



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

## DEŠŤOVÉ NÁDRŽE NA STOKOVÝCH SÍTÍCH RAINWATER TANKS FOR SEWER SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Tomáš Oháňka

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV RACLAVSKÝ, Ph.D.

BRNO 2012



# 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 obcí                       |

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

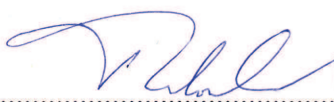
|                |                                    |
|----------------|------------------------------------|
| <b>Student</b> | Tomáš Oháňka                       |
| <b>Název</b>   | Dešťové nádrže na stokových sítích |

|                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Vedoucí bakalářské práce</b> | doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D. |
|---------------------------------|-------------------------------------|

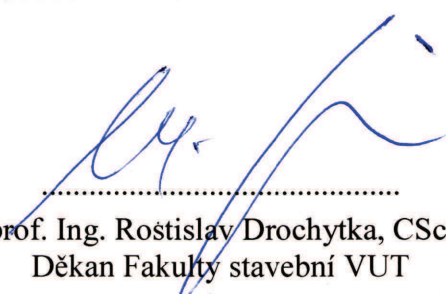
|                                          |              |
|------------------------------------------|--------------|
| <b>Datum zadání<br/>bakalářské práce</b> | 30. 11. 2011 |
|------------------------------------------|--------------|

|                                             |             |
|---------------------------------------------|-------------|
| <b>Datum odevzdání<br/>bakalářské práce</b> | 25. 5. 2012 |
|---------------------------------------------|-------------|

V Brně dne 30. 11. 2011

  
.....  
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu



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

### **Podklady a literatura**

- 1) Butler, D., Davies, J. W. Urban Drainage. 3rd ed. Oxon: Taylor & Francis, 2010. 632 s. ISBN 978-0-415-45526-8.
- 2) Pasportizační podklady pro vybranou oblast stokové sítě
- 3) Související normy a legislativní podklady dle pokynu vedoucího bakalářské práce
- 4) Vybrané tituly periodika SOVAK
- 5) Další podklady dle aktualizace vycházející z průběhu řešení

### **Zásady pro vypracování**

Bakalář provede rešerši z oblasti navrhování a provozování dešťových nádrží na stokových sítích. Součástí bakalářské práce bude modelový příklad návrhu dešťové nádrže na vybrané části stokové sítě.

### **Předepsané přílohy**

- Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací
- Rešerše z oblasti problematiky navrhování dešťových nádrží na stokových sítích
- Průvodní a technická zpráva
- Hydrotechnické výpočty
- Výkresová dokumentace a další přílohy dle pokynu vedoucího bakalářské práce

  
.....  
doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problematikou provozování a navrhování dešťových nádrží na stokových sítích. Popisuje účel, funkci a využití dešťových nádrží, jejich rozdělení, vybavení, stavební řešení a konstrukce. Dále jsou uvedeny způsoby navrhování a dimenzování. Okrajově jsou zmíněny konkrétní příklady dešťových nádrží a jejich funkce v České republice. Součástí je také modelový příklad výpočtu objemu dešťové nádrže.

## **Klíčová slova**

dešťové nádrže, akumulční stoky, retence dešťových vod, regulování odtoku, čištění nádrží

## **Abstract**

This bachelor's thesis deals with the operation and design of rainwater tanks for sewer systems. Describes the purpose, function and use of rainwater tanks, their distribution, equipment, building design and construction. The following are ways to design and dimensioning. Marginally mentioned specific examples of rainwater tanks and their functions in the Czech Republic. Also included is a model example of calculating the volume of rainwater tanks.

## **Keywords**

rainwater tanks, storage sewer, stormwater retention, management and control runoff, tank cleaning

### **Bibliografická citace VŠKP**

OHÁŇKA, Tomáš. *Dešťové nádrže na stokových sítích*. Brno, 2012. 79 s., 2 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D..

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 21.5.2012

.....  
podpis autora

**Poděkování:**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jaroslavu Raclavskému, Ph.D za jeho rady a připomínky k této práci. Dále chci poděkovat panu Ing. Robertu Váňovi a panu Ing. Jiřímu Ježkovi za informace z oblasti provozu dešťových nádrží.

# OBSAH

|          |                                                                                   |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD .....</b>                                                                 | <b>10</b> |
| <b>2</b> | <b>VŠEOBECNĚ O DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍCH .....</b>                                       | <b>11</b> |
| 2.1      | Účel a využití dešťových nádrží .....                                             | 11        |
| 2.2      | Funkce dešťových nádrží.....                                                      | 12        |
| 2.3      | Seznam souvisejících norem .....                                                  | 13        |
| <b>3</b> | <b>SOUČASNÝ STAV PROVOZOVÁNÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ V ČESKÉ REPUBLICE.....</b>          | <b>14</b> |
| 3.1      | Brno .....                                                                        | 14        |
| 3.1.1    | Dešťová nádrž Brno – Trnkova .....                                                | 15        |
| 3.1      | Dešťová nádrž Olomouc – Přichystalova .....                                       | 16        |
| <b>4</b> | <b>ROZDĚLENÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ.....</b>                                            | <b>18</b> |
| 4.1      | Rozdělení dešťových nádrží Podle vztahu k průtoku vody ve stoce .....             | 18        |
| 4.1.1    | Dešťové nádrže umístěné v hlavním směru přímo v trase stoky (ON-LINE) .....       | 18        |
| 4.1.2    | Dešťové nádrže umístěné ve vedlejším směru paralelně vedle stoky (OFF-LINE) ..... | 18        |
| 4.2      | Rozdělení dešťových nádrží podle funkce.....                                      | 19        |
| 4.2.1    | Retenční vsakovací dešťové nádrže .....                                           | 19        |
| 4.2.2    | Detenční dešťové nádrže .....                                                     | 19        |
| 4.2.3    | Záchytné dešťové nádrže .....                                                     | 20        |
| 4.2.4    | Průtočné dešťové nádrže .....                                                     | 21        |
| 4.2.5    | Kombinované dešťové nádrže .....                                                  | 22        |
| 4.2.6    | Usazovací dešťové nádrže.....                                                     | 23        |
| 4.2.7    | Akumulační stoky .....                                                            | 24        |
| <b>5</b> | <b>ZAPOJENÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ DO STOKOVÉ SÍTĚ.....</b>                             | <b>26</b> |
| 5.1      | Umístění dešťových nádrží.....                                                    | 28        |
| <b>6</b> | <b>KONSTRUKCE DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ .....</b>                                          | <b>29</b> |
| 6.1      | Stavební řešení dešťových nádrží .....                                            | 29        |
| 6.1.1    | Železobetonové dešťové nádrže .....                                               | 29        |
| 6.1.2    | Přírodní dešťové nádrže .....                                                     | 29        |
| 6.1.3    | Speciální typy dešťových nádrží .....                                             | 30        |
| 6.2      | Vodotěsnost dešťových nádrží .....                                                | 32        |

|           |                                                                         |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>7</b>  | <b>VYBAVENÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ</b>                                        | <b>34</b> |
| 7.1       | Měřicí zařízení                                                         | 34        |
| 7.2       | Regulátory odtoku                                                       | 34        |
| 7.2.1     | Clony a deskové uzávěry                                                 | 35        |
| 7.2.2     | Vírový regulátor odtoku                                                 | 36        |
| 7.2.3     | Plovákový regulátor odtoku                                              | 37        |
| 7.2.4     | Ostatní typy regulátorů odtoku                                          | 38        |
| 7.2.5     | Škrťací trať odtokového potrubí                                         | 38        |
| 7.3       | Čerpací stanice                                                         | 39        |
| 7.4       | Zařízení pro odstraňování nečistot z hladiny                            | 39        |
| 7.4.1     | Norná stěna                                                             | 39        |
| 7.4.2     | Bubnový otočný filtr                                                    | 39        |
| 7.5       | Bezpečnostní objekt                                                     | 40        |
| 7.6       | Čistící zařízení                                                        | 40        |
| 7.6.1     | Shrabovací zařízení                                                     | 40        |
| 7.6.2     | Vyplachovací klapka                                                     | 40        |
| 7.6.3     | Tryskové čističe a ponorná míchadla                                     | 41        |
| 7.6.4     | Vyplachovací vodní dělo                                                 | 41        |
| <b>8</b>  | <b>VLIV DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ NA ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD</b>                  | <b>43</b> |
| <b>9</b>  | <b>PODMÍNKY NÁVRHU DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ</b>                                 | <b>44</b> |
| 9.1       | Vztah dešťových nádrží k průtočným poměrům ve stokové síti a recipientu | 44        |
| 9.2       | Vyprazdňování dešťových nádrží                                          | 44        |
| <b>10</b> | <b>DIMENZOVÁNÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ</b>                                     | <b>45</b> |
| 10.1      | Racionální metody dimenzování dešťových nádrží                          | 45        |
| 10.1.1    | Dimenzování dešťových nádrží podle ČSN 75 6261 Dešťové nádrže           | 45        |
| 10.1.2    | Dimenzování dešťových nádrží podle zahraničních postupů                 | 50        |
| 10.2      | Bilanční metody dimenzování dešťových nádrží                            | 61        |
| 10.2.1    | EPA Storm Water Management Model (SWMM)                                 | 62        |
| 10.2.2    | The U.S. Army Corps of Engineers' River Analysis System (HEC-RAS)       | 63        |
| <b>11</b> | <b>ÚDRŽBA A PROVOZ</b>                                                  | <b>65</b> |
| 11.1      | Nakládání s kaly                                                        | 65        |
| <b>12</b> | <b>MODELOVÝ PŘÍKLAD NÁVRHU DEŠŤOVÉ NÁDRŽE</b>                           | <b>66</b> |

---

|      |                                          |    |
|------|------------------------------------------|----|
| 12.1 | Návrh retenční dešťové nádrže .....      | 66 |
| 12.2 | Návrh retenční dešťové nádrže .....      | 67 |
| 12.3 | Návrh zachytne dešťové nádrže .....      | 68 |
| 12.4 | Návrh usazovací dešťové nádrže .....     | 68 |
| 13   | ZÁVĚR .....                              | 69 |
| 14   | POUŽITÁ LITERATURA .....                 | 70 |
|      | SEZNAM TABULEK .....                     | 73 |
|      | SEZNAM OBRÁZKŮ .....                     | 74 |
|      | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ ..... | 76 |
|      | SEZNAM PŘÍLOH .....                      | 78 |
|      | SUMMARY .....                            | 79 |

# 1 ÚVOD

Tématem bakalářská práce bylo zpracování problematiky navrhování a provozování dešťových nádrží na stokové síti.

Městské odvodňovací systémy tvoří jeden ze základních prvků urbanizovaných území zajišťujících životní úroveň, komfort a ochranu zdraví. Zároveň také musí splňovat nároky na ochranu životního prostředí [26].

V minulosti byly odvodňovací systémy budovány za účelem nejrychlejšího odvedení co možná největšího množství odpadních a dešťových vod z odvodňovaného území, bez ohledu na ochranu životního prostředí. Rostoucí urbanizace krajiny však způsobuje, že dochází k zatížení odvodňovacích systémů produkcí odpadních a srážkových vod, přestože v době svého návrhu bezpečně splňovaly požadovaný účel. Tyto skutečnosti vyžadují komplexní řešení nakládání s odpadními a dešťovými vodami [26].

Jednou z možností, jak zabránit uvedeným negativním vlivům, je využití dešťových nádrží. Jedním z jejich účelů je akumulace a transformace dešťové vlny, která protéká stokovou sítí. Díky tomu dochází k ochraně stokových systémů před hydraulickým přetížením a vyplavováním níže položených povodí. Dalším účelem dešťových nádrží je zachytávání vysoce znečištěných srážkových vod, které by jinak byly odváděny do přírodních recipientů.

Vybudováním dešťové nádrže na stávajících rekonstruovaných nebo nově budovaných kanalizačních systémech, můžeme navrhnout menší dimenze potrubí umístěných pod dešťovou nádrží. Dále je možno napojit odvodnění nově urbanizovaných území na stávající stokové systémy, aniž by docházelo k jejich přetížení.

## 2 VŠEOBECNĚ O DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍCH

Nepříznivý vliv rozkolísanosti průtokového režimu odpadních a dešťových vod na ČOV i recipient lze významnou měrou ovlivnit akumulacími objekty u všech odvodňovacích soustav či separačním zařízením vhodně instalovaným na kanalizaci jednotné stokové soustavy [15].

Odvodňovací systémy většiny měst v ČR jsou koncipovány jako jednotná stoková síť. V rámci jednotné stokové sítě jsou dopravovány veškeré druhy odpadních vod společnou trubní sítí směrem na ČOV. V případě tzv. „prvního splachu“ tj. doby intenzivní srážky s odnosem všech usazených znečišťujících látek ze stokové sítě, dochází k nadměrnému zatěžování čistíren odpadních vod a recipientů. Nejefektivnějším způsobem zamezení úniku znečištění za dešťových průtoků je využití přirozené nebo uměle vytvořené akumulace na stokové síti a její postupné vypouštění na ČOV [18].

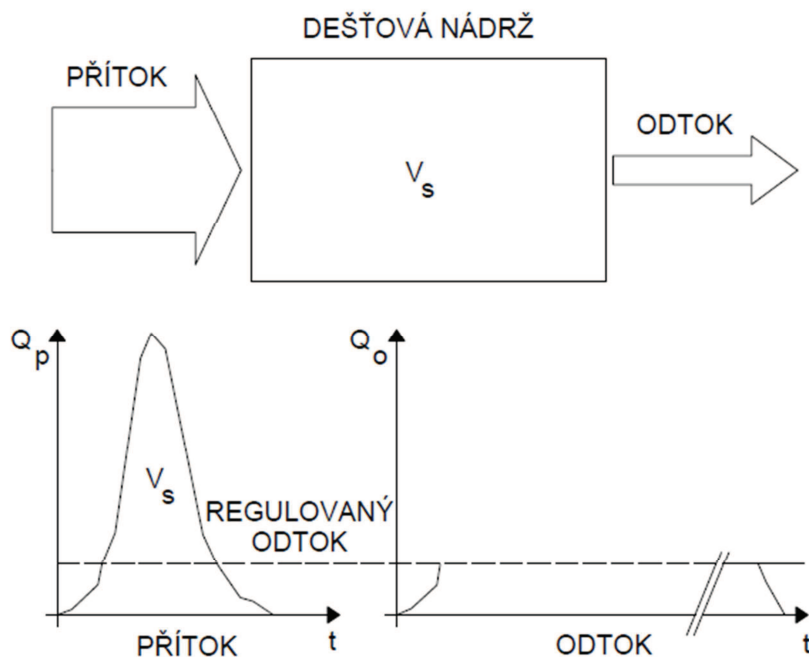
### 2.1 ÚČEL A VYUŽITÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ

Účelem dešťových nádrží je:

- snížení nebo zamezení odnosu znečištění srážkovými vodami nebo zředěnými odpadními vodami do vodních recipientů využitím sedimentačních procesů;
- transformace přívalové vlny zředěných odpadních vod retencí před jejich vyrovnaným odváděním stokovou sítí do čistírny odpadních vod (obr 2.1);
- vyrovnaní špičkových průtoků na ČOV, ochrana čistírny před havarijním znečištěním (např. ropnými látkami);
- zmírnění přívalové vlny srážkových vod retencí před jejich zaústěním do recipientu (ochrana recipientu před hydraulickým přetížením) [18].

Využití:

- po umístění dešťové nádrže do nově budovaného nebo stávajícího obnovovaného stokového systému můžeme navrhnout menší profily potrubí ve stokové síti pod nádrží.
- umístěním dešťové nádrže před čerpací stanici, můžeme navrhnout čerpadla o menším výkonu;
- nově budovaná urbanizovaná území mohou být napojena na dešťovou nádrž a následně odvodněna stávajícím stokovým systémem;
- sanace přetížených stokových systémů nebo ochrana před přetížením [16].



Obr. 2.1 Funkční schéma dešťové nádrže [Zdroj: 16]

## 2.2 FUNKCE DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ

V tab. 2.1 jsou uvedeny funkce konkrétních typů nádrží.

Tab. 2.1 Funkce dešťových nádrží podle typu [Zdroj: 24]

| Typ nádrže | Funkce                                                                                                         |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Retenční   | Akumulace celého objemu dešťových vod.                                                                         |
| Detenční   | Transformace extrémních průtoků dešťových a odpadních vod částečnou akumulací a regulovaným odtokem.           |
| Záchytná   | Zachycení prvního splachu, na menších povodích se dotokem do 15 min (max. 20 min).                             |
| Průtočná   | Zachycení prvního splachu s menší intenzitou znečištění, může se navrhovat i na povodích s dotokem nad 15 min. |
| Usazovací  | Akumulace znečištěných vod z pozemních komunikací a jiných ploch za účelem jejich předčištění sedimentací.     |

## **2.3 SEZNAM SOUVISEJÍCÍCH NOREM**

ČSN EN 752 Odvodňovací systémy vně budov

ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky

ČSN 75 6261 Dešťové nádrže

ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel

ČSN 75 0905 Zkoušky vodotěsnosti vodárenských a kanalizačních nádrží

ČSN 75 2310 Sypané hráze

ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže

TNV 75 6262 Odlehčovací komory a separátory

ATV-A 128 Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen

DWA-A 138 Bemessung von Regenrückhalteräumen

### 3 SOUČASNÝ STAV PROVOZOVÁNÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ V ČESKÉ REPUBLICE

V této kapitole jsou uvedeny vybrané příklady dešťových nádrží provozovaných v České republice a jejich funkce.

