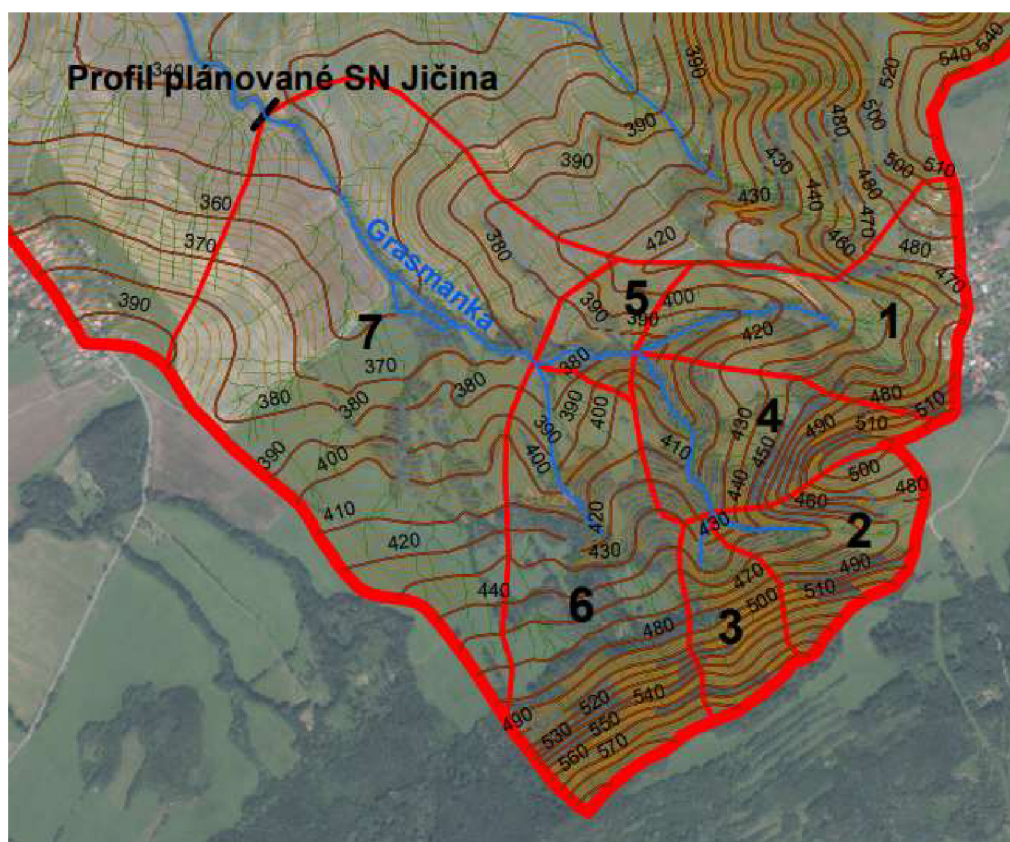
Na obrázku 21 je znázorněno řešené povodí. Jedná se o území od pramene vodního toku Grasmánka po plánovaný profil suché nádrže Jičina. Červená čára vymezuje hranici povodí, tlustá černá čára znázorňuje plánovaný profil suché nádrže.

### Schematizace:

Stejně jako u prvního povodí byla nejprve provedena základní schematizace v programu ArcMap. Na rozdíl od prvního případu se zde jedná o složitější povodí. Pro schematizaci bylo povodí rozděleno na 7 dílčích subpovodí. Parametry Povodí 2 jsou uvedeny v tabulce 12. Schematizace v programu ArcMap je zobrazena na obrázku 22.

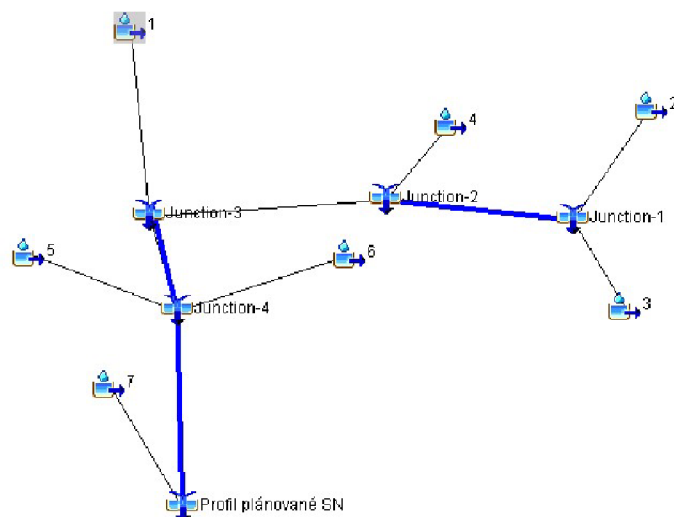
Tabulka 12. Parametry povodí 2.

<i>Povodí</i>	<i>Plocha [km<sup>2</sup>]</i>	<i>Délka toku [km]</i>	<i>Převýšení [m]</i>	<i>Průměrné CN (Rain)</i>	<i>Průměrné CN (Trupl)</i>	<i>Doba koncentrace [min]</i>
1	0,251	0,54	40	67	71	9
2	0,141	0,248	30	66	70	6
3	0,092	0,136	23	66	70	7
4	0,179	0,466	33	66	70	3
5	0,068	0,265	11	67	71	1
6	0,389	0,484	47	68	72	14
7	0,855	0,951	28	71	75	5



Obrázek 22. Schematizace Povodí 2 v ArcMap.

Schematizaci bylo nutné provést opět v části Basin Model Manager. Ke schematizaci byly využity prvky Subbasin, Reach a Junction. Pro schematizaci a nastavení parametrů byly použity stejné metody jako v prvním případě. Výsledná schematizace v programu HEC-HMS je zobrazena na obrázku 23.



Obrázek 23. Basin Model Povodí 2.

### **Kalibrace:**

Pro ověření správného nastavení srážko-odtokového modelu bylo nutné provést kalibraci zadaných parametrů. Kalibrace spočívala v korekci zadaných čísel CN. Pro ověření byl porovnáván průtok  $Q_2$  poskytnutý od Povodí Odry a vypočtený průtok  $Q_2$  pomocí srážko-odtokového modelu. Pro zajištění stejných podmínek výpočtu byla kalibrace provedena na blokový déšť z aplikace Rain i Truplových tabulek. Při výpočtu byla uvažována počáteční ztráta vlivem infiltrace 5 mm. Výsledky kalibrace jsou uvedeny v tabulce 13.

Tabulka 13. Výsledky kalibrace pro řešená povodí.

<b>Povodí 1 - Polančice</b>		
Srážkový úhrn [mm]	Rain	Trupl
	21,9	20,2
Návrhový průtok (HEC-HMS) [m <sup>3</sup> /s]	2,7	2,6
Návrhový průtok (Povodí Odry) [m <sup>3</sup> /s]	2,59	
<b>Povodí 1 - Grasmanka</b>		
Srážkový úhrn [mm]	Rain	Trupl
	21,2	18
Návrhový průtok (HEC-HMS) [m <sup>3</sup> /s]	2,2	2,2
Návrhový průtok (Povodí Odry) [m <sup>3</sup> /s]	2,14	

### 4.3. Výsledky

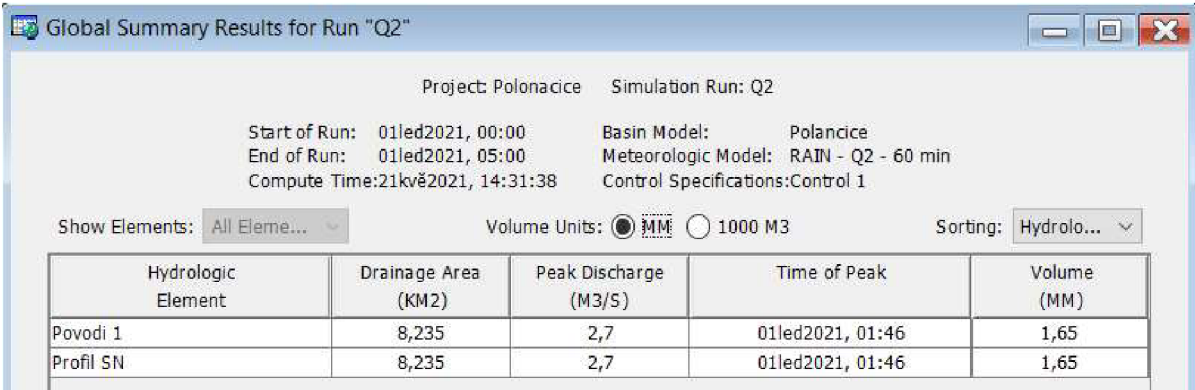
Po dokončení schematizace, kalibrace a doplnění všech potřebných dat, byla pro vytvořený model provedena simulace srážko-odtokového procesu pomocí Simulation Run Manager. Pro správné fungování modelu je potřeba správně zvolit vstupní parametry (Basin model, Meteorologic model, Control specifications).

V rámci práce byly řešeny čtyři varianty výpočtů pro každé povodí. Veškeré varianty uvažovaly s náhradní intenzitou deště podle webové aplikace Rain a podle Truplových tabulek. Výpočty se dále dělí podle úrovně nasycení. Bylo počítáno s počáteční ztrátou 5 mm, 10 mm a 15 mm.

- **1. varianta** – Metoda, kterou doporučuje Povodí Odry. Déšť o periodicitě 0,1 s dobou trvání 30 minut.
- **2. varianta** – Metoda zavedená na základě doby koncentrace. Déšť o periodicitě 0,05 s dobou trvání dle délky koncentrace odtoku vody v povodí (v našem případě 60 minut pro povodí 1 a 40 minut pro povodí 2).
- **3. varianta** – Metoda často používaná pro projektování kanalizačních systémů. Déšť o periodicitě 0,01 s dobou trvání 15 minut.
- **4. varianta** – Metoda zavedená pouze pro porovnání aplikace Rain a Truplových tabulek pro odhad  $Q_{100}$ . Déšť o periodicitě 0,01 s dobou trvání dle délky koncentrace odtoku vody v povodí.

#### Výstupní data:

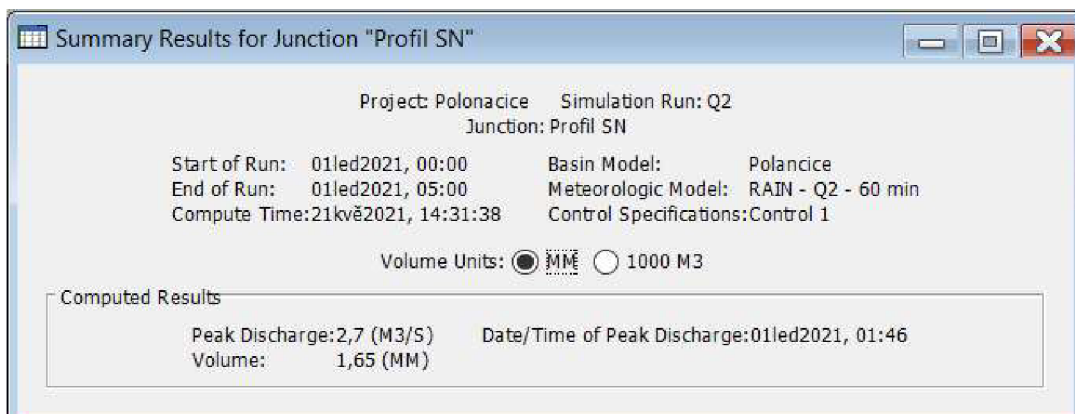
- Global Summary – Charakterizuje odvodňovanou plochu ( $\text{km}^2$ ), kulminační průtok ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), čas dosažení kulminace a celkový objem odtoku ( $\text{m}^3$ ). Na obrázku 24 je zobrazen celkový souhrn při kalibraci Povodí 1 na blokový déšť z aplikace Rain.



Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Povodi 1	8,235	2,7	01led2021, 01:46	1,65
Profil SN	8,235	2,7	01led2021, 01:46	1,65

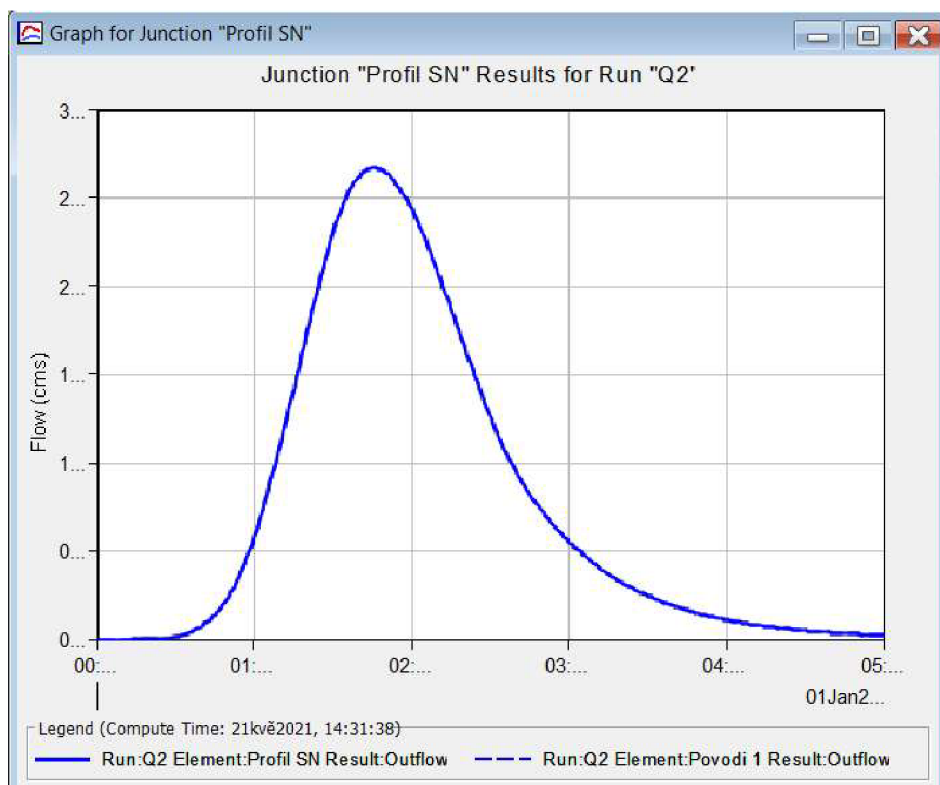
Obrázek 24. Celkový souhrn pro povodí při  $Q_2$ .

- Summary Table – Zde jsou specifikovány základní parametry povodí. Na obrázku 25 jsou znázorněny parametry Povodí 1 při kalibraci (Rain).



Obrázek 25. Výsledné parametry Povodí 1 pro Q<sub>2</sub>.

- Graph – Na grafu je znázorněna transformace povodňové vlny. Na obrázku 26 je znázorněna transformace povodňové vlny při kalibraci (Rain).



Obrázek 26. Transformace povodňové vlny pro Q<sub>2</sub> v Povodí 1.

- Time-Series Table – Tabulka obsahuje stejné hodnoty jako graf. Na obrázku 27 jsou zobrazeny průtoky v čase při kalibraci (Rain).

Date	Time	Inflow from ... (M3/S)	Outflow (M3/S)
01led2021	01:06	0,9	0,9
01led2021	01:07	0,9	0,9
01led2021	01:08	1,0	1,0
01led2021	01:09	1,1	1,1
01led2021	01:10	1,1	1,1
01led2021	01:11	1,2	1,2
01led2021	01:12	1,2	1,2
01led2021	01:13	1,3	1,3
01led2021	01:14	1,4	1,4
01led2021	01:15	1,4	1,4
01led2021	01:16	1,5	1,5
01led2021	01:17	1,5	1,5
01led2021	01:18	1,6	1,6
01led2021	01:19	1,7	1,7
01led2021	01:20	1,7	1,7
01led2021	01:21	1,8	1,8
01led2021	01:22	1,9	1,9
01led2021	01:23	1,9	1,9
01led2021	01:24	2,0	2,0

Obrázek 27. Průběžné hodnoty průtoků při Q<sub>2</sub> na Povodí 1.

### 4.3.1. Povodí 1 - Polančice

**Varianta 1** – Metoda doporučená z Povodí Odry.

- Děšť s periodicitou 0,1 a dobou trvání 30 minut.

Tabulka 14. Výsledné průtoky Povodí 1 pro variantu výpočtu 1.

Q <sub>20(1)</sub>		Q [m <sup>3</sup> /s]	
		Rain (32,7 mm)	Trupl (25,9 mm)
Počáteční ztráta:	5	6,9	4,8
	10	4,9	2,9
	15	3,1	1,4

**Varianta 2** – Metoda zavedená na základě doby koncentrace, která slouží k porovnání tabulkových hodnot.

- Déšť s periodicitou 0,05 a dobou trvání 60 minut.