#### 3.1 BRNO

Vybrané dešťové nádrže provozované společností Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Vybrané dešťové nádrže provozované BVK, a.s. [Zdroj: 39]

| Lokalita             | Přenos | Popis                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Komárov              | ANO    | Umístěna na jednotné kanalizaci. Zabraňuje zpětnému vzdouvání odpadních vod do oblasti Komárova. Čištěna vyplachovací klapkou.                                                                                                                         |
| Šmahova              | ANO    | Umístěna na dešťové kanalizaci. Zabraňuje přetížení dešťového sběrače. Čištěna vyplachovací klapkou.                                                                                                                                                   |
| Cacovice             | ANO    | Umístěna na jednotné kanalizaci. Zabraňuje přetížení shybky a chrání následné povodí. Po dosažení limitní hladiny ve sběrači je nádrž plněna přes přeliv. Vyprazdňování gravitačně přes zpětnou klapku, zbytek odčerpán. Čištěna vyplachovací klapkou. |
| Černovické terasy    | ANO    | Umístěna na dešťové kanalizaci. Zabraňuje vyplavování následného povodí. Řídicí systém ovládá stavidla na základě nátoky, odtoku a hladiny v nádrži. Čištěna manuálně.                                                                                 |
| Tomečkova (obr. 3.1) | ANO    | Umístěna na dešťové kanalizaci. Zabraňuje vyplavování následného povodí. Řízena hydromechanickým ventilem. Měření hladiny. Manuální čištění.                                                                                                           |
| Síčka                | NE     | Umístěna na dešťové kanalizaci. Zabraňuje vyplavování následného povodí. Vyprazdňování regulované mechanickým hradítkem. Čištěna manuálně.                                                                                                             |
| Trnkova              | ANO    | Umístěna na dešťové kanalizaci. Zabraňuje přetěžování a vyplavování následného kanalizačního povodí. Čištěna manuálně.                                                                                                                                 |



Obr. 3.1 Dešťová nádrž Tomečkova [Zdroj: 39]

### 3.1.1 Dešťová nádrž Brno – Trnkova

Dešťová nádrž v Brně na ulici Trnkova (obr 3.2) zabraňuje přetěžování a vyplavování následného kanalizačního povodí. Jedná se o retenční dešťovou nádrž situovanou ve vedlejším směru. Je umístěna na soutoku dešťových sběračů ze staré a nové Líšně [39]. Svahy a část dna je zpevněno lomovým kamenem uloženým v betonu, plochy pro pohyb mechanismů na údržbu jsou zpevněny betonovými zatravnovacími panely. Ostatní plochy jsou zatravněny [33].



Obr. 3.2 Dešťová nádrž Brno – Trnkova  
[Zdroj: 39]

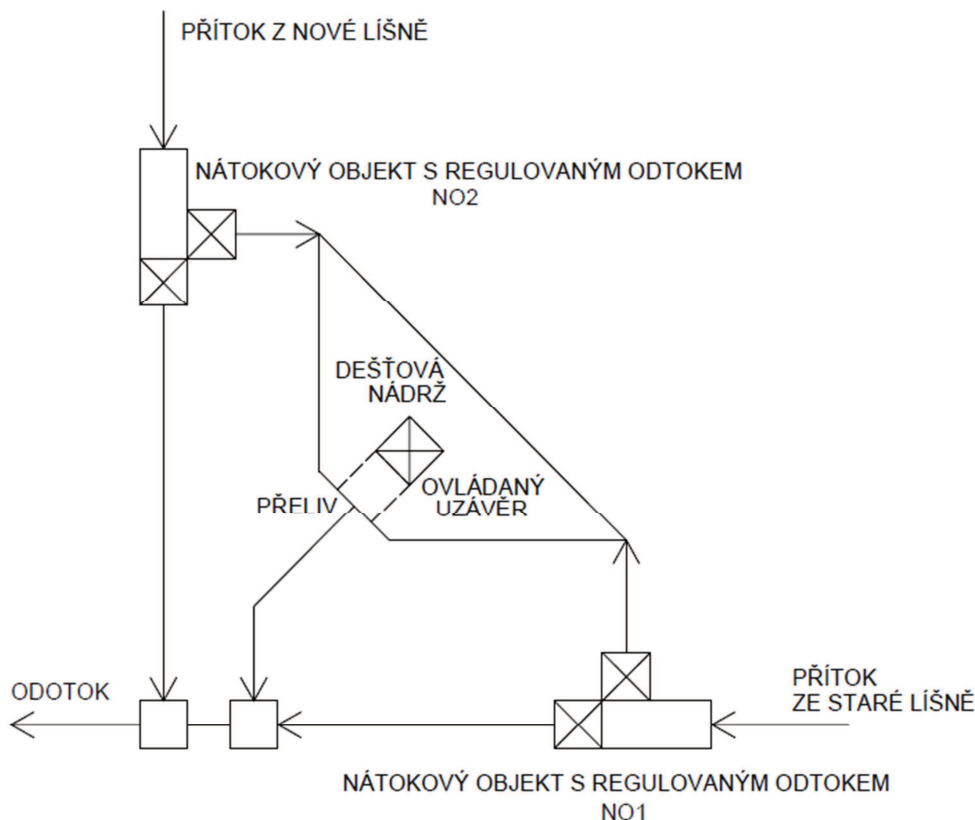


Obr. 3.3 Nátokový objekt dešťové nádrže  
[Zdroj: 39]

Na obr. 3.4 je zobrazeno schéma zapojení dešťové nádrže. Malé dešťové průtoky protékají dešťovým sběračem a využívá se retenční kapacity štol umístěné v povodí pod nádrží. Při dalším stoupání dochází k aktivaci regulačního prvku v příslušném nátoku (NO1, NO2) a na odtoku z dešťové nádrže. Pokud hladina v potrubí umístěného v níže situovaném povodí dosáhne bezpečnostního pásma, začínají pracovat regulační stavidla nádrže. Dojde-li k dosažení bezpečnostní hladiny, je průtok zastaven a veškerý přítok je přes nátokový objekt

(obr. 3.3) akumulován v dešťové nádrži. Regulační zařízení jsou řízena centrálně. Z nádrže jsou vody odváděny šachtovým přelivem, k úplnému vyprázdnění slouží stavidlový uzávěr [39].

Čištění nádrže je prováděno manuálně [39].



Obr. 3.4 Schéma dešťové nádrže Brno – Trnkova [Zdroj: T. Oháňka]

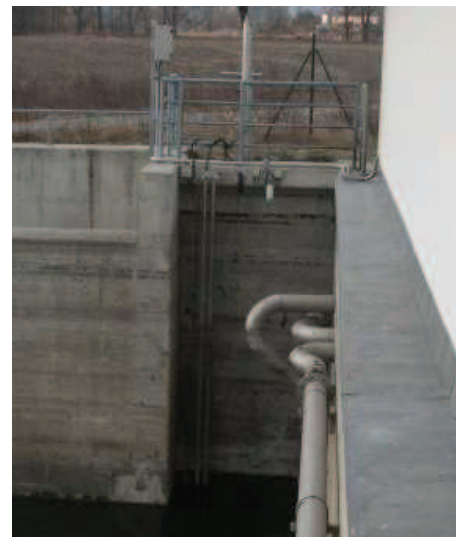
### 3.1 DEŠŤOVÁ NÁDRŽ OLOMOUC – PŘICHYSTALOVA

Jedním z provozovaných objektů společností MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s. na stokové síti v Olomouci, je dešťová nádrž na ulici Přichystalova (obr 3.5). Byla vybudována v rámci rekonstrukce a dobudování stokové sítě v letech 2006 – 2009. Jedná se o záchytnou dešťovou nádrž situovanou ve vedlejším směru. Nádrž je betonová, obdélníkového půdorysu a pojme 5000 m<sup>3</sup> odpadních vod [40].

Nádrž slouží k zachycení první vlny dešťových průtoků, přitékajících jednotnou stokou při intenzivních srážkách, po odlehčení před ČOV. Zvýšené průtoky s největším znečištěním jsou odlehčeny v odlehčovací komoře a čerpány do dešťové nádrže (obr. 3.7). Nádrž pojme prvních šest minut přívalové vlny. Po naplnění nádrže dochází k odlehčování do řeky Moravy. Po skončení dešťové události je nádrž vyprazdňována gravitačně pomocí násosky (obr. 3.6). Zbytkové vody, které neprotečou násoskou, jsou čerpány zpět do kanalizace pomocí čerpadla [40]



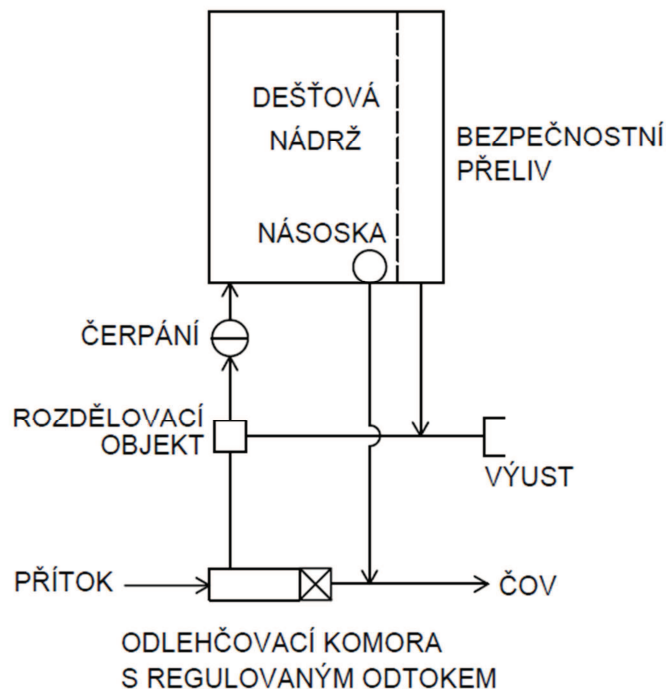
Obr. 3.5 Dešťová nádrž Olomouc – Přichystalova  
[Foto: T. Oháňka, 2012]



Obr. 3.6 Násoska k vyprazdňování  
nádrže [Foto: T. Oháňka, 2012]

Stává se, že při provozu způsobuje problémy znečištění, které pronikne přes hrubé česle na přítoku do nádrže. Dochází k ucpání odtokového čerpadla a vody z nádrže se následně musí odčerpat fekálními vozy [40].

Nádrž je čištěna pomocí pěti vyplachovacích klapek, které jsou plněny vodou jímánou ze studny vybudované v blízkosti nádrže [40].



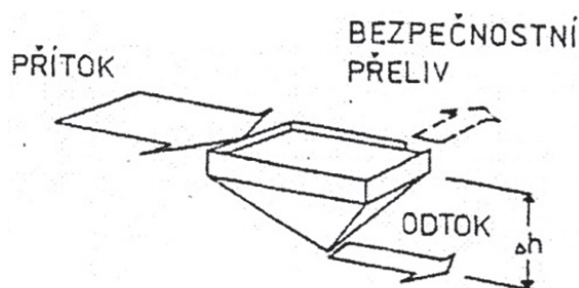
Obr. 3.7 Schéma dešťové nádrže Olomouc – Přichystalova [Zdroj: T. Oháňka]

## 4 ROZDĚLENÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ

### 4.1 ROZDĚLENÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ PODLE VZTAHU K PRŮTOKU VODY VE STOCE

#### 4.1.1 Dešťové nádrže umístěné v hlavním směru přímo v trase stoky (ON-LINE)

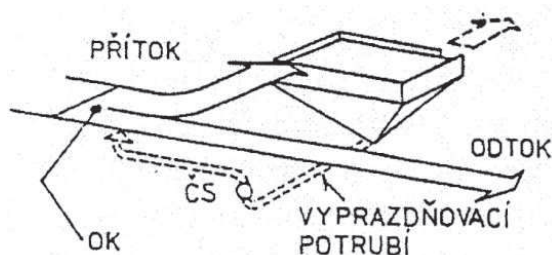
Dešťové nádrže umístěné v hlavním směru (obr. 4.1) se navrhují v místech, kde jsou dostatečné výškové poměry, aby odtok z nádrže probíhal gravitačně. Dešťová nádrž je volně protékána vodami, dokud nepřekročí průtok kapacitu odtokového potrubí. Zvýšený průtok se akumuluje v nádrži. Objem, který není nádrž schopna pojmout, se odvádí bezpečnostním přelivem. Po skončení dešťového přítoku se nádrž začne gravitačně vyprazdňovat. Nádrž je na výtoku vybavena regulátorem odtoku [24].



Obr. 4.1 Dešťová nádrž situována v hlavním směru průtoku [24]

#### 4.1.2 Dešťové nádrže umístěné ve vedlejším směru paralelně vedle stoky (OFF-LINE)

Dešťové nádrže umístěné ve vedlejším směru (obr. 4.2) se navrhují převážně tam, kde jsou nevyhovující výškové poměry, a návrh nádrže v hlavním směru by vyžadoval přečerpávání odtokového průtoku. Za bezdeštného průtoku bývá nádrž prázdná a odkanalizované vody protékají hlavní stokou vedenou mimo nádrž. Při dešťových průtocích jsou do nádrže přiváděny vody z odlehčovací komory, která je umístěna na hlavní stoce. Stejně jako u nádrže umístěné v hlavním směru je nádrž umístěná ve vedlejším směru vybavena bezpečnostním přelivem a regulátorem odtoku. Voda je z nádrže odváděna zpět do stokové sítě přečerpáváním nebo gravitačně v závislosti na výškovém uspořádání [24].



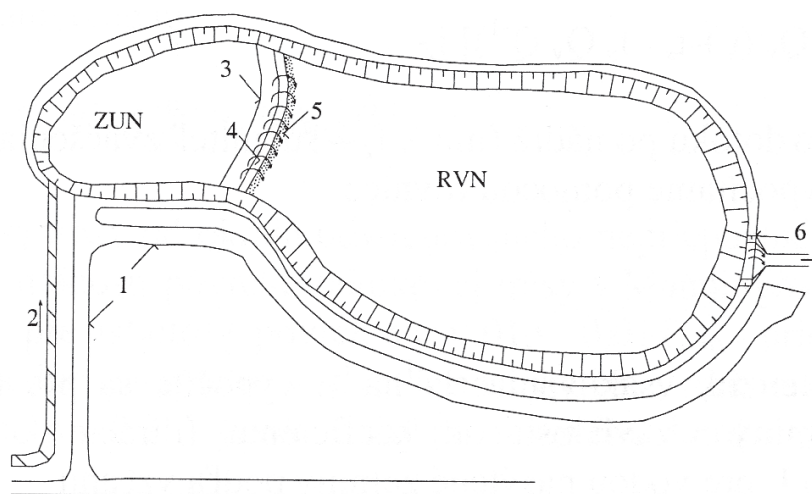
Obr. 4.2 Dešťová nádrž situována ve vedlejším směru průtoku [24]

## 4.2 ROZDĚLENÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ PODLE FUNKCE

Podle funkce se dešťové nádrže dělí na retenční, detenční, záchytné, průtočné a usazovací [24]. V normě ČSN 75 6261 *Dešťové nádrže* se pojem detenční dešťové nádrže neuvádí. Pro detenční dešťové nádrže, které se navrhují na snížení a transformaci dešťových vln, se používá starší pojem retenční nádrže, který je s ohledem na současný stav nakládání a hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaných povodích nevhodný [34].

### 4.2.1 Retenční vsakovací dešťové nádrže

Retenční dešťové nádrže se navrhují na akumulaci a trvalé zachycení dešťového přítoku vsakováním do dna a do svahů nádrže, výparem z nádrže, případně s bezpečnostním odtokem do recipientu. Navrhují se jako otevřené nádrže na zachycení dešťových vod na dešťových stokách oddílné soustavy. Na stokách jednotné soustavy se samostatně nenavrhují, ale mohou se navrhnout v kombinaci s průtočnou dešťovou nádrží. Dno a svahy jsou propustné, zatravněné s humusovou vrstvou 10 – 20 cm, která má filtrační a biologický účinek na zachycení a odbourání škodlivých látek přítomných v dešťových vodách přivedených z nepropustných ploch. Sklony svahů se navrhují menší než 1:2. Navrhují se v místech s vhodnými prostorovými a zasakovacím podmínkami. Pro rovnoměrné vsakování by mělo být dno vodorovné. K zabránění zanášení je vhodné umístit před nádrž zemní usazovací nádrž, která zachytí usaditelné a plavající látky (obr. 4.3) [24].