Tabulka 15. Výsledné průtoky Povodí I pro variantu výpočtu 2.

$Q_{20(2)}$		Q [m <sup>3</sup> /s]	
		Rain (39,1 mm)	Trupl (31,3 mm)
Počáteční ztráta:	5	9,7	7,5
	10	7,4	5,4
	15	5,3	3,5

**Varianta 3** – Metoda často používaná pro projektování kanalizačních systémů.

- Déšť s periodicitou 0,01 a dobou trvání 15 minut.

Tabulka 16. Výsledné průtoky Povodí I pro variantu výpočtu 3.

$Q_{20(3)}$		Q [m <sup>3</sup> /s]	
		Rain (43,2 mm)	Trupl (30 mm)
Počáteční ztráta:	5	12,8	6,8
	10	9,9	4,5
	15	7,3	2,6

**Varianta 4** – Metoda zavedená pouze pro porovnání aplikace Rain a Truplových tabulek pro odhad  $Q_{100}$ .

- Déšť s periodicitou 0,01 a dobou trvání 60 minut.

Tabulka 17. Výsledné průtoky Povodí I pro variantu výpočtu 4.

$Q_{100(4)}$		Q [m <sup>3</sup> /s]	
		Rain (67,9 mm)	Trupl (49 mm)
Počáteční ztráta:	5	28,4	17,5
	10	24,9	14,4
	15	21,6	11,4

### 4.3.2. Povodí 2 – Grasmanka

**Varianta 1** – Metoda doporučená z Povodí Odry.

- Déšť s periodicitou 0,1 a dobou trvání 30 minut.

Tabulka 18. Výsledné průtoky Povodí 2 pro variantu výpočtu 1.

$Q_{20(1)}$		Q [m <sup>3</sup> /s]	
		Rain (36,2 mm)	Trupl (24,1 mm)
Počáteční ztráta:	5	8	5
	10	6,4	3,1
	15	4,9	1,5

**Varianta 2** – Metoda zavedená na základě doby koncentrace, která slouží k porovnání tabulkových hodnot.

- Déšť s periodicitou 0,05 a dobou trvání 40 minut.

Tabulka 19. Výsledné průtoky Povodí 2 pro variantu výpočtu 2.

$Q_{20(2)}$		Q [m <sup>3</sup> /s]	
		Rain (40,1 mm)	Trupl (26,4 mm)
Počáteční ztráta:	5	8,4	6,9
	10	7,1	5,2
	15	5,8	3,4

**Varianta 3** – Metoda často používaná pro projektování kanalizačních systémů.

- Déšť s periodicitou 0,01 a dobou trvání 15 minut.

Tabulka 20. Výsledné průtoky Povodí 2 pro variantu výpočtu 3.

$Q_{20(3)}$		Q [m <sup>3</sup> /s]	
		Rain (49,4 mm)	Trupl (26,4 mm)
Počáteční ztráta:	5	17,8	7
	10	15,2	4,5
	15	12,7	2,4



**Varianta 4** – Metoda zavedená pouze pro porovnání aplikace Rain a Truplových tabulek pro odhad  $Q_{100}$ .

- Děšť s periodicitou 0,01 a dobou trvání 40 minut.

Tabulka 21. Výsledné průtoky Povodí 2 pro variantu výpočtu 4.

$Q_{100(4)}$		Q [ $m^3/s$ ]	
		Rain (72 mm)	Trupl (38,2 mm)
Počáteční ztráta:	5	24,1	10,9
	10	22,4	9
	15	20,7	7

### 4.3.3. Shrnutí výsledků

Úkolem práce bylo testování náhradních intenzit dešťů, s cílem zjistit, zda kulminační průtoky odpovídají přibližně  $Q_{20}$ . Pro porovnání výsledků byla využita tabulka N-letých průtoků poskytnutá od Povodí Odry, která byla získána na základě statistických metod. N-leté průtoky jsou uvedeny v tabulce 22.

Tabulka 22. Tabulka N-letých průtoků poskytnutá od Povodí Odry.

Název vodního toku	Plocha povodí [ $km^2$ ]	$Q_1$ [ $m^3/s$ ]	$Q_2$ [ $m^3/s$ ]	$Q_5$ [ $m^3/s$ ]	$Q_{10}$ [ $m^3/s$ ]	$Q_{20}$ [ $m^3/s$ ]	$Q_{50}$ [ $m^3/s$ ]	$Q_{100}$ [ $m^3/s$ ]
Polančice	8,01	1,61	2,59	4,12	5,43	6,87	8,96	10,7
Grasmanka	2,08	1,24	2,14	3,78	5,38	7,29	10,3	13,1

V rámci práce byly řešeny čtyři varianty výpočtů pro každé povodí. Pro zhodnocení výsledků byly využity varianty 1–3. Varianta 4 slouží pouze pro porovnání aplikace Rain a Truplových tabulek pro odhad  $Q_{100}$ .

- **Varianta 1** – Metoda doporučená z Povodí Odry ( $p=0,1$  a  $t=30$  min).
- **Varianta 2** – Metoda zavedená na základě doby koncentrace, která slouží k porovnání tabulkových hodnot. ( $p=0,05$  a  $t= 60$  (40) min).
- **Varianta 3** – Metoda často používaná pro projektování kanalizačních systémů ( $p=0,01$  a  $t=15$  min).

Kvůli zajištění stejných podmínek výpočtu byla provedena kalibrace pro aplikaci Rain i Truplovy tabulky. Oba zdroje byly kalibrovány na kulminační průtok  $Q_2$  poskytnutý od Povodí Odry. Vzhledem k poskytnutým zdrojům nelze určit, která kalibrace je správná. K získání přesných výsledků by bylo potřeba mít k dispozici bližší kalibrační události a podle nich celý srážko-odtokový model nastavit.

Při porovnání výsledných hodnot s hodnotami poskytnutých od Povodí Odry je třeba uvažovat vliv počáteční ztráty. Nejlépe odpovídají hodnoty s počáteční ztrátou 5 mm, na kterou byl srážko-odtokový model kalibrován. Dále je nutné zohlednit vliv návrhových intenzit blokových dešťů.

Z pohledu vyhodnocení výsledných průtoků pro Povodí 1 při použití aplikace Rain vychází nejlépe varianta 1 s počáteční ztrátou 5 mm. Nejhorších výsledků dosahuje varianta 3. U

varianty 2 vychází průtoky nadhodnoceny oproti hodnotám od Povodí Odry. Při použití Truplových tabulek naopak vychází nejlépe varianta 3 s počáteční ztrátou 5 mm. Nejhorších výsledků dosahuje varianta 1. V případě Truplových tabulek navíc vychází velmi blízko požadovanému průtoku varianta 2. Všechny výsledky pro Povodí 1 jsou shrnuty v tabulce 23.

Tabulka 23. Vypočtené průtoky pro Povodí 1.

<b>Povodí 1 - Polančice</b>						
Intenzita deště:	RAIN			TRUPL		
Počáteční ztráta:	5	10	15	5	10	15
<b>Q<sub>20</sub> - Varianta 1</b> [m <sup>3</sup> /s]	6,9	4,9	3,1	4,8	2,9	1,4
<b>Q<sub>20</sub> - Varianta 2</b> [m <sup>3</sup> /s]	9,7	7,4	5,3	7,5	5,4	3,5
<b>Q<sub>20</sub> - Varianta 3</b> [m <sup>3</sup> /s]	12,8	9,9	7,3	6,8	4,5	2,6
<b>Q<sub>20</sub> - Povodí Odry</b> [m <sup>3</sup> /s]	<b>6,87</b>					

Z pohledu vyhodnocení výsledných průtoků pro Povodí 2 při použití aplikace Rain vychází nejlépe varianta 1 s počáteční ztrátou 5 mm. Pro variantu 3 vychází průtoky nadhodnoceny. Při srovnání varianty 2 vychází nejlépe průtok s počáteční ztrátou 10 mm. Při použití počáteční ztráty 5 mm, vychází hodnota průtoku nadhodnocena. V případě Truplových tabulek dosahuje nejlepších výsledků varianta 3. U varianty 1 vychází průtoky příliš podhodnoceny. Při srovnání varianty 2 vychází velmi blízko průtok s počáteční ztrátou 5 mm. Hodnoty průtoků jsou však na straně podhodnocení. Veškeré výsledky pro Povodí 2 jsou shrnuty v tabulce 24.

Tabulka 24. Vypočtené průtoky pro povodí 2.

<b>Povodí 2 - Grasmanka</b>						
Intenzita deště:	RAIN			TRUPL		
Počáteční ztráta:	5	10	15	5	10	15
<b>Q<sub>20</sub> - Varianta 1</b> [m <sup>3</sup> /s]	8	6,4	4,9	5	3,1	1,5
<b>Q<sub>20</sub> - Varianta 2</b> [m <sup>3</sup> /s]	8,4	7,1	5,8	6,9	5,2	3,4
<b>Q<sub>20</sub> - Varianta 3</b> [m <sup>3</sup> /s]	17,8	15,2	12,7	7	4,5	2,4
<b>Q<sub>20</sub> - Povodí Odry</b> [m <sup>3</sup> /s]	<b>7,29</b>					

- **Varianta 4** – Metoda slouží pouze pro porovnání aplikace Rain a Truplových tabulek pro odhad Q<sub>100</sub> (p=0,01 a t=60 (40) min).

Varianta 4 byla využita pouze pro porovnání zdrojů náhradních intenzit dešťů a jejich vliv na výsledek srážko-odtokového procesu v povodí.

Při použití aplikace Rain vycházejí hodnoty u obou povodích příliš vysoké v porovnání s poskytnutými průtoky od Povodí Odry. U Truplových tabulek vychází hodnoty průtoků pro

Povodí 1 relativně blízko, zatímco u Povodí 2 jsou dost podhodnoceny. Z výsledků nelze určit, která možnost je správná, jelikož srážko-odtokový model není kalibrovaný na tak vysoké průtoky a návrhové průtoky jsou určovány na základě odhadu s použitím statistických metod. Výsledky pro obě povodí jsou shrnuty v tabulce 25.

Tabulka 25 Výsledné hodnoty pro variantu 4.

<b>Povodí 1 - Polančice</b>	<b>RAIN</b>			<b>TRUPL</b>		
Počáteční ztráta [mm]	5	10	15	5	10	15
$Q_{100}$ [m <sup>3</sup> /s] - 60 min	28,4	24,9	21,6	17,5	14,4	11,4
<b><math>Q_{100}</math> [m<sup>3</sup>/s] Povodí Odry</b>	<b>10,7</b>					
<b>Povodí 2 - Grasmanka</b>	<b>RAIN</b>			<b>TRUPL</b>		
Počáteční ztráta [mm]	5	10	15	5	10	15
$Q_{100}$ [m <sup>3</sup> /s] - 40 min	24,1	22,4	20,7	10,9	9	7
<b><math>Q_{100}</math> [m<sup>3</sup>/s] Povodí Odry</b>	<b>13,1</b>					

## 5. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo testování náhradních intenzit dešťů, která z nich vytvoří průtok zhruba  $Q_{20}$ . Pro testování byly využity tři návrhové varianty. Variantu 1 doporučuje Povodí Odry ( $p=0,1$  a  $t=30$  min). Varianta 2 byla zavedena na základě doby koncentrace odtoku a slouží k porovnání tabulkových hodnot ( $p=0,05$  a  $t=60$  min pro Povodí 1;  $p=0,05$  a  $t=40$  min pro Povodí 2). Varianta 3 je často využívána pro projektování ( $p=0,01$  a  $t=15$  min). Mimo zadání bakalářské práce byla navíc zavedena 4. varianta, která slouží pouze k porovnání aplikace Rain a Truplových tabulek pro odhad  $Q_{100}$  ( $p=0,01$  a  $t=60$  min pro Povodí 1;  $p=0,01$  a  $t=40$  min pro Povodí 2).