Obr. 4.3 Retenční vsakovací dešťová nádrž s předsazenou zemní usazovací nádrží [Zdroj: 24]

1 – příjezdová cesta, 2 – přítok vod z povrchového odtoku, 3 – norná stěna, 4 – přeliv, 5 – ochranný kamenný zásyp, 6 – bezpečnostní přeliv

### 4.2.2 Detenční dešťové nádrže

Detenční dešťové nádrže slouží k dočasnému zachycení části vod a zmenšení maximálního průtoku smíšených nebo dešťových vod, přičemž celý zachycený objem vod postupně odtéká zpět do stokové sítě. Na stokách jednotné soustavy se navrhují z hygienických důvodů převážně jako kryté podzemní nepropustné železobetonové nádrže, aby nemohlo dojít ke

kontaminaci podloží a podzemních vod směsí dešťových a městských odpadních vod. V extravilánu se retenční dešťové nádrže navrhuje jako otevřené s povrchem propustným nebo nepropustným, pokud se jedná o znečištěné vody z komunikací s intenzivním provozem [34].

Retenční dešťové nádrže se navrhuje na jednotné i oddílné stokové soustavě v případech:

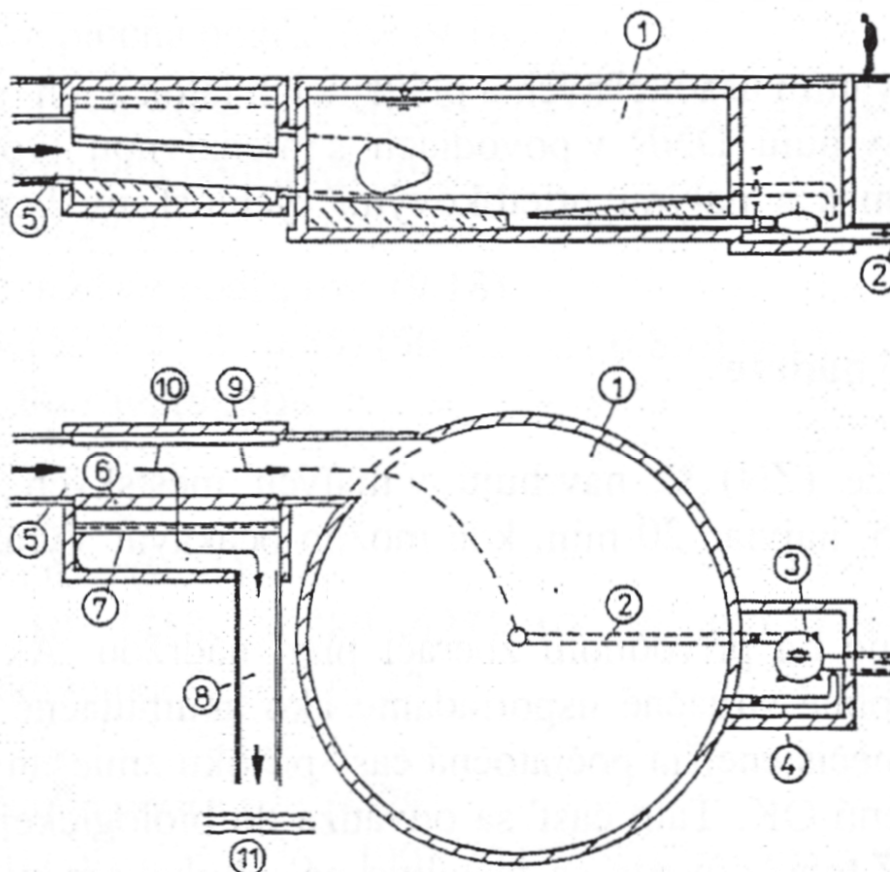
- kdy se rozšiřuje ve směru proti toku odpadních vod existující stokový systém, který by nebyl schopen přijat větší přítok dešťových vody nově připojeného území;
- kdy dochází v existujícím stokovém systému k častému hydraulickému přetížení důsledkem zvětšení nepropustných ploch a intenzifikací původní městské zástavby;
- nově projektovaného stokového systému, ve kterém se odvádějí dešťové průtoky velkoprofilovými sběrači jako alternativní řešení s retenční nádrží a menšími profily stok s celkově nižšími náklady;
- kdy se dešťovými stokami odvádějí velké dešťové průtoky do málo vodnatého toku v důsledku velkého podílu nepropustných ploch, aby nedocházelo k erozi koryta vodního toku a k jeho znečišťování velkými průtoky dešťových vod;
- silně znečištěných dešťových vod, např. v průmyslových závodech, a jejich odváděním po skončení deště, nejlépe v nočních hodinách, na ČOV;
- v rozsáhlých stokových systémech v rámci řízeného odtoku v daném systému;
- před čerpacími stanicemi dešťových vod [24].

Retenční dešťové nádrže nejsou určeny k usazování, proto je z provozních důvodů nutné navrhnout před nádrží lapač splavenin. V případě otevřených nádrží se doporučuje na začátku nádrže navrhovat sedimentační zóny, které by měly mít dostatečný objem na zachycení kalu. Pro odstraňování vzniklých sedimentů je potřeba, aby bylo dno nádrže zpevněné a byly navrženy vhodné přístupové cesty pro čisticí techniku. Aby se zamezilo usazování a usaditelné látky byly odnášeny průtokem, je vhodné v nádrži instalovat vírové agregáty. Retenční dešťové nádrže se navrhuje jak v hlavním, tak ve vedlejším směru [24].

### 4.2.3 Záchytné dešťové nádrže

Záchytné dešťové nádrže se navrhuje v malých městských povodích s dotokem do 15 minut (max. 20 minut), kde se očekává vytvoření vlny přinášeného znečištění, které je akumulováno v nádrži. Pokud se navrhuje v hlavním směru, tak mají podobné uspořádání jako akumulační stoky (obr. 4.4). Po naplnění nádrže přebírá funkci bezpečnostního přelivu odlehčovací komora s vysokou přelivnou hranou, z které pak jsou vody odváděny přes přeliv do vodního recipientu, popř. škrťací tratí na čistírnu. Na jednotné stokové síti se zpravidla navrhuje jako bezodtokové [24].

Výhodou záchytných dešťových nádrží umístěných v hlavním směru jsou menší prostorové nároky a není potřebné spojovací potrubí. Nevýhodou jsou vyšší nároky na výškový rozdíl mezi přítokem a odtokem. Ve vedlejším směru se záchytné dešťové nádrže umísťují, pokud je výškový rozdíl, mezi přítokem a odtokem nedostatečný. Jejich nevýhodou je větší počet propojovacího potrubí a nutnost čerpání vody z nádrže zpět do kanalizace [24].

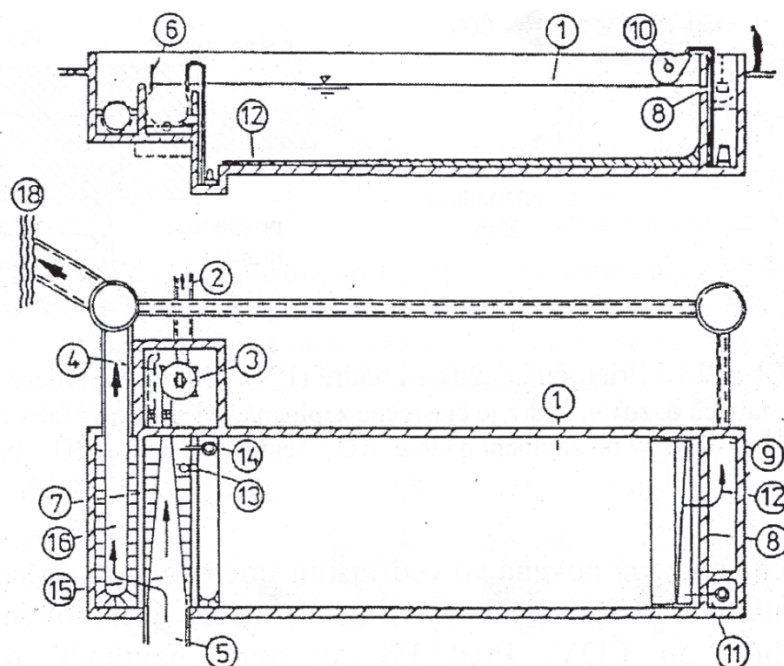


Obr. 4.4 Záchytná dešťová nádrž situovaná v hlavním směru kruhového tvaru [Zdroj: 24]

1 – nádrž, 2 – odtok na ČOV, 3 – měření průtoku, vírový regulátor odtoku, 4 – odtok, 5 – přítok, 6 – normá stěna, 7 – dešťový přeliv, 8 – odtok do recipientu, 9 – vtok do nádrže, 10 – průtok přes dešťový přeliv, 11 - recipient

#### 4.2.4 Průtočné dešťové nádrže

Průtočné dešťové nádrže se navrhují v případech, kdy zvětšováním povodí dochází k vyrovnaní koncentrace znečišťujících látek v odtoku smíšených odpadních vod bez výraznějšího zvýšeného počátečního znečištění. Mohou se navrhovat i v povodích s dotokem delším než 20 minut. Na rozdíl od záchytných dešťových nádrží mají průtočné dešťové nádrže přeliv, kterým jsou vody z nádrže odváděny do recipientu. Mají detenční i čistící funkci. Po naplnění nádrže jsou vody odváděny do recipientu přelivem umístěným na začátku nádrže (obr. 4.5). Na jednotné stokové síti se zpravidla umísťují za odlehčovací komorou s vysokou přelivnou hranou [24].



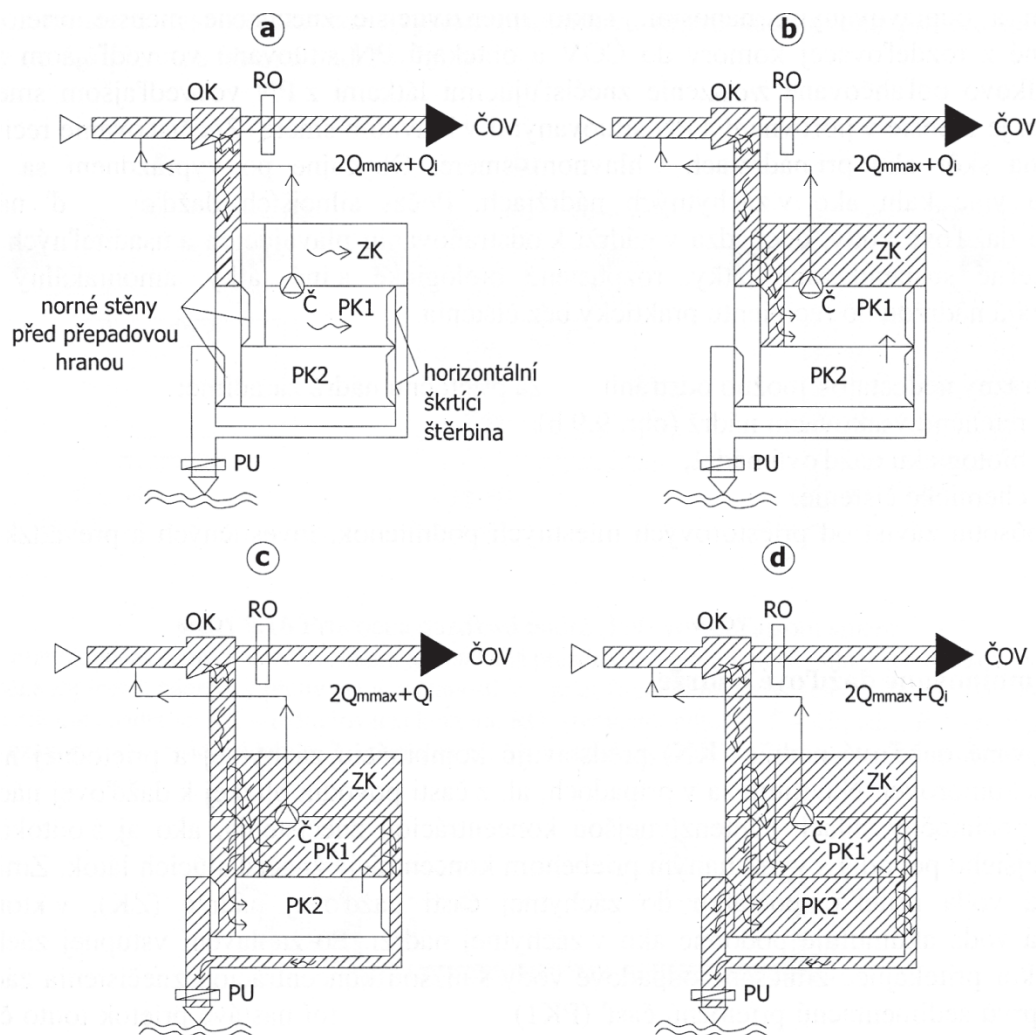
**Obr. 4.5 Průtočná dešťová nádrž umístěná ve vedlejším směru [Zdroj: 24]**

1 – nádrž, 2 – odtok na ČOV, 3 – měření průtoku, vírový regulátor odtoku, 4 – odtok, 5 – přítok, 6 – norná stěna, 7 – dešťový přeliv, 8 – nádržový přeliv, 9 – odtok, 10 – vyplachovací klapka, 11 – nádrž na vyplachovací vodu, 12 – dno, 13 – kontrolní uzávěr, 14 – čerpadlo, 15 – bezdeštný průtok, 16 – dešťový průtok, 17 – mechanicky předčištěný dešťový odtok, 18 – recipient

#### 4.2.5 Kombinované dešťové nádrže

Kombinované dešťové nádrže se navrhují jako kombinace záchytné a průtočné dešťové nádrže v případech, kdy se očekává prvotní splach s intenzivnější koncentrací znečištění a následný přítok s vyrovnanou koncentrací znečišťujících látek. Kombinované dešťové nádrže se navrhují v povodích s dotokovým časem delším než 20 minut a pokud je v povodí umístěno několik odlehčovacích komor s vysokou přelivnou hranou. Dimenzují se jako záchytné a průtočné dešťové nádrže. Výhodou je kombinace záchytné a sedimentační funkce v jednom objektě a možnost volitelně rozdělit celkový objem kombinované dešťové nádrže na záchytnou a sedimentační část. Nevýhodou jsou větší stavební a provozní náklady a komplikované hydraulické řešení přepadových žlabů. Snížením provozních nákladů na vyprazdňování a čištění průtočných částí dojde v důsledku rozdělení průtoku na více průtočných částí, které vstupují do činnosti postupně při intenzivnějších deštích [24].

Na obr. 4.6 je zobrazena kombinovaná dešťová nádrž situovaná ve vedlejším směru. Smíšená odpadní voda je nejprve odváděna do záchytné části (ZK), ve které se akumuluje. Po naplnění záchytné části jsou vody s nižší koncentrací znečištění vedeny do první sedimentační průtočné části (PK1). Po jejím naplnění protékají vody k přepadovému žlabu umístěným na konci k mechanickému předčištění a následně do recipientu. Při zvýšených průtocích vstupuje do činnosti přeliv na začátku první průtočné části, který odvádí průtoky do druhé průtočné části (PK2) [24].



Obr. 4.6 Kombinovaná dešťová nádrž ve vedlejším směru [Zdroj: 24]

a – průtok během slabých dešťů na začátku plnění nádrže, b – průtok během průměrných dešťů po naplnění zachytné části (ZK), c – průtok během silných dešťů po naplnění zachytné části (ZK) a první průtočné části (PK1), d – průtok celou nádrží během velmi silných dešťů, OK – odlehčovací komora, RO – regulátor odtoku, Č – čerpadlo, PU – protipovodňový uzávěr

#### 4.2.6 Usazovací dešťové nádrže

Usazovací dešťové nádrže slouží k zachycení usaditelných a plovoucích nečistot. Umísťují se pouze na dešťové stoky oddílné stokové soustavy. Obvykle nejsou obtékány, takže vykonávají i funkci průtočných dešťových nádrží. Díky tomu mají kromě čistící i detenční funkci [24].

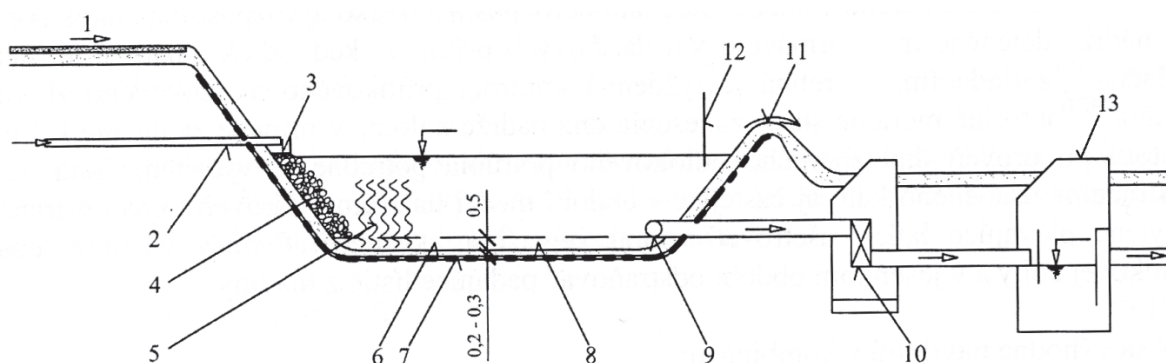
Nejčastěji se usazovací dešťové nádrže navrhují na zachycení povrchových vod odváděných z pozemních komunikací. Mají zatravněné dno izolované od podloží fólií nebo nepropustnou vrstvou zeminy (obr. 4.7). Jejich čistící účinek je jednak mechanický, jako v čistírenských usazovacích nádržích, a také biologický, který obstarává vodní vegetace v břehových částech [24].