Ke splnění byla nejprve vytvořena rešeršní část, která umožnila poznat povodí, srážko-odtokový proces, faktory ovlivňující průběh srážko-odtokového procesu a srážko-odtokové modely.

V rámci práce byla nejprve provedena schematizace v programu ArcMap, kde byly zjištěny základní parametry povodí (plocha povodí, sklon povodí, tvar povodí, vegetační pokryv, hustota říční sítě). Pomocí tří metod (podle Q. C. Ayrese, R. M. Cormacka a podle odhadu rychlosti) byla určena výsledná doba koncentrace odtoku, která byla pro Povodí 1–60 minut a pro Povodí 2–40 minut. V závislosti na vegetačním pokryvu a druhu půdy byla odhadnuta průměrná čísla CN, která se později upravila v rámci kalibrace srážko-odtokového modelu. Pro výpočet byl použit blokový déšť ze dvou zdrojů. Byla využita webová aplikace Rain, která podle doby opakování a délky srážky odečte hodnotu úhrnu návrhové srážky v milimetrech kdekoliv na území ČR. Dále byly využity Truplovy tabulky, které obsahují hodnoty pouze do  $Q_{20}$ , proto bylo nutné pro získání  $Q_{100}$  provést extrapolaci pomocí spojnice trendu a použití vygenerované logaritmické rovnice. Následně byla provedena schematizace v programu HEC-HMS. Byla použita metoda ztrát SCS Curve Number a transformační metoda SCS Unit Hydrograph. Při výpočtu bylo uvažováno s počáteční ztrátou vlivem infiltrace 5, 10, 15 mm. Po dokončení schematizace byla provedena kalibrace srážko-odtokového modelu, která spočívala v korekci čísel CN. Kalibrace porovnávala vypočtený průtok s průtokem, který byl získán od Povodí Odry na základě statistických metod. Pro kalibraci byl využit průtok  $Q_2$  a byla použita počáteční ztráta 5 mm. Dále proběhla simulace srážko-odtokového procesu pro návrhové varianty řešení.

Z použitých variant výpočtu vycházely nejlépe průtoky u varianty 1 s použitím náhradních intenzit dešťů z webové aplikace Rain a u varianty 3 s použitím Truplových tabulek. Při použití aplikace Rain není vhodná varianta 3 a naopak při použití Truplových tabulek není vhodná varianta 1.

U Povodí 1 byla porovnávána hodnota kulminačního průtoku  $Q_{20}=6,87$  m<sup>3</sup>/s. Při použití aplikace Rain se nejlépe kulminačnímu průtoku  $Q_{20}$  poskytnutému od Povodí Odry přibližovala varianta 1 za předpokladu počáteční ztráty 5 mm ( $Q_{20(1)}=6,9$  m<sup>3</sup>/s). Z pohledu vyhodnocení varianty 2 vycházel průtok při počáteční ztrátě 5 mm nadhodnocený ( $Q_{20(2)}=9,7$  m<sup>3</sup>/s) a při ztrátě 10 mm ( $Q_{20(1)}=7,4$  m<sup>3</sup>/s). Při použití Truplových tabulek byla nejlépe varianta 3 ( $Q_{20(3)}=6,8$  m<sup>3</sup>/s). U varianty 2 byl nejlépe průtok při počáteční ztrátě 5 mm ( $Q_{20(2)}=7,5$  m<sup>3</sup>/s). Ostatní hodnoty průtoků byly podhodnoceny.

U Povodí 2 byla porovnávána hodnota kulminačního průtoku  $Q_{20}=7,29$  m<sup>3</sup>/s. Při použití intenzit z aplikace Rain se nejlépe kulminačnímu průtoku  $Q_{20}$  poskytnutému od Povodí Odry přibližovala varianta 1 za předpokladu počáteční ztráty 5 mm ( $Q_{20(2)}=8$  m<sup>3</sup>/s). Z pohledu vyhodnocení varianty 2 vycházel průtok při počáteční ztrátě 5 mm nadhodnocený ( $Q_{20(2)}=8,4$  m<sup>3</sup>/s) a při počáteční ztrátě 10 mm vycházel průtok lehce podhodnocený ( $Q_{20(2)}=7,1$  m<sup>3</sup>/s). Při použití Truplových tabulek vycházela nejlépe varianta 3 při počáteční ztrátě 5 mm ( $Q_{20(2)}=7$

$\text{m}^3/\text{s}$ ). U varianty 2 byl nejbližší průtok s počáteční ztrátou 5 mm ( $Q_{20(2)} = 6,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Veškeré hodnoty průtoků při použití Truplových tabulek byly podhodnoceny.

Z mého pohledu pro určení návrhového průtoku  $Q_{20}$  bych se spíše přikláněl k výpočtu pomocí varianty 1 za předpokladu použití náhradních intenzit dešťů z webové aplikace Rain. Při použití Truplových tabulek jsou dosaženy v případě varianty 3 obdobné výsledky průtoků. V porovnání s tabulkovými hodnotami jsou však tyto průtoky podhodnocované, což může mít negativní dopad (nedostatečná kapacita objektu).

Pro porovnání náhradních intenzit dešťů byla zavedena varianta 4. Při porovnání s kulminačním průtokem  $Q_{100} = 10,7 \text{ m}^3/\text{s}$  pro Povodí 1 vycházela nejbližší hodnota s použitím Truplových tabulek a počáteční ztrátou 15 mm ( $Q_{100(4)} = 11,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Ostatní průtoky byly v porovnání s průtokem od Povodí Odry silně nadhodnoceny. Pro Povodí 2 byl porovnáván kulminační průtok  $Q_{100} = 13,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nejvíce se mu blížila hodnota s využitím Truplových tabulek a počáteční ztrátou 5 mm ( $Q_{100(4)} = 10,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ). U Povodí 2 byly všechny hodnoty průtoků při použití Truplových tabulek podhodnoceny, zatímco při použití aplikace Rain byly hodnoty průtoků silně nadhodnoceny.

Po srovnání náhradních intenzit dešťů a odtoků z modelovaných povodí pro  $Q_{100}$ , bych spíše doporučoval použít náhradní intenzity z Truplových tabulek. Hodnoty průtoků s použitím náhradních intenzit z Truplových tabulek lépe odpovídají tabulkovým hodnotám.

Správnost výsledků nelze ověřit, srážko-odtokový model nebyl kalibrován na tak vysoké průtoky. Dále lze předpokládat, že tabulková hodnota průtoků  $Q_{100}$  může být chybně stanovena, jelikož je určena na základě odhadu s pomocí statistických metod.

Na výsledné hodnoty má vliv několik faktorů, zejména doba koncentrace odtoku, nasycenost povodí, intenzita deště a další parametry povodí. Výsledky je nutno brát s rezervou. Pro přesné výsledky by bylo nutné znát více informací o řešeném povodí a mít k dispozici průtoky na základě skutečně naměřených hodnot.

## 6. Seznamy

### 6.1. Seznam použité literatury

- (1) RUDA, Aleš. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele*. Brno : Masarykova univerzita, 2014.
- (2) STARÝ, Miloš. *Hydrologie*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005.
- (3) SIVS - kód VI. Dešťové srážky. [online]. [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/vystrahy/napoveda/dest.html>.
- (4) KRÁLOVÁ, Magda. Atmosferické srážky. [online]. [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/atmosfericke-srazky>.
- (5) Indikátor přívalových povodní. [online]. [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: [https://hydro.chmi.cz/hpps/doc/pdf/letak\\_indikator\\_privalovych\\_povodni.pdf](https://hydro.chmi.cz/hpps/doc/pdf/letak_indikator_privalovych_povodni.pdf).
- (6) Mapy stanic. [online]. [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-stanic>.
- (7) Meteorologické přístroje. [online] [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://www.pocasimeteoaktuality.cz/meteorologie/meteorologicke-pristroje/>.
- (8) KRÁČMAR, Jan. Meteorologické raiolokátory. [online]. [cit. 2021-05-27] Dostupné z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info\\_radar/index.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_radar/index.html).
- (9) RACKO, Stanislav. Radary a družice. [online]. [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <http://metmladez.wz.cz/metdeti/i17.htm>.
- (10) Družice Meteosat. [online]. [cit. 2021-05.27]. Dostupné z: <https://www.slunecno.cz/satelit>.
- (11) HROCH, Miloš. Příjem snímků z družic NOAA. [online]. [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <http://www.astronom.cz/procyon/meteorology/noaa.html>.
- (12) PAVELKOVÁ, Renata, FRAJER, Jindřich a GELETIČ, Jan. Hydrologické modely. [online]. [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: [http://hydro.upol.cz/?page\\_id=15](http://hydro.upol.cz/?page_id=15).
- (13) UNUCKA, Jan a kol. Srovnání možností využití semidistribovaných a distribuovaných srážko-odtokových modelů v lesnické hydrologii na příkladu povodí Ostravice. [online]. [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/01/352.pdf>.
- (14) SMELÍK, Lukáš. Analýza změn odtokových poměrů pro Českou republiku. [online]. [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2016/08/analyza-zmen-odtokovych-pomeru-pro-ceskou-republiku/>.
- (15) JANEČEK, Miloslav. Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.
- (16) JEŽÍK, Pavel. Extrapolace intenzivních křivek pro účely modelování srážkoodtokového procesu. [online]. [cit.2021-05-27]. Dostupné z: [https://www2.humusoft.cz/www/papers/tcp13/028\\_jezik.pdf](https://www2.humusoft.cz/www/papers/tcp13/028_jezik.pdf).
- (17) KAVKA, Petr, Miloslav MÜLLER, Luděk STROUHAL, et al. Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině: metodika. [Praha]: České vysoké učení technické v Praze, 2018. ISBN 978-80-01-06363-7.
- (18) DUMBROVSKÝ, Miroslav a Rudolf MILERSKI. Vodní hospodářství krajiny II. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005.