Usazovací dešťové nádrže se navrhují na celý přítok dešťových vod, které jsou přivedeny dešťovou stokou oddílné soustavy pokud:

- poměr odváděného dešťového průtoku a charakteristického průtoku v recipientu nepříznivý;
- povrchové dešťové vody obsahují vysokou koncentraci znečištění z pozemních komunikací nebo průmyslových zón;
- případně v oblasti hrozí havarijní situace [24].

Výhodný návrh dešťových usazovacích nádrží je v kombinaci s jinými objekty jako:

- předčištění před lapáky ropných látek;
- předčištění před retenčními vsakovacími nádržemi;
- dočišťovací objekt v rámci třetího stupně čištění [24].



Obr. 4.7 Usazovací dešťová nádrž [Zdroj: 24]

1 – povrchový odtok, 2 – dešťová stoka, 3 – rozdělovací žlab, 4 – protierozní násyp, 5 – vodní vegetace, 6 – půdní zatravněná vrstva 0,2 – 0,3 m, 7 – nepropustná fólie, 8 – kalový prostor, 9 – horizontální sběrné potrubí, 10 – regulátor odtoku v šachtě, 11 – bezpečnostní přeliv, 12 – norná stěna, 13 – lapák ropných látek

#### 4.2.7 Akumulační stoky

Akumulační stoky (ČSN EN 752 *Odvodňovací systémy vně budov* uvádí pojem retenční stoky) jsou předdimenzované stoky, které plní funkci retenční nádrže [28]. Mohou se navrhovat v kombinaci s odlehčovacími komorami s vysokou přelivnou hranou. Na odtoku z akumulace se umísťují regulátory odtoku, které zabezpečují maximální přípustný odtok na ČOV po dobu deště. Vyprazdňování po skončení deště by nemělo překročit 15 hodin. Podle umístění odlehčení se rozděluje na akumulace s odlehčením na přítoku a akumulace s odlehčením na odtoku [24].

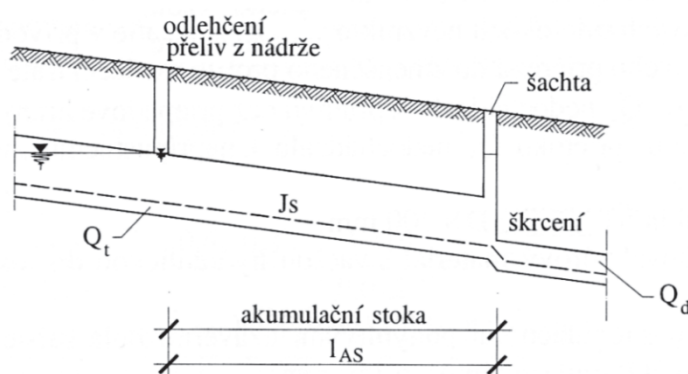
##### *Akumulační stoky s odlehčením na přítoku*

Akumulační stoky s odlehčením na přítoku (obr. 4.8) jsou funkcí a dimenzováním podobné zachytňovým dešťovým nádržím. Jsou výhodnější z hlediska zachycení prvního dešťového splachu a také jsou vhodné pro akumulaci objemu menší jak 50 m<sup>3</sup> [24].

Akumulační stoky s odlehčením na přítoku se dimenzují jako záchytné nádrže pokud:

- je maximální čas dotoku z povodí 20 minut,
- může být v povodí akumulační stoky navrhnutá maximálně jedna odlehčovací komora,
- je akumulační stoku potřebné navrhnut na vedlejších, paralelně uspořádaných sběračích,
- pokud má být maximální rychlost při bezdeštném průtoku v akumulační stoce 0,8 m/s [24].

Pokud tyto podmínky nejsou splněny, pak se akumulační stoky dimenzují jako akumulační stoky s níže umístěnou odlehčovací komorou [24].

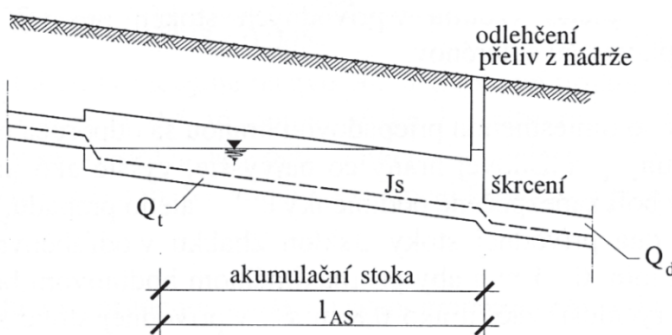


Obr. 4.8 Akumulační stoka s odlehčením na přítoku [Zdroj: 24]

### ***Akumulační stoky s odlehčením na odtoku***

Akumulační stoky s odlehčením na odtoku (obr. 4.9) zachytávají první dešťový splach pouze po dobu málo intenzivních dešťů, kdy ještě odlehčovací komora není v činnosti. Funkcí se podobají průtočným dešťovým nádržím.

Akumulační stoky s odlehčením na odtoku se navrhují jako průtočné dešťové nádrže s 50 % zvětšením objemu z důvodu zhoršených sedimentačních podmínek.



Obr. 4.9 Akumulační stoka s odlehčením na odtoku [Zdroj: 24]

## 5 ZAPOJENÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ DO STOKOVÉ SÍTĚ

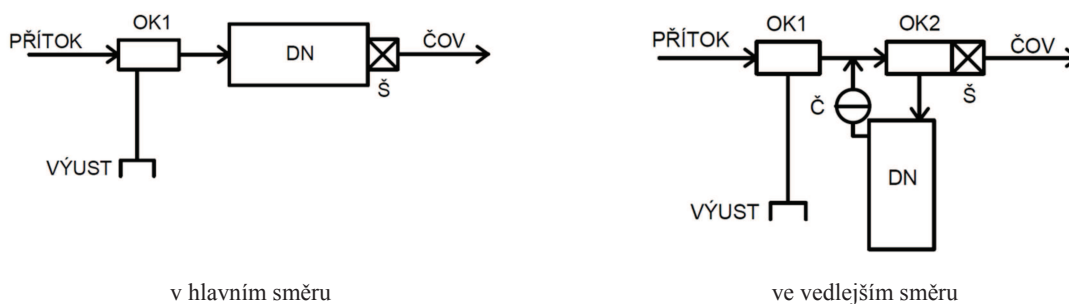
Detenční dešťové nádrže se mohou navrhovat na stokách v libovolném místě, nemusí se nacházet v blízkosti recipientu. (obr. 5.1) [34].



Obr. 5.1 Zapojení detenční dešťové nádrže [Zdroj: 9]

DN – dešťová nádrž, OK – odlehčovací komora s nízkou přelivnou hranou, Š – škrcení, Č – přečerpávání

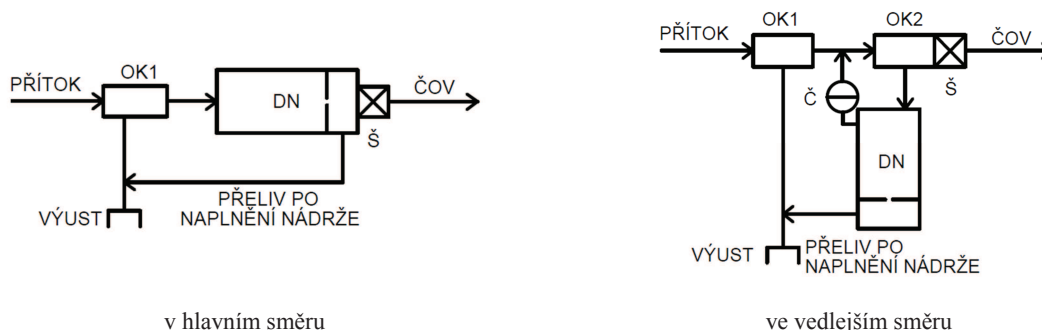
Záchytné nádrže se umísťují za odlehčovací komorou s vysokou přelivnou hranou, která je umístěna na přívodním sběrači před nádrží. (obr. 5.2). [9]



Obr. 5.2 Zapojení záchytné dešťové nádrže [Zdroj: 9]

DN – dešťová nádrž, OK1 – odlehčovací komora s vysokou přelivnou hranou, OK2 – odlehčovací komora s nízkou přelivnou hranou, Š – škrcení, Č – přečerpávání

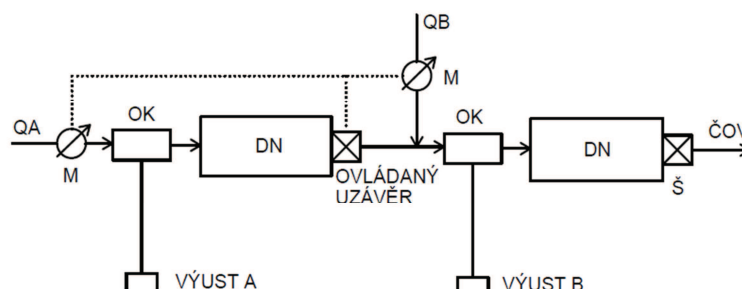
Průtočné dešťové nádrže se na jednotné stokové síti zpravidla umísťují za odlehčovací komoru s vysokou přelivnou hranou (obr. 5.3) [9].



Obr. 5.3 Zapojení průtočné dešťové nádrže [Zdroj: 9]

DN – dešťová nádrž, OK1 – odlehčovací komora s vysokou přelivnou hranou, OK2 – odlehčovací komora s nízkou přelivnou hranou, Š – škrcení, Č – přečerpávání

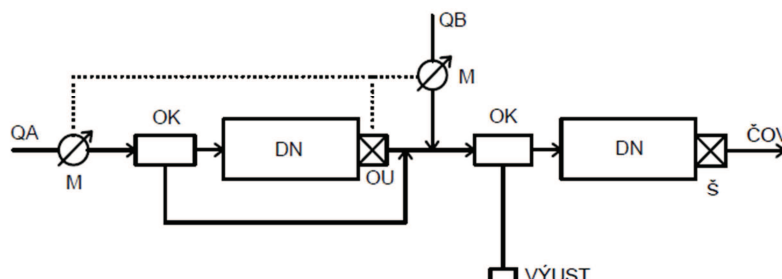
Záchytné dešťové nádrže v hlavním směru zapojené za sebou musí mít ovládané odtoky tak, aby odtok z první nádrže nebyl veden do probíhajícího odlehčování odlehčovací komory u druhé nádrže (obr. 5.4). Na začátku plnění každé nádrže musí být její odtok uzavřený [9].



**Obr. 5.4 Záchytné dešťové nádrže situované v hlavním směru za sebou [Zdroj: 9]**

DN – dešťová nádrž, OK – odlehčovací komora s vysokou přelivnou hranou, Š – škrcení, Č – přečerpávání, QA – přítok stokou A, QB – přítok stokou B, M – měření průtoku

Záchytné dešťové nádrže zapojené za sebou mohou mít v území bez možnosti odtoku do vodního recipientu přepojení přitékajících odkanalizovaných vod obtokem nádrže, který se uvádí v činnost až po naplnění nádrže (obr 5.5). Při plnění takovéto nádrže musí být její odtok regulován. Odtok je plně otevřen, jen když níže ležící odlehčovací komora není v činnosti [9].



**Obr. 5.5 Záchytné dešťové nádrže situované v hlavním směru za sebou s připojením stok v území bez vodního recipientu [Zdroj: 9]**

DN – dešťová nádrž, OK – odlehčovací komora s vysokou přelivnou hranou, Š – škrcení, Č – přečerpávání, QA – přítok stokou A, QB – přítok stokou B, M – měření průtoku

## 5.1 UMÍSTĚNÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ

Při umístění dešťových nádrží je nutné respektovat provozní požadavky stokové sítě a vlastní nádrže, např.:

- nádrž má zachytit silně znečištěné vody a odlehčovat jen mírně znečištěné;
- celé zachycené znečištění musí být dopraveno do ČOV;
- vypouštění nádrže musí být v souladu se zatížením ČOV;
- nesmí docházet k zanášení stoky nad nádrží;
- nesmí docházet k zanášení stoky pod nádrží při jejím vyprazdňování;
- povodí napojené na nádrž má zhruba stejný charakter z hlediska poměrů odvodnění (sklon, zástavba);
- přítokové doby sběračů by měly být podobné [15].

Dešťová nádrž má být umístěna při každé odlehčovací komoře jednotné stokové soustavy, jestliže:

- se směrem k čistírně odvádí menší množství (průtok) srážkových vod, než způsobuje mezní déšť;
- bilančním výpočtem bylo prokázáno, že se do vodního recipientu odnáší znečištění větší, než vodní recipient připouští (zejména počáteční vlnou znečištění oplachu povrchů a výplachu stoky) [16].

Dešťová nádrž má být umístěna při každé výusti srážkových vod oddílné stokové soustavy, pokud:

- hrozí znečištění vodního recipientu oplachů povrchů;
- Přítok do vodního recipientu vytvoří nežádoucí povodňovou vlnu [16].

## 6 KONSTRUKCE DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ

Dešťové nádrže umožňují velkou variabilitu konstrukčních řešení. Volba konstrukce vychází z místních podmínek (střed města, venkov, umístění v areálu ČOV, klimatické podmínky, atd.) a z požadavků na čištění a údržbu této nádrže [15]. Většinou se navrhuje jako umělé betonové nádrže. Na oddílné stokové soustavě se mohou navrhovat jako přírodní nádrže, též nazývané nebeské rybníky nebo poldry [24].

### 6.1 STAVEBNÍ ŘEŠENÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ

Návrh nádrží je potřeba provést tak, aby docházelo k samočištění, nebo aby se daly čistit mechanicky nebo hydraulicky. Za samočisticí dešťové nádrže se považují komory s vířivým pohybem vody a nádrže se dnem ve formě žlabu, popř. žlabů, které mohou být uspořádány meandrovitě. Jsou vhodné pro nádrže do objemu pro 500 m<sup>3</sup>. Nádrže řešené bez samočištění dna mají mít technologické zařízení na vyčištění nádrže po jejím vyprázdnění. Dno nádrže s mechanickým čištěním má mít podélný sklon 3 ‰. Při hydraulickém čištění je třeba podélné a příčné sklony přizpůsobit požadavkům používaného technologického zařízení. Žlaby umístěné na dně nádrží musí mít sklon stěn 1:1. Sklon dna žlabů by měl být takový, aby v nich rychlost bezdeštných průtoků dosahovala minimálně 0,6 m.s<sup>-1</sup> [9].

#### 6.1.1 Železobetonové dešťové nádrže

Železobetonové dešťové nádrže se v závislosti na umístění navrhuje jako podzemní v intravilánu nebo nadzemí v extravilánu [34], nejčastěji obdélníkového nebo kruhového půdorysu. Musí splňovat podmínky vodotěsnosti. Stěny a dno musí mít úpravu umožňující omývání [9].

Soubor konstrukčních a realizačních zásad pro vodotěsné úpravy železobetonových konstrukcí s dlouhodobou odolností proti pronikání vody se souhrnně nazývá tzv. „bílá vana“. Konstrukční zásady návrhu bílé vany:

- správná volba založení a tvaru omezující riziko vzniku trhlin;
- vhodné vyztužení – zásadou je vyztužení u obou povrchů sítěmi nebo rohožemi;
- dostatečná tloušťka stěny – minimální tloušťka je 300 mm;
- použití vhodného betonu (s limitovaným průsakem vody);
- lokální těsnění kritických profilů – dilatační a pracovní spáry, prostupy [20].

Podmínky návrhu bílé vany jsou obsaženy v [2].

#### 6.1.2 Přírodní dešťové nádrže

Půdorysný tvar se navrhuje podle místních podmínek [9]. Sklony svahů se obvykle volí menší jak 1:2. Skladba dna se volí podle funkce nádrže. Usazovací nádrže mají izolační vrstvu z nepropustné vrstvy zeminy nebo jiné izolace. Retenční vsakovací nádrže mají 10 – 20 cm humusovou vrstvu, která má filtrační a biologickou funkci. [24]

### 6.1.3 Speciální typy dešťových nádrží

#### *Systémy s akumulací HOBAS*

Akumulační systémy se skládají z jednotlivých trub a tvarovek (obr. 6.1), které se vyrábějí ze sklolaminátu na základě požadavků projektanta. Jednotlivé díly, které se obvykle skládají z vtokového dílu, akumulační části, revizní šachty a odtokového dílu, se sestaví na stavbě. Výhodami jsou především nízká hmotnost, krátká doba výstavby, vysoká chemická odolnost, životnost a možnost libovolného rozšíření [28].



Obr. 6.1 Systém HOBAS se třemi akumulačními částmi [Zdroj: 28]

#### *Systémy pro akumulaci srážkových vod ASIO*

AS-KRECHT je akumulační a drenážní systém tunelovitého tvaru. Skládá se z plastové půlkruhové schránky uzavřené ze stran plastovými čely (obr. 6.2), která tvoří vysokokapacitní podzemí prostor pro akumulaci a postupné zasakování srážkových vod. Výhodami jsou skladnost a dobrá pevnost a únosnost při zatížení pojezdem [36].

Akumulační systém AS-NIDAPLAST se skládá z jednotlivých bloků voštinového typu (obr. 6.3), které tvoří velkokapacitní podzemí prostor pro akumulaci a postupné zasakování srážkových vod. Použitím v kombinaci s nepropustnými foliemi slouží jako retenční nádrž s řízeným odtokem. Výhodou je vysoká pevnost a odolnost pro pojezd a nízká hmotnost [36].



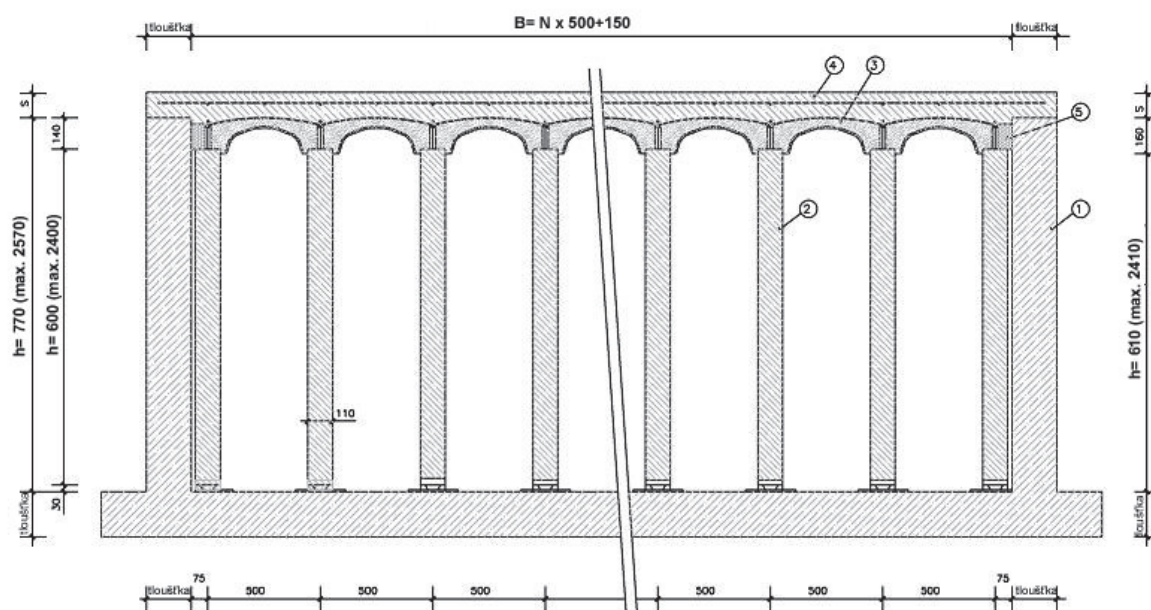
Obr. 6.2 Akumulační systém AS-KRECHT  
[Zdroj: 36]



Obr. 6.3 Akumulační systém AS-KRECHT  
[Zdroj: 36]

### *Velkokapacitní dešťové nádrže Atlantis*

Dešťové nádrže Atlantis jsou vyráběné pomocí systému ztraceného bednění, které umožňuje vytvořit stropní desku nádrže podepřenou hustě rozmístěnými nosnými sloupy (obr. 6.2), díky čemuž může dosahovat libovolného rozpětí a vysoké nosnosti. Výhodou je rychlá a jednoduchá výstavba [32].



#### Legenda

1. železobetonová vana
2. sloupek  $d=110$  mm vyplněný betonem
3. kazeta Atlantis 500/500/150 mm
4. vibrovaná vrstva betonu zajištěná ocelovou výstuží
5. těsnicí deska EPS (extrudovaný polystyren)

Obr. 6.4 Dešťová nádrž Atlantis [Zdroj: 32]

## Usazovací dešťové nádrže DYWIDAG

Dešťové usazovací nádrže DYWIDAG slouží k sedimentaci nerozpuštěných látek a odlučování ropných látek. Jedná se o prefabrikované montované železobetonové nádrže sestavené z U-dílů, stropních desek, šachtové nástavby, vík a poklopů. Výhodou je krátká doba výstavby, která se pohybuje v rozmezí 2 – 4 dnů. Podle typu se rozlišují na obdélníkové, oválné nebo sestavy oddělených propojených nádrží [27].

## 6.2 VODOTĚSNOST DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ

Zkoušky vodotěsnosti nádrží udává norma ČSN 75 0905 *Zkoušky vodárenských a kanalizačních nádrží*. Účelem těchto zkoušek je prokázání vodotěsnosti nově budovaných nebo stávajících, provozovaných či sanovaných, nádrží. Z hlediska požadavků na vodotěsnost se dešťové nádrže zařídují podle vizuálního posouzení úniků kapaliny do třídy 0 podle tab. 6.1 [7].

Tab. 6.1 Zatřídění nádrží podle vizuálního posouzení úniků kapaliny [Zdroj: 7]

| Třída | Požadavek z hlediska průsaku                                                                                                  |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0     | Jistý stupeň průsaku se připouští nebo je průsak kapaliny nevýznamný.                                                         |
| 1     | Globální nepropustnost. Průsak má být omezen na minimální množství. Připouští se několik povrchových skvrn nebo vlhkých míst. |
| 2     | Lokální nepropustnost. Průsak je všeobecně nepřípustný. Povrch nesmí být znehodnocen skvrnami.                                |

Zkouška vodotěsnosti se provádí před odstraněním pažení, provizorních zásypů, obezdění nebo jiných prací, jejichž cílem není zajištění vodotěsnosti. Nádrž se zkouší na únik vody přetlakem uvnitř nádrže, popřípadě infiltrací podzemní vody vně nádrže. Během plnění nádrže se provádí její kontrola. Pokud dojde k soustředným únikům vody nebo k ohrožení podloží nádrže či jiných objektů vodou, je nutné plnění přerušit a závadu odstranit. Po naplnění nádrže se nechají omočené povrchy nasáknout vodou a případně se následně voda doplní. Doba nasáknutí se počítá od okamžiku ukončení plnění na úrovni zkoušené hladiny s odchylkou  $\pm 20$  mm. Podle druhu materiálu nádrže doba nasáknutí činí:

- 96 hodin u nádrží z prostého betonu, železobetonu a ostře pálených cihel;
- 30 minut u plastových nádrží;
- 24 hodin u nádrží z ostatních hmot [7].

Po nasáknutí nádrže se provede další kontrola s vyloučením vlivu slunečního svitu, dešťových srážek a teploty ovzduší okolního prostředí pod bodem mrazu, kterou se zjišťuje:

- zda-li je hladina podzemní vody pod dnem nádrže;
- nedochází-li k únikům vody z jednoho místa;
- nedošlo-li k poruše nádrže;
- jsou-li těsné všechna zaslepená potrubí, otvory a uzavřené armatury.

Výsledek kontroly a následně zkoušky vodotěsnosti je považován za vyhovující, pokud se u nádrže nevyskytují vlhká místa, částečné orosení, nebo jednotlivé kapky na trvale viditelných plochách a neohrožují konstrukci nebo funkci nádrže [7].

Vlastní zkoušku je možno zahájit, pokud nádrž vyhoví výše uvedeným výsledkům kontroly. Doporučená doba zkoušky vodotěsnosti je 48 hodin, únik vody se zjišťuje vždy po uplynutí 24 hodin. Posouzení vodotěsnosti nádrží se provádí:

- vizuálním zhodnocením úniků vody se nádrže zatřídí podle tab. 6.1, jsou-li všechny kontrolované plochy viditelné;
- měřením podle poklesu hladiny, nebo množstvím vody potřebným pro doplnění na zkušební hladinu. Výpočet přípustného poklesu hladiny a povoleného úniku je uveden v [7];
- infiltrací u nádrží, u kterých nelze snížit hladinu podzemní vody[7].

## 7 VYBAVENÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ

Pro účinnou funkci dešťových nádrží je nutné, aby byla nádrž vybavena příslušným zařízením. Vybavení se liší podle typu, umístění a stavebního řešení nádrže. Areály dešťovou nádrží o objemu nad 400 m<sup>3</sup> se doporučuje vybavit příslušným hygienickým zařízením. Pro čištění dešťových nádrží se doporučuje vybudovat přívod vody. Území otevřené nádrže by mělo být oploceno a zabezpečeno před vstupem nepovolaných osob [9].

### 7.1 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

V současné době rostou požadavky na informace o provozu a účinku dešťových nádrží [15]. Významné nádrže je potřeba vybavit měřicí technikou. Předpokladem je připojení na elektrickou a telekomunikační síť. Senzory se mohou měřit průtok, stavy hladin, poloha uzávěrů a pohyblivých hran. Naměřená data se ukládají na nosiče dat nebo se přenášejí na dispečink, kde jsou okamžité informace o poruchách a provozu. Doporučuje se měřit i srážky na zájmovém území, což umožňuje posuzovat činnost odlehčovacích komor a působení dešťových vod na recipient. U méně významných nádrží stačí kontrola v pravidelných intervalech, např. zda-li předpoklady zavedené do výpočtu (nepropustné plochy, vydatnosti dešťů, apod.) byli vhodně aplikované z hlediska poddimenzování nebo předdimenzování [24]. Typy zařízení na měření průtoku a výšky hladiny, rozsah a vhodnost jejich použití je uveden v [12].

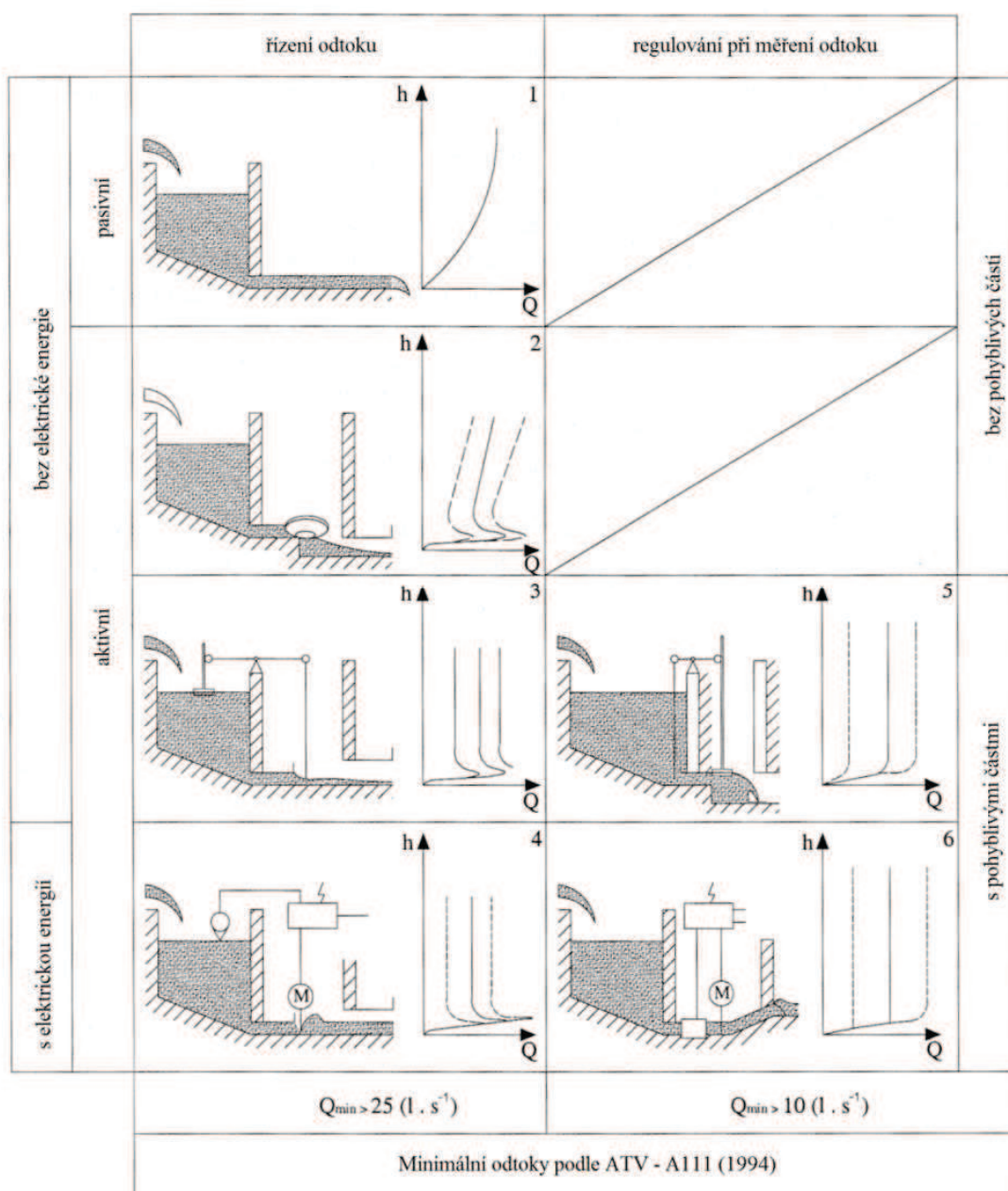
### 7.2 REGULÁTORY ODTOKU

Regulátory odtoku slouží k zmenšení, popřípadě k měření odtoku. Díky tomu může být menší profil na níže situovaných stokách. Rozlišují se na dvě kategorie (obr. 7.1): a) řízení odtoku, b) regulování odtoku [24].

V tab. 7.1 jsou uvedeny charakteristiky regulačních zařízení navrhovaných odtokových potrubí do ČOV z dešťových nádrží [24].

**Tab. 7.1 Charakteristiky regulačních zařízení [Zdroj: 24]**

| Regulátory odtoku          | Oblast použití (l.s <sup>-1</sup> ) | Stupeň překročení průtoku |
|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Škrťací trať               | $Q > 50$                            | průměrný                  |
| Škrťací uzávěr nebo clona  | $Q > 50$                            | nepříznivý                |
| Škrťací automatický uzávěr | bez omezení                         | velmi malý                |
| Klapka ovládaná plovákem   | $Q > 30$                            | vyhovující                |
| Vírový škrťací uzávěr      | $Q > 30$                            | vyhovující                |
| Odstředivé čerpadlo        | $Q > 30$                            | velmi malý                |
| Šnekové čerpadlo           | $Q > 10$                            | velmi malý                |



**Obr. 7.1 Klasifikace regulátorů podle ATV A111 [Zdroj: 24]**

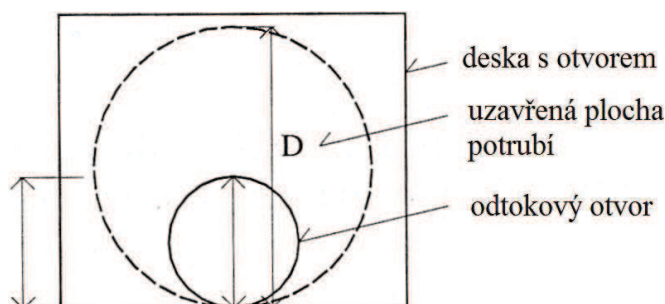
1 – škrťací trať, 2 – mechanický ventil, 3 – regulátor řízený horní hladinou, 4 – elektrický regulátor řízený horní hladinou s dálkovým hlášením, 5 – regulátor řízený dolní hladinou, 6 – elektrický regulátor s dálkovým hlášením

### 7.2.1 Clony a deskové uzávěry

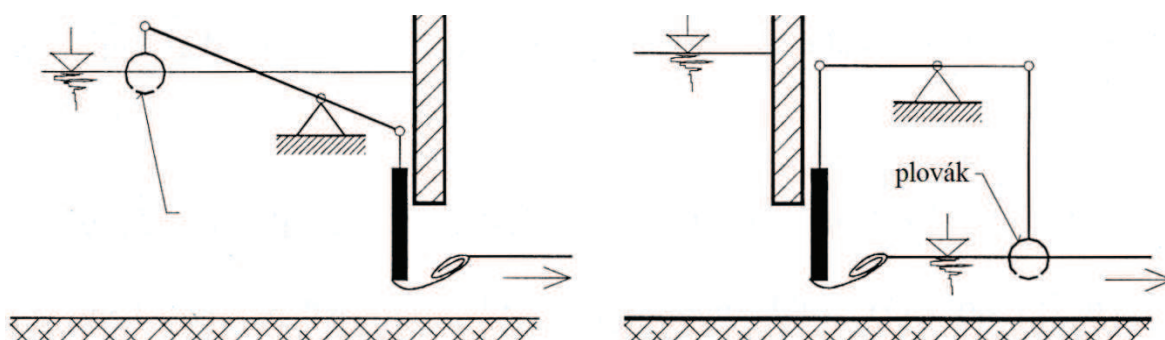
Na regulaci odtoku z dešťové nádrže se mohou použít:

- pevné clony se škrťacím kruhovým otvorem (obr. 7.2);
- pevné deskové uzávěry;
- ručně, hydraulicky nebo elektricky ovládané deskové uzávěry (obr. 7.3) [24].