## 6.2. Seznam použitých obrázků

Obrázek 1. Orografické povodí a hydrologické povodí (2) .....	11
Obrázek 2. Schéma srážko-odtokového procesu v povodí (2).....	12
Obrázek 3. Hydrologická a hydraulická transformace. (2) .....	13
Obrázek 4. Šermerův výparoměr. (2).....	14
Obrázek 5. Vztah mezi trváním, intenzitou a periodicitou deště podle Trupla. (2).....	16
Obrázek 6. Ombrometr. (2).....	17
Obrázek 7. Záznamy Ombrogramu. (2) .....	18
Obrázek 8. Totalizátor. (2) .....	18
Obrázek 9. Impulsivní srážkoměr. (2).....	19
Obrázek 10. Optický srážkoměr. (2) .....	19
Obrázek 11. Geostacionární a polární družice. (9).....	20
Obrázek 12. Výpočet návrhové srážky pro daný bod v aplikaci Rain. (17).....	24
Obrázek 13. Vybraná dílčí povodí. ....	25
Obrázek 14. Graf pro určení doby koncentrace podle R. M. Cormacka. (18) .....	26
Obrázek 15. Nastavené metody v HEC-HMS.....	29
Obrázek 16. Nastavení metody ztrát. ....	30
Obrázek 17. Nastavení transformační metody. ....	30
Obrázek 18. Zájmové území Polančice.....	31
Obrázek 19. Schematizace Povodí 1 v ArcMap.....	32
Obrázek 20. - Basin model Povodí 1.....	33
Obrázek 21. Zájmové území Grasmanka. ....	33
Obrázek 22. Schematizace Povodí 2 v ArcMap.....	34
Obrázek 23. Basin Model Povodí 2. ....	35
Obrázek 24. Celkový souhrn pro povodí při $Q_2$ .....	36
Obrázek 25. Výsledné parametry Povodí 1 pro $Q_2$ . ....	37
Obrázek 26. Transformace povodňové vlny pro $Q_2$ v Povodí 1. ....	37
Obrázek 27. Průběžné hodnoty průtoků při $Q_2$ na Povodí 1. ....	38

### 6.3. Seznam tabulek

Tabulka 1. Doba koncentrace odtoku podle Q. C. Ayrese (18) .....	26
Tabulka 2. Použité doby koncentrace pro výpočet v programu HEC-HMS .....	26
Tabulka 3. Srážkový úhrn z Truplových tabulek uvažovaný pro Povodí 1. ....	27
Tabulka 4. Srážkový úhrn z Truplových tabulek uvažovaný pro Povodí 2. ....	27
Tabulka 5. Srážkový úhrn z aplikace Rain pro Povodí 1. ....	28
Tabulka 6. Srážkový úhrn z aplikace Rain pro Povodí 2. ....	28
Tabulka 7. Použité srážkové úhrn pro Povodí 1. ....	28
Tabulka 8. Použité srážkové úhrny pro Povodí 2. ....	28
Tabulka 9. Průměrná čísla CN pro povodí 1. ....	29
Tabulka 10. Průměrná čísla CN pro povodí 2. ....	29
Tabulka 11. Parametry Povodí 1. ....	32
Tabulka 12. Parametry povodí 2. ....	34
Tabulka 13. Výsledky kalibrace pro řešená povodí. ....	35
Tabulka 14. Výsledné průtoky Povodí 1 pro variantu výpočtu 1. ....	38
Tabulka 15. Výsledné průtoky Povodí 1 pro variantu výpočtu 2. ....	39
Tabulka 16. Výsledné průtoky Povodí 1 pro variantu výpočtu 3. ....	39
Tabulka 17. Výsledné průtoky Povodí 1 pro variantu výpočtu 4. ....	39
Tabulka 18. Výsledné průtoky Povodí 2 pro variantu výpočtu 1. ....	40
Tabulka 19. Výsledné průtoky Povodí 2 pro variantu výpočtu 2. ....	40
Tabulka 20. Výsledné průtoky Povodí 2 pro variantu výpočtu 3. ....	40
Tabulka 21. Výsledné průtoky Povodí 2 pro variantu výpočtu 4. ....	41
Tabulka 22. Tabulka N-letých průtoků poskytnutá od Povodí Odry. ....	41
Tabulka 23. Vypočtené průtoky pro Povodí 1. ....	42
Tabulka 24. Vypočtené průtoky pro povodí 2. ....	42
Tabulka 25. Výsledné hodnoty pro variantu 4. ....	43



## 6.4. Seznam zkratek

$Q_{20}$	Maximální průtok s dobou opakování 20 let.
$Q_{100}$	Maximální průtok s dobou opakování 100 let.
$p$	Periodicita.
$t$	Doba trvání.
$e (q)$	Absolutní vlhkost vzduchu.
$E (Q_{\max})$	Maximální vlhkost.
$r$	Relativní vlhkost.
$d$	Sytostní doplněk.
$p'$	Průměrná roční frekvence.
$N$	Průměrná doba opakování.
$m$	Počet výskytů daného jevu za sledované období.
$M$	Počet roků pozorování.
$i$	Intenzita.
$t$	Časový úsek.
$i_{pr}$	Plošně průměrná intenzita v kruhu o poloměru $L$ .
$L$	Poloměr kruhu.
$I_b$	Maximální bodová intenzita v jádru deště.
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav.
ČR	Česká republika.
$H_s$	Srážkový úhrn.
MSG	Meteosat druhé generace.
IR	Infračervené.
WV	Vodní pára.
NOAA	National Oceanic & Atmospheric Administration.
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System.
$G$	Orientovaný ohodnocený graf.
$N$	Množina vrcholů grafu.
$H$	Množina hran grafu.
$P$	Množina zavěšených ploch.
tzv.	Takzvané.
č.	Číslo.
CN	Curve number.
$Q$	Průtok.
$Q_N$	Maximální $N$ -letý průtok doby opakování $N$ .
$Q_{20(1)}$	Maximální průtok s dobou opakování 20 let pro variantu výpočtu 1.
$Q_{20(2)}$	Maximální průtok s dobou opakování 20 let pro variantu výpočtu 2.
$Q_{20(3)}$	Maximální průtok s dobou opakování 20 let pro variantu výpočtu 3.
$Q_{100(4)}$	Maximální průtok s dobou opakování 100 let pro variantu výpočtu 4.