Škrticí účinek se dosahuje zmenšeným průtokovým profilem, přičemž dochází ve zmenšeném profilu ke zvyšování průtokové rychlosti a vznikají místní energetické a tlakové ztráty. Rozlišuje se volný a zaplavený výtok [24].



Obr. 7.2 Clona [Zdroj: 24]



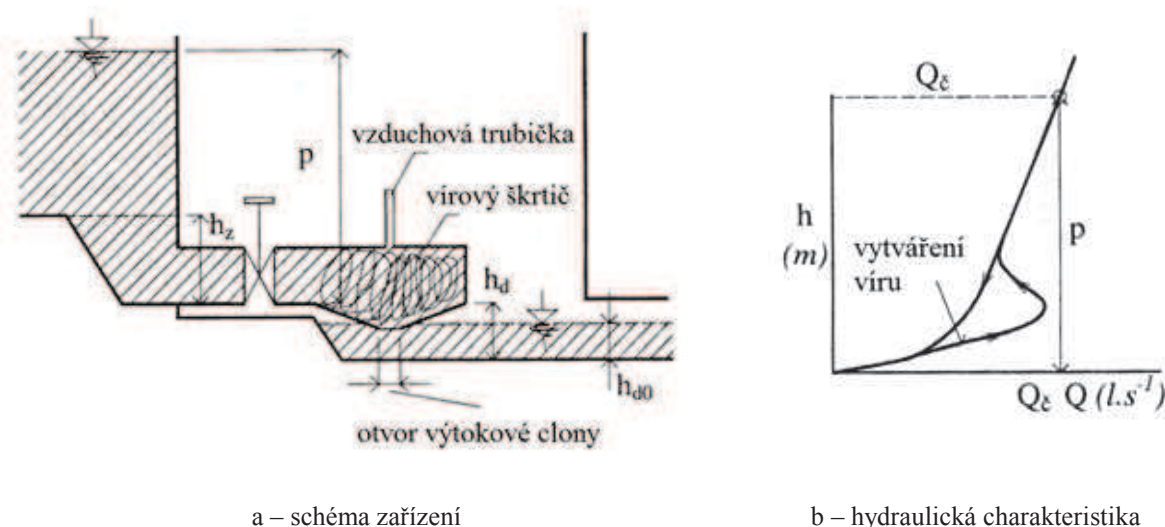
Obr. 7.3 Deskový uzávěr ovládaný plovákem [Zdroj: 24]

### 7.2.2 Vírový regulátor odtoku

Škrticí účinek vírového regulátoru souvisí s tangenciálním přítokem vody do regulátoru válcovitého tvaru. V důsledku toho vzniká v regulátoru rotační šroubovitý pohyb se vzdutým vírovým jádrem ve střední části. Následkem šroubovitého pohybu a výtokové clony umístěné ve středě v dolní části regulátoru, se v odtoku vytváří vzduchem zředěný vzduť paprsek, jehož kinetická energie je regulovaná turbulencí a nasávaným vzduchem přes vzduchovou trubičku v horní části regulátoru, a narážením odtokového paprsku na dno odtokového žlabu (obr. 7.4 a). S rostoucím přítokovým tlakem v důsledku stoupání hladiny v nádrži se zvětšuje šroubovitý pohyb (obr. 7.4 b). Sklonem konstrukce vírového regulátoru do šikmé polohy se zabrání zpětnému účinku dolní hladiny v odtokovém potrubí na škrticí účinek [24].

Rozhodující vliv na škrticí účinek má průměr vtokového potrubí do regulátoru, průměr válcovité části regulátoru, sklon šikmé polohy a průměr výtokové clony ve spodní části regulátoru, která je vyměnitelná. Protože průběh charakteristiky regulátoru je při větších nátokových výškách zpravidla velmi strmý, je zřejmé, že při vhodné velikosti regulátoru bude bez problémů dosažena požadovaná přesnost regulace [24].

Podle typu je rozsah škrceného odtoku od 5,6 až do 2305 l/s při odtokové výšce 2 m [24].



Obr. 7.4 Vírový regulátor odtoku [Zdroj: 24]

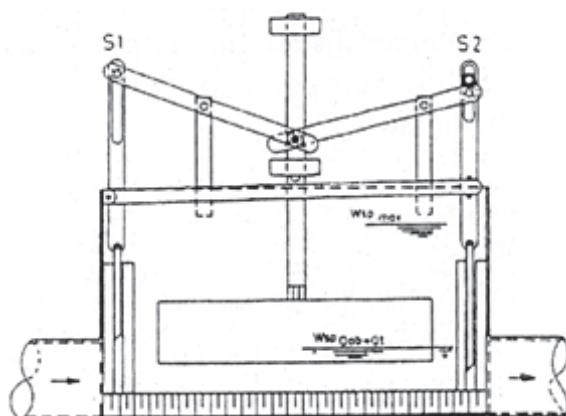
### 7.2.3 Plovákový regulátor odtoku

Regulátor je osazen v šachtě a přívodní potrubí je napojeno na odtokové potrubí z dešťové nádrže. Voda přitéká do regulátoru přes hradidlo S1 a odtéká přes hradidlo S2 (obr. 7.5 a). Hradidlo S1 škrtí přítok, aby byla výška hladiny v regulátoru konstantní. Pomocí vztlaku plovák reguluje hradidlo S2, aby nedocházelo k většímu odtoku, než je požadováno. Velikost odtoku je závislá na výšce hladiny vody v regulátoru, nikoli v nádrži, proto je odtoková křivka pro všechny dané odtoky přibližně stejná. Přesnost regulace je v maximálním intervalu  $\pm 3,5\%$ , rozsah regulovaných odtoků se podle typu regulátoru může lišit od 1 až po  $2000 \text{ L.s}^{-1}$  [24].

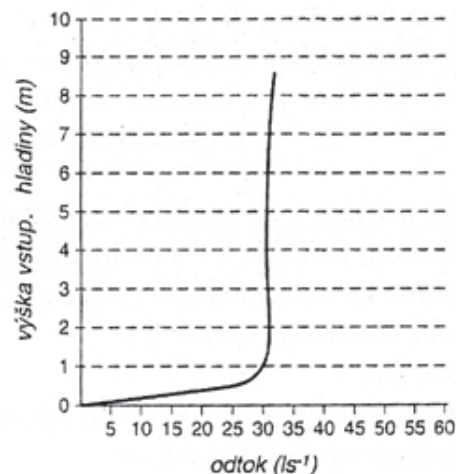
Princip činnosti:

- bezdeštný průtok protéká pod vztlakovou zónou plováku, hradidlo S1 je úplně otevřené, hradidlo S2 je nastavené na požadovaný odtok;
- během deště se plovák zvedá a soustavou pák působí na obě hradidla. Hradidlo S1 reguluje přítok a hradidlo S2 reguluje zadaný konstantní odtok z regulátoru (obr. 7.5b);
- v případě zpětného vzduť v odtokovém potrubí po horní hranu regulátoru, kdy ještě bývá tlak vody ze strany hradidla S1 větší jako vztlak ze strany S2, je stále odváděn z regulátoru zadaný odtok [24].

Jakmile dojde k ucpání hradidel nečistotami, sama se zablokují. Při ucpání přítokového hradidla S1 odteče voda z regulátoru, plovák klesne a pákou se otevře hradidlo S1 na maximum. Naopak při ucpání hradidla S2 plovák stoupá až do úplného otevření hradidla S2 [24].



a – schéma zařízení



b – hydraulická charakteristika

Obr. 7.5 Plovákový regulátor [Zdroj: 24]

### 7.2.4 Ostatní typy regulátorů odtoku

- turbo-vírový regulátor odtoku – vhodný pro všechny typy dešťových nádrží s malými a středními odtoky;
- plováková klapka – umožňuje konstantní bez nároku na energii, ovládaný plovákem podle hladiny dolní vody, vhodný pro retenční nádrže a čerpací stanice;
- hydraulicko-elektrický regulátor s vírovým regulátorem – možnost předem naprogramovaného řízení, vysoká bezpečnost;
- ventilový regulátor – vhodný pro stísněné podmínky, minimální náročnost na rozměry instalační šachty, skládá se ze škrťacího uzávěru spojeného s plovákem ve tvaru válcového pístu [24].

### 7.2.5 Škrťací trat' odtokového potrubí

Regulační účinek škrťací tratě je způsoben zmenšeným průměrem odtokového potrubí, který umožňuje neregulovaný průtok s volnou hladinou pouze maximálnímu hodinovému průtoku bezdešťových vod. Větší průtoky po dobu dešťů protékají škrťací tratí tlakovým prouděním. Cílem je takové omezení odtoku, aby během dešťových průtoků nebyl překročen limitní odtok o více než 25 % [24].

Odtokové poměry jsou ve škrťací trati ovlivněné:

- průměrem potrubí škrťací trati a hydraulickou drsností;
- přítokem a rychlostí před vtokem do škrťací trati;
- tvarem vtokového otvoru do škrťací trati;
- délkou škrťací trati;
- hydraulickými podmínkami na výtoku ze škrťací trati.
- průtokem potrubí za škrťací tratí [24].

## 7.3 ČERPACÍ STANICE

Čerpací stanice se navrhují na nádržích, kde není možné vzhledem k výškovým poměrům odvádět vody z dešťové nádrže gravitačně. Zásady navrhování čerpacích stanic stanovuje norma ČSN EN 752 *Odvodňovací systémy vně budov*. Čerpací stanice je možno navrhovat např. podle [3][19][21].

## 7.4 ZAŘÍZENÍ PRO ODSTRAŇOVÁNÍ NEČISTOT Z HLADINY

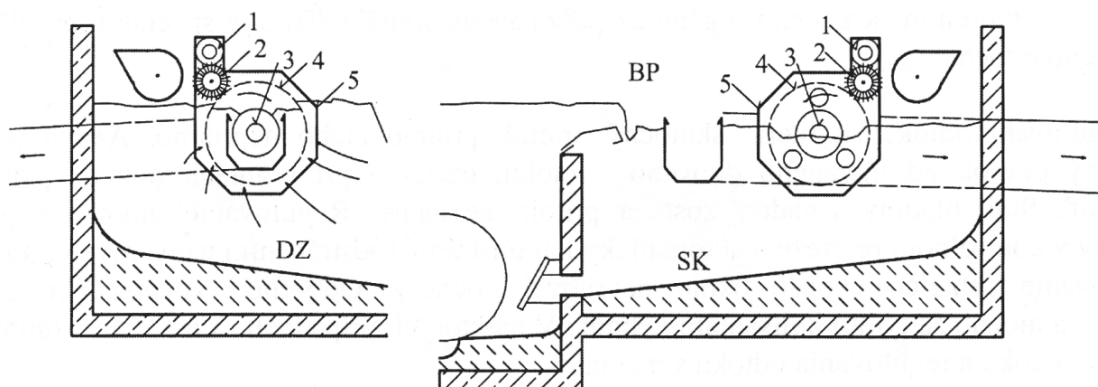
### 7.4.1 Norná stěna

Norné stěny slouží k zachycení plovoucích nečistot a ropných látek. Podle funkce se norné stěny rozlišují na:

- pevné norné stěny – jsou umístěny pevně ve stálé výšce a nečistoty zachycují až po zvýšení hladiny;
- plovoucí norné stěny radiální – pohyb norné stěny probíhá radiálně kolem osy uchycení, se stoupající hladinou je úměrně nadlehčována a díky tomu nedochází k podtékání a ani přetékání [31];
- plovoucí norné stěny vertikální – pohyb norné stěny je vertikální pomocí pojezdového mechanismu [31].

### 7.4.2 Bubnový otočný filtr

Bubnový otočný filtr je perforovaný nerezový válec, který je čištěn pomocí kartáče otáčejícího se ve směru bubnu (obr. 7.6). Je umístěn v potřebné výšce nade dnem nádrže. Se stoupající hladinou v nádrži se začíná síto zaplavovat a odpadní voda vtéká z vnějšku dovnitř síta. Když senzory vodní hladiny zaznamenají nadměrné zaplavení síta, začne se síto a kartáče otáčet. Nečistoty jsou sítem vynášeny z vody a kartáčem smeteny zpět do vody. Na opačné straně se opět síto ponoří do vody. Výhodou je velká filtrační plocha a mechanické čištění pomocí otáčejícího se kartáče [24].



Obr. 7.6 Bubnový otočný filtr [Zdroj: 24]

1 – motor pohánějící kartáč, 2 – válcový kartáč, 3 – motor pohánějící válec, 4 – válec z perforovaného nerezového plechu, 5 – koncové desky s ložiskem na uložení válce, DZ – dešťová nádrž, BP – bezpečnostní přeliv, SK – síťová komora

## 7.5 BEZPEČNOSTNÍ OBJEKT

Bezpečnostní objekt slouží pro odvedení průtoků, které není nádrž schopna pojmout nebo pokud nedojde k automatickému přerušení přítoku do naplněné nádrže. Zpravidla se jedná se o přeliv, přes který přepadá voda do odtokového žlabu a následně je odváděna do recipientu.

## 7.6 ČISTÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Během akumulace vod v dešťových nádržích dochází, zejména po dobu silného škrcení odtoku, k hromadění kalu na dně nádrže. Tento kal je nutné co nejrychleji z nádrže odvést na ČOV, skládku nebo jiným způsobem neškodně odstranit. Čištění nádrže má následovat hned po jejím vyprázdnění. Je důležité, aby se kal nezvířil a nevyplavil do recipientu nejbližším dešťovým přítokem [24]. Nádrže, které nemají řešené samočistící dno, se vybavují čistícím zařízením. Zařízení může být mechanické, hydraulické nebo kombinované. Návrh typu čistícího zařízení by měl především zohlednit typ nádrže [24].

### 7.6.1 Shrabovací zařízení

Kaluže a usazeniny jsou shrabovány pojezdovým zařízením do kalové jámky [15]. Typ shrabovacího zařízení je závislý především na tvaru nádrže. Doporučuje se navrhovat v kombinaci s hydraulickým oplachováním [24].

### 7.6.2 Vyplachovací klapka

Kaluže a usazeniny jsou po každém dešti smývány rázovou vlnou z vyplachovací klapky (obr. 7.7). Klapky jsou vyráběny z nerezové oceli, proto jsou vhodné pro venkovní provoz dešťových nádrží [15].

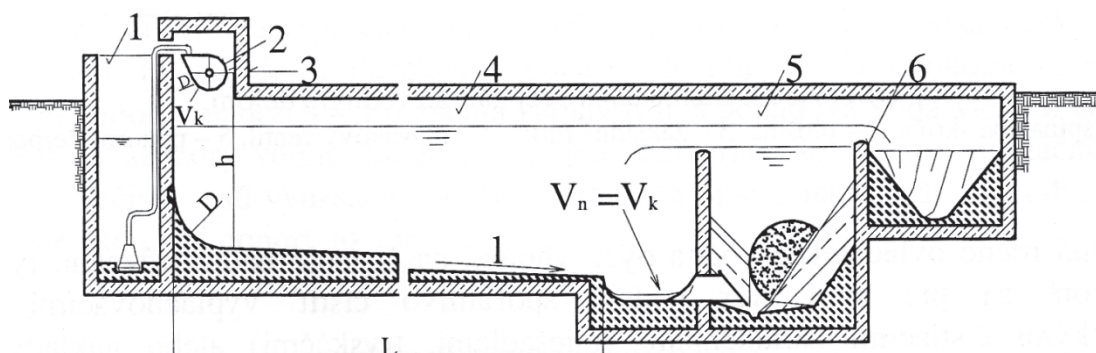
Klapky jsou na ložiscích zavěšeny excentricky a před úplným naplněním vodou dojde ke změně těžiště, následnému překlopení a vypláchnutí nádrže proudem vody [30]. Tento výplach může mít tangenciální napětí až 150 Pa [24].

Výhody čištění dešťových nádrží vyplachovací klapkou:

- malá spotřeba energie;
- účinné vypláchnutí;
- velká vyplachovací délka (až 100 m);
- velké rozpětí (až 12 m);
- lehká konstrukce z nerezové oceli bez nároků na údržbu [24].

Pro čištění dešťových nádrží vyplachovací klapkou by měla mít nádrž pravoúhlý půdorys. Široké nádrže je potřeba rozdělit na více vyplachovacích zón se sklonem dna 1 – 5 %. Klapka by měla být umístěna nad maximální hladinou nádrže tak, aby byla spádová výška co nejvyšší. Odtoková jámka by měla mít objem jako vyplachovací klapka, aby nedocházelo k odrážení od protilehlé stěny. Vyplachovací klapky dimenzuje dodavatel podle rozměrů a sklonu dna nádrže [24].

Na principu vyplachovacích klapek fungují i vyplachovací žlaby, které jsou umístěny nade dnem dešťové nádrže. Jsou opatřeny stavidlem, které se po naplnění žlabu uvolní a následný proud vody vypláchne nádrž.



Obr. 7.7 Čištění dešťové nádrže vyplachovací klapkou [Zdroj: 24]

1 – nádrž s vyplachovací vodou, 2 – vyplachovací klapka, 3 – kryt klapky, 4 – prostor vzduť, 5 – rozdělovací objekt, 6 – bezpečnostní přeliv,  $h$  – spádová výška klapky,  $V_k$  – objem vyplachovací klapky,  $V_n$  – objem odtokové jímky,  $L$  – vyplachovací délka,  $l$  – sklon dna nádrže

### 7.6.3 Tryskové čističe a ponorná míchadla

Ponorná míchadla a tryskové čističe promíchávají obsah plné nádrže. Uvolněné sedimenty po dešti odtékají na ČOV. Míchadla a čističe se zapínají při dosažení určité hladiny v nádrži. Při pokračujícím dešti nebo při krátké přestávce mezi dešti může dojít k přepadání znečištěného obsahu nádrže přes čistící přeliv přímo do toku. Tok je nárazově zatížen a dešťová nádrž ztrácí svou ochrannou funkci. Vzhledem k tomu, že takový průběh deště je reálný, doporučuje se například v Německu používat trysková a ponorná míchadla pouze na záchytných nádržích. [15].

Podle konstrukce můžeme rozdělovat:

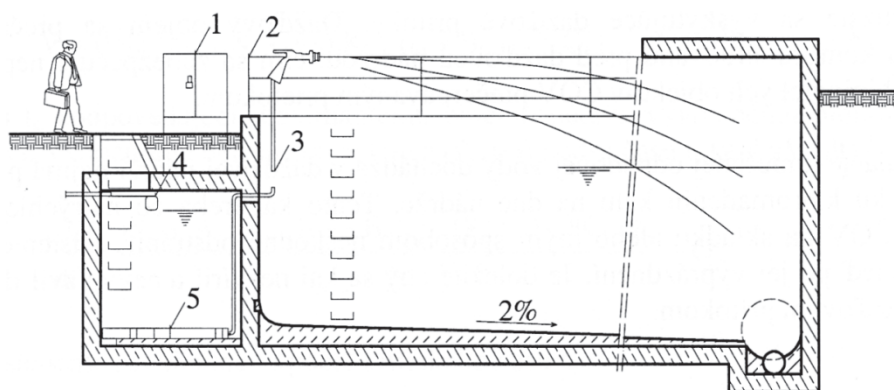
- pevná míchadla;
- pohyblivá míchadla;
- stabilní tryskové čističe;
- pohyblivé tryskové čističe [24].

### 7.6.4 Vyplachovací vodní dělo

Jedná se o ručně ovladatelnou vodní trysku (obr. 7.8) vhodnou k čištění nádrží různého typu, zejména takových, které se kvůli svému tvaru nedají čistit vyplachovacími klapkami a automatickými čistícími zařízeními [24].

Výhody čištění vyplachovacím dělem:

- může se osadit tam, kde automatické zařízení není dostatečně účinné;
- jednoduchá obsluha;
- velký dosah proudu;
- možnost regulace trysky pro tenký proud s ostrým a dlouhým dosahem nebo provzdušněný s malým dosahem;
- není potřeba natahovat hadice, možnost okamžitého provozu [24].



**Obr. 7.8 Čištění dešťové nádrže vodním dělem [Zdroj: 24]**

1 – spínací skříň, 2 – plošina, 3 – přívodní potrubí, 4 – plovákový ventil, 5 – ponorné čerpadlo

## 8 Vliv dešťových nádrží na čistírny odpadních vod

Dešťové nádrže jsou konstruovány tak, aby odvodňovací systém zachytil 70 – 80 % celoročního objemu průtoku dešťových vod, které přitékají na čistírnu odpadních vod. Čistírna je tak po delší dobu zatížena na maximální hydraulický výkon. V bezdeštném období bývá čistírna zatížena zvýšeným průtokem během dne maximálně 1 – 2 hodiny. Během dešťových dní se toto maximální zatížení zvětší na hodnotu podstatně vyšší [15].

Kromě hydraulického zatížení naroste i zatížení látkové. Na ČOV se přivedou také odpadní vody, které se do této doby vypouštěly pomocí oddělovacích komor do recipientu. Existuje tvrzení, že se do recipientu dostane stejně velké znečištění, jaké je obsaženo ve vyčištěných odpadních vodách z příslušného území. Jestliže předpokládáme účinnost ČOV na 90 %, tak se do toku dostane 10 % z ČOV a 10 % z odlehčení. Odlehčení z komor je možné pomocí dešťových nádrží zachytit na 70 – 80 % a postupně vyčistit, což představuje 8 % zvýšení zatížení čistírny odpadních vod [15].

Při čištění dešťových vod se poukazuje na zhoršení efektu ve specifickém zbytkovém BSK o 30 %. Průměr vypočítaný z maximálních hodnot není tak dobrý, neboť přechodné znečištění může dosáhnout 100 – 150 %. Obdobně se zhoršují i ukazatele v NL. V celodenním průměru ovšem k tak vysokému vzrůstu zbytkového znečištění nedochází [15].

Čistírny, které jsou dnes dimenzovány podle uznávaných zásad zatížení kalu v aktivační nádrži a v zatížení dosazovacích nádrží, zvládnou bez dalších rezerv zatížení dešťovými vodami. Také u kalového hospodářství se musí počítat s určitým přírůstkem zatížení, jehož velikost je třeba odhadnout, dokud nebudou k dispozici údaje získané měřeními [15].

## **9 PODMÍNKY NÁVRHU DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ**

### **9.1 VZTAH DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ K PRŮTOČNÝM POMĚRŮM VE STOKOVÉ SÍTI A RECIPIENTU**

Záchytné dešťové nádrže se doporučuje navrhovat za situace, pokud je doba dotoku stokovou sítí kratší než 15 minut a nad nádrží dochází k maximálně jednomu odlehčení stokové sítě. Pokud je doba dotoku stokovou sítí delší jak 15 minut, doporučuje se navrhovat průtočnou dešťovou nádrž. Při době dotoku stokovou sítí delší jak 45 min je potřeba dešťovou nádrž navrhovat individuálně, podle požadovaného účelu. Doporučuje se členit stokovou síť s dešťovými nádržemi a dílčí povodí s kratšími dobami dotoku. Nesmí docházet k zaplavování dešťové nádrže vodou z vodního recipientu [9].

### **9.2 VYPRAZDŇOVÁNÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ**

K vyprázdnění dešťové nádrže by mělo dojít do 8 hodin po skončení odtoku dešťových vod z jednoho deště v příslušném povodí. Vypouštěcí potrubí dešťových nádrží umístěných ve vedlejším směru na jednotné stokové soustavě má být zaústěno do stoky před ovládaným odtokem do ČOV [9].

Odtok z dešťových nádrží v hlavním směru a odtok z odlehčovací komory směrem k ČOV při dešťové nádrži ve vedlejším směru se musí řešit tak, aby nebyl překročen stanovený maximální odtok směrem k ČOV. Proto by tyto odtoky měli být regulovatelné, např. škrtícím úsekem, vírovým regulátorem či automaticky ovládaným uzávěrem [9].

Dešťové nádrže na dešťové stoce oddílné stokové soustavy mohou být po skončení deště provozovány jako usazovací nádrže s dobou sedimentace přibližně 2 hodiny. Po této době je možno vyčištěnou vodu vypustit otvory postupného vypouštění. Zadržovaný zbytek vody v dešťové nádrži má být do 4 hodin po skončení vypouštění v závislosti na výškovém uspořádání gravitačně vyprázdněn nebo vyčerpán, např. do splaškové stoky oddílné stokové soustavy nebo do zahušťovací nádrže, z níž se zachycený sediment odstraňuje jako odpad (řídí se příslušnými právními předpisy) [9].

## 10 DIMENZOVÁNÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ

Cílem dimenzování dešťových nádrží je výpočet jejich objemu, který je potřebný pro zachycení prvního splachu, transformaci dešťové vlny apod. Objemy dešťových nádrží se navrhuje racionálními metodami výpočtu nebo simulačními modely [9].

### 10.1 RACIONÁLNÍ METODY DIMENZOVÁNÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ

Výpočet objemů dešťových nádrží pomocí racionálních metod je založen na zjednodušených poloempirických vztazích s omezenou přesností. Lze je tedy použít u jednoduchých stokových sítí [9]. Za nejlépe zpracovaný racionální způsob návrhu dešťových nádrží je možné považovat postup podle *ATV-A 128 Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen*. Tato metodika je využívána v řadě zemí, ve zjednodušenější podobě také u nás v ČSN 75 6261 *Dešťové nádrže* [15].

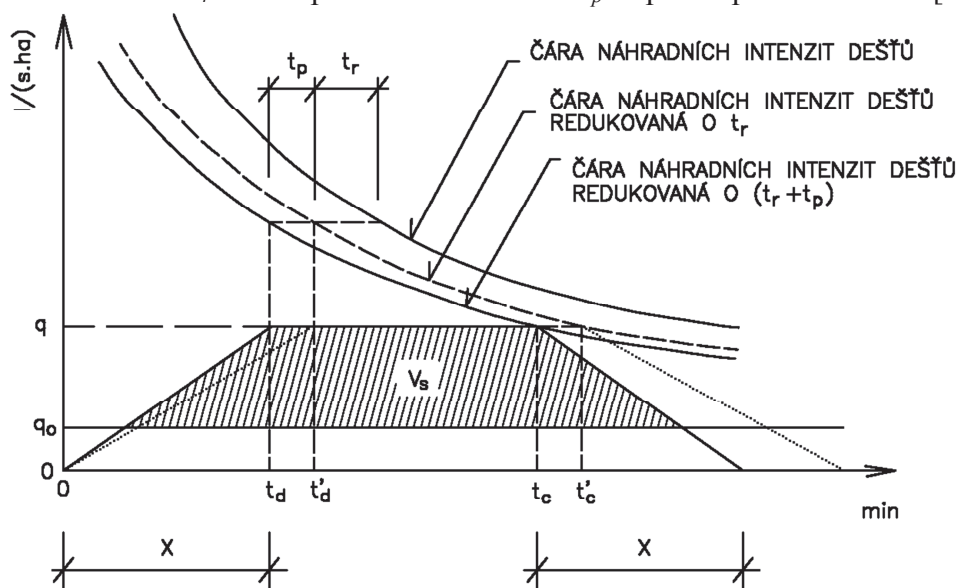
Podle uvedených metod výpočtů dešťových nádrží jsem zpracoval v tabulkovém procesoru *Microsoft Excel* program na výpočet dešťových nádrží.

#### 10.1.1 Dimenzování dešťových nádrží podle ČSN 75 6261 *Dešťové nádrže*

##### *Dimenzování retenčních dešťových nádrží*

V ČSN 75 6261 *Dešťové nádrže* jsou označovány jako retenční dešťové nádrže.

Objem retenční dešťové nádrže  $V$  [m<sup>3</sup>] lze stanovit numerickou integrací z hodnot redukované čáry náhradních intenzit dešťů (obr. 10.1), kde  $V_s$  označuje proměnnou plochu ohraničenou hydrogramem přítoku a odtoku, a současně vyjadřuje specifický objem retenční dešťové nádrže na jednotku plochy povodí pro zvolenou dobu trvání deště  $t_c$ . Znázorněná doba povrchové retence  $t_r$  a doba povrchového odtoku  $t_p$  se počítá podle Bartoška [9].



Obr.10.1 Stanovení objemu retenční dešťové nádrže z hodnot redukované čáry náhradních intenzit dešťů  
[Zdroj: 9]

Za hydrogram přítoku je zde dosazen lichoběžníkový obrazec u kterého do doby  $t_d$  (resp.  $t_d = t_d + t_p$ ) přítok narůstá až do hodnoty  $q$ , do doby  $t_c$  (resp.  $t_c = t_c + t_p$ ) je přítok konstantní a potom opět klesá. Délkou  $x$  je označena stejná vzestupná a sestupná část lichoběžníkového obrazce. Za hydrogram odtoku je dosazen lichoběžníkový obrazec ohraničený specifickým odtokem  $q_o$  [9].

Pro výpočet dob redukované čáry náhradních dešťových intenzit se použijí vzorce podle Bartoška [8]. Zkrácená doba působení deště na povodí stokové sítě  $t_z$  se pak vypočítá s ohledem na povrchovou retenci a na dobu povrchového odtoku podle vztahu:

$$t_z = t - (t_r + t_p) \quad [\text{min}] \quad (10.1)$$

kde  $t$  skutečná doba trvání deště [min];

$t_r$  doba povrchové retence stanovená podle vzorce:

$$t_r = \frac{r \cdot t}{\psi \cdot h} \quad [\text{min}] \quad (10.2)$$

kde  $r$  povrchová retence, vyjádřená fiktivní mezerovitostí, uvažovaná pro:

- a) propustné území hodnotou  $r = 3$  mm;
- b) středně propustné území hodnotou  $r = 2$  mm;
- c) málo propustné území hodnotou  $r = 1$  mm;

$\psi$  bezrozměrný součinitel odtoku uvažovaný pro:

- a) propustné a rovinné území hodnotou  $\psi = 0,5$  (při propustném území se volí i menší, např.  $\psi = 0,35$ );
- b) ostatní případy hodnotou  $\psi = 0,75$ ;

$h$  celkové dešťové srážky za dobu trvání deště [mm v. sl.];

$t_p$  doba povrchového odtoku, určená podle vzorce:

$$t_p = \frac{l}{60 \cdot v} \quad [\text{min}] \quad (10.3)$$

kde  $l$  vzdálenost nejodlehlejšího bodu odvodňované plochy (doporučuje se  $l = 50$  m);

$v$  rychlost povrchového odtoku (doporučuje se  $v = 0,25$  m.s<sup>-1</sup>).

Specifický objem detenční dešťové nádrže  $V_s$  uváděný v [9] se vypočte podle vzorce:

$$V_s = 0,06 \cdot q_c \cdot t_c - 0,06 \cdot \left[ t_c + t_d \left( 1 - \frac{q_o}{q_c} \right) \right] \quad [\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}] \quad (10.4)$$

kde  $q_c$  intenzita deště po dobu  $t_c$  odečtená na redukované čáře náhradních intenzit dešťů v [l.(s.ha)<sup>-1</sup>];

$t_c$  doba trvání deště [min];

$t_d$  doba dotoku vody stokovou sítí (doporučuje se zaměnit  $t_d$  hodnotou  $t'_d = t_d + t_p$  a současně hodnoty  $q_c$  přiřadit dobám  $t_c$  z čáry náhradních intenzit dešťů redukovaných jen o hodnotu  $t_p$ ) [min];

$t_p$  doba povrchového odtoku podle Bartoška uvedená v rovnici 10.3 [min];

$q_o$  specifický odtok z dešťové nádrže do ČOV po dobu trvání deště který se vypočte podle vzorce:

$$q_o = \frac{Q_o}{S_r} \quad [\text{l} \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}] \quad (10.5)$$

kde  $Q_o$  odtok z dešťové nádrže do ČOV po dobu trvání deště [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ];

$S_r$  redukována plocha povodí, která se vypočte podle vzorce:

$$S_r = S \cdot \psi \quad [\text{ha}] \quad (10.6)$$

kde  $S$  neredukovaná plocha povodí [ha];

$\psi$  součinitel odtoku, stanovený jako vážený průměr z jednotlivých dílčích povodí. Doporučené hodnoty součinitele  $\psi$  pro výpočet odtoku jsou uvedeny v [8].

Celkový objem retenční nádrže podle [9] se vypočte podle vzorce:

$$V = V_s \cdot S_r \quad [\text{m}^3] \quad (10.7)$$

Po dosazení  $V_s$ ,  $q_o$  se hodnota  $V$  vypočte podle vzorce:

$$V = 0,06 \cdot S_r \cdot q_c \cdot t_c - 0,06 \cdot Q_o \cdot \left[ t_c + t_d \left( 1 - \frac{Q_o}{S_r \cdot q_c} \right) \right] \quad [\text{m}^3] \quad (10.8)$$

V tabelárním výpočtu se pro různé hodnoty  $t_c$  a  $q_c$  hledá maximální hodnota objemu  $V$ .

Přibližný objem retenční dešťové nádrže  $V$  uváděný v [9] je možné vypočítat podle vzorce:

$$V = 0,06 \cdot (q_c \cdot S_r - Q_o) \cdot t_c \quad [\text{m}^3] \quad (10.9)$$

kde hodnoty  $q_c$ ,  $S_r$ ,  $Q_o$  a  $t_c$  jsou uvedeny výše.

Pro různé hodnoty  $t_c$  a  $q_c$  se v tabelárním výpočtu hledá maximální hodnota objemu  $V$ .

Objem retenční dešťové nádrže navrhovaný racionální metodou se počítá se stejnou periodicitou jako související stoková síť. Použití menší periodicity se doporučuje pouze tehdy, pokud je třeba odkanalizované území mimořádně chránit nebo pokud není možné nádrž opatřit bezpečnostním přelivem [9].

### ***Dimenzování záchytných a průtočných dešťových nádrží***

Objem záchytné a průtočné dešťové nádrže  $V$  se podle [9] vypočte podle vzorce:

$$V = \gamma \cdot V_s \cdot S_r \quad [\text{m}^3] \quad (10.10)$$

kde  $V_s$  specifický objem záchytné a průtočné dešťové nádrže [ $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ]. Určí se podle obr. 10.2 jako funkce hodnot  $q_m$  a  $q_o$ . V případě dešťových stok oddílné soustavy se  $V_v$  určí pro hodnotu  $q_o = 0$ ;

$\gamma$  bezrozměrný opravný součinitel, který se určí podle hodnoty  $t_d$  z tab. 10.1;

$q_m$  intenzita mezního deště, lze stanovit zjednodušeným výpočtem uváděným v [11] podle empirického deště ze vzorce:

$$q_m = 4,324 \cdot \ln \alpha + 12 \quad [l.(s.ha)^{-1}] \quad (10.11)$$

kde  $\alpha$  bezrozměrná veličina, která se vypočte podle vzorce:

$$\alpha = \frac{Q_d \cdot K^x}{K_r \cdot Q_{270}} \quad [-] \quad (10.12)$$

kde  $Q_d$  maximální (návrhový) přítok dešťových vod ze stokové sítě stanovený jako součin redukované plochy povodí  $S_r$  a intenzity kritického deště pro dimenzování stoky v průtočném profilu před odlehčením;

$K$  součinitel, zahrnující vliv splaškových vody, který se pro jednotnou stokovou soustavu vypočte podle vzorce:

$$K = \frac{N}{100 \cdot S} \quad [-] \quad (10.13)$$

kde  $N$  počet obyvatel v povodí, pro samostatné povodí oddílné stokové soustavy se uvažuje  $K = 3$ , pro povodí průmyslových závodů podle míry znečištění se uvažuje  $K = 1$  nebo vyšší;

$x$  exponent závislý na hustotě obyvatel:

- a) pro hustotu obyvatel  $\geq 100 \text{ ob.ha}^{-1}$  je  $x = 1$ ,
- b) pro hustotu obyvatel  $< 10 \text{ ob.ha}^{-1}$  může dosáhnout až hodnoty  $x = 3$ ;

$K_r$  součinitel zohledňující jakost vody ve vodním toku, přičemž pro zpřísněnou jakost vody ve vodním toku se uvažuje  $K_r = 1$ , pro nejnižší stupeň ochrany jakosti vody ve vodním toku se uvažuje  $K_r = 1,5$ ;

$Q_{270}$  průtok vody ve vodním recipientu překročení během 270 dní v roce;

$S$  neredukovaná plocha povodí [ha];

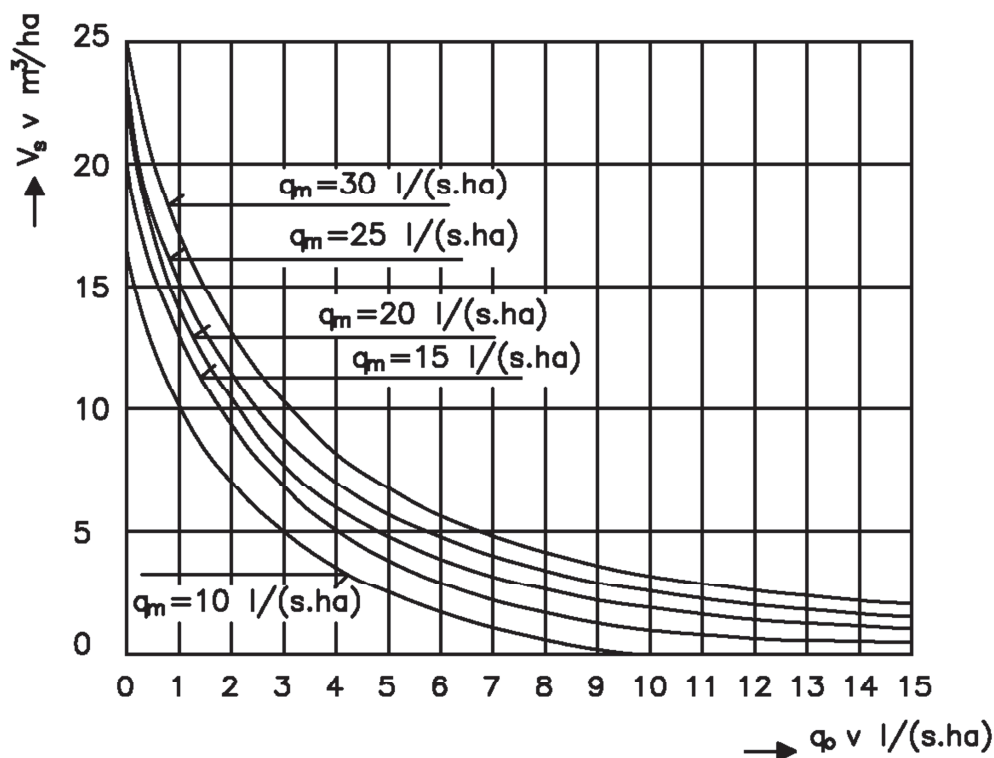
$S_r$  redukovaná plocha povodí vypočítaná podle vzorce 10.6 [ha];

$q_o$  specifický odtok z dešťové nádrže do ČOV po dobu trvání deště vypočítaný podle vzorce 10.5 [ $l.(s.ha)^{-1}$ ];

$t_d$  doba dotoku vody stokovou sítí [min].

**Tab. 10.1 Opravné součinitele  $\gamma$  [Zdroj: 9]**

| $t_d$ v min | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | > 30 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\gamma$    | 1,05 | 1,25 | 1,48 | 1,63 | 1,74 | 1,82 | 1,92 |



Obr. 10.2 Dimenzování záchytných a průtočných dešťových nádrží [Zdroj: 9]

Objemy záchytných dešťových nádrží zapojených za sebou se určí pro  $q_o = 0$  a zvětší o hodnotu  $5 \text{ m}^3$  na každý redukovaný hektar odvodňovaného povodí [9].

Tvar průtočných dešťových nádrží se navrhuje podle zásad daných hydraulickými podmínkami usazovacích nádrží v ČOV [9].

Prostor v přívodní stoe, zahlcený případným zpětným vzduutím, se od vypočítaného objemu nádrže neodečítá [9].

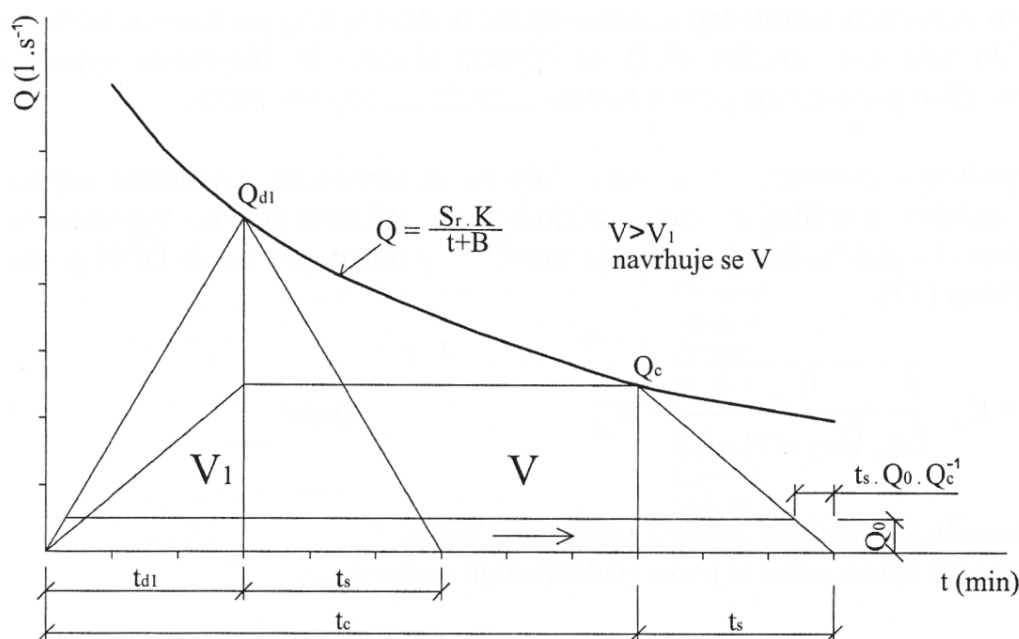
### ***Dimenzování usazovacích dešťových nádrží***

Usazovací dešťové nádrže se navrhuji podle zásad daných hydraulickými podmínkami sedimentace. Na stokové síti se dimenzují s ohledem na fyzikální parametry nerozpuštěných látek a jejich objemovou koncentraci, požadovanou dobu zdržení a na požadovanou hodnotu povrchového zatížení. Návrh se řídí navrhováním usazovacích nádrží podle ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel [9].

### 10.1.2 Dimenzování dešťových nádrží podle zahraničních postupů

V rámci rekonstrukce stávajícího stokového systému se při návrhu dešťových nádrží používají ve výpočtu srážkoodtokové modely s dlouhodobou simulací odtoku. Pro výpočet objemu dešťových nádrží na malých povodích by bylo použití srážkoodtokového modelu nákladné a i technicky náročné, proto se používají grafické, nebo jednoduché modifikované racionální metody s aplikací blokových dešťů s určitou periodicitou. Nevýhodou je, že periodicitu blokových dešťů se vztahuje k dešťovým průtokům používaným na dimenzování stokových profilů a ne na objem blokových dešťů. Proto při aplikaci blokových dešťů na výpočet objemu dešťových nádrží volí periodicitu blokových dešťů s větší bezpečností (např.  $p = 0,2$  nebo  $p = 0,1$  pro otevřené nádrže) na rozdíl od návrhu stokových sítí. Další nevýhodou je, že blokové deště uvádějí nejintenzivnější část reálných dešťů a nezahrnují předcházející a závěrečnou fázi reálného deště. Tato nevýhoda se projevuje při výpočtu objemu dešťové nádrže s použitím blokových dešťů s trváním kratším jak 30 minut, proto se používají blokové deště s delším trváním, které mají více či méně zakomponovanou i začáteční a koncovou fázi. Z uvedených důvodů se při výpočtu dešťových nádrží zanedbává doba povrchového dotoku a uvažuje se pouze s časem dotoku ve stokové síti. Pro bezpečnost návrhu se do výpočtu zavádí součinitel zvětšení objemu nádrže  $f_z = 1,1$  až  $1,2$  [24]. Tyto postupy jsou uvedeny v [1][16][24][34][35].

#### *Dimenzování detenčních dešťových nádrží*



Obr. 10.3 Aplikace křivky vydatností blokových dešťů na výpočet detenčních objemů [Zdroj: 24]

Při aplikaci blokových dešťů ve výpočtu objemu retenčních dešťových nádrží uváděných v [24] se používá rovnice odvozená ze schematizovaného lichoběžníkového hydrogramu dešťového odtoku (obr. 10.3):

$$V = 0,06 \cdot [Q_c \cdot t_c - Q_o \cdot (t_c + t_s - t_s \cdot Q_o \cdot Q_c^{-1})] \cdot f_z \quad [\text{m}^3] \quad (10.14)$$

kde  $Q_o$  je odtok z nádrže [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ];

$t_s$  čas dotoku ve stokové síti [min];

$f_z$  součinitel zvětšení nádrže zohledňující riziko poddimenzování, uvažovaný:

a) pro značné riziko poddimenzování  $f_z = 1,1$ ;

b) pro malé riziko poddimenzování  $f_z = 1,2$ ;

c) pro průměrné podmínky  $f_z = 1,15$ ;

$t_c$  kritická doba trvání blokového deště vypočítaná podle rovnice:

$$t_c = K_{(p)} \sqrt{\frac{B_{(p)}}{q_{dr} \cdot (K_{(p)} - q_{dr} \cdot t_s)}} - B_{(p)} \quad [\text{min}] \quad (10.15)$$

kde  $q_{dr}$  je specifický dešťový odtok z nádrže vypočítaný podle rovnice 10.5 [ $\text{l} \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ ];

$K_{(p)}, B_{(p)}$  lokální parametry vypočítané podle rovnic 10.18 a 10.19;

$Q_c$  dešťový přítok lichoběžníkového hydrogramu (obr. 10.3) se vypočítá podle rovnice:

$$Q_c = S_r \cdot q_c \quad [\text{l} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10.16)$$

kde  $S_r$  je redukovaná plocha povodí vypočítaná podle rovnice 10.6 [ha];

$q_c$  vydatnost blokového deště s dobou trvání  $t_c$  vypočítaná podle rovnice:

$$q_c = K_{(p)} \cdot (t_c + B_{(p)})^{-1} \quad [\text{l} \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}] \quad (10.17)$$

kde  $K_{(p)}, B_{(p)}$  jsou lokální parametry závislé na periodicitě  $p$  blokových dešťů podle [23] stanovené na základě době trvání blokových dešťů  $t$  a příslušných hodnot vydatností  $q$  podle údajů Hydrometeorologického ústavu pro určitou periodicitu  $p$ . Stanoví se pomocí matematické dvoubodové metody s dvěma rovnicemi:

$$B_{(p)} = (q_2 \cdot t_2 - q_1 \cdot t_1) \cdot (q_1 - q_2)^{-1} \quad [\text{min}] \quad (10.18)$$

$$K_{(p)} = q_1 \cdot (t_1 + B_{(p)}) \quad [\text{l} \cdot \text{min} \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}] \quad (10.19)$$

kde  $q_1, q_2$  jsou vydatnosti blokových dešťů o periodicitě  $p$  [ $\text{l} \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ ];

$t_1, t_2$  délka trvání blokových dešťů o periodicitě  $p$  [min].

Při aplikaci dvojbodové metody podle [23] je potřeba zvolit dvě hodnoty trvání blokových dešťů  $t_1$  a  $t_2$  z řady numericky zadaných vydatností  $q$  blokových dešťů s co nejmenším časovým rozdílem  $\langle t_1, t_2 \rangle$  a při zachování podmínky  $t_1 < t_c < t_2$ . Aplikování dvojbodové metody je možné, pokud se uvažuje s hodnotami trvání náhradních dešťů do 120 minut. V ostatních případech se parametry  $K_{(p)}$ ,  $B_{(p)}$  stanoví metodou nejmenších čtverců pomocí vztahů:

$$B_{(p)} = \frac{\sum_1^k q \cdot t \cdot \sum_1^k q - k \cdot \sum_1^k q^2 \cdot t}{k \cdot \sum_1^k q - (\sum_1^k q)^2} \quad [\text{min}] \quad (10.20)$$

$$K_{(p)} = \frac{\sum_1^k q \cdot t \cdot \sum_1^k q^2 - \sum_1^k q^2 \cdot t \cdot \sum_1^k q}{k \cdot \sum_1^k q^2 - (\sum_1^k q)^2} \quad [\text{l.min.}(\text{s.ha})^{-1}] \quad (10.21)$$

Jinou možností pro výpočet objemu retenční dešťové nádrže poskytuje zjednodušený tvar rovnice 10.14 uváděný v [24], který zanedbává čas dotoku  $t_s$  a poslední dva členy v závorce:

$$V = 0,06 \cdot t_c \cdot (Q_c - Q_o) \cdot f_z \quad [\text{m}^3] \quad (10.22)$$

kde  $t_c$  je kritická doba trvání blokového deště v min vypočítaná podle rovnice:

$$t_c = \sqrt{\frac{S_r \cdot K_{(p)} \cdot B_{(p)}}{Q_o}} - B_{(p)} \quad [\text{min}] \quad (10.23)$$

Zanedbání dotokového času  $t_s$  má za následek větší vypočítané objemy jak podle rovnice 10.14.

Objem retenční dešťové nádrže je možné podle [24] vypočítat také podle rovnice [24]:

$$V = 0,06 \cdot Q_n \cdot t_s \cdot F \quad [\text{m}^3] \quad (10.24)$$

kde  $Q_n$  je návrhový přítok dešťových vod do nádrže z redukované plochy povodí nádrže vypočítaný podle rovnice:

$$Q_n = S_r \cdot K_{(p)} \cdot (t_s + B_{(p)})^{-1} \quad [\text{m}^3] \quad (10.25)$$

kde  $K_{(p)}$ ,  $B_{(p)}$  lokální parametry vypočítané podle rovnic 10.18 a 10.19;

$t_s$  čas dotoku ve stokové síti [min];

$F$  je bezrozměrný parametr vyjadřující maximální poměr retenčního objemu a objemu schematizovaného trojúhelníkového hydrogramu se základnou  $2 \cdot t_s$ .

Podle Molokova [24] se parametr  $F$  vypočítá pomocí rovnice:

$$F = (1 - \alpha)^{1,5} \quad [-] \quad (10.26)$$

kde  $\alpha$  součinitel akumulace, stanoví se pomocí vztahu:

$$\alpha = Q_o \cdot Q_n^{-1} \quad [-] \quad (10.27)$$

Podle Urcikána [24] se parametr  $F$  vypočítá podle rovnice:

$$F = \{z \cdot (1 + \alpha) - \alpha + 1 - [4 \cdot \alpha \cdot z \cdot (1 + z - \alpha)]^{0,5}\} \cdot f_z \quad [\text{m}^3] \quad (10.28)$$

kde  $z$  bezrozměrný parametr vypočítaný podle rovnice [24]:

$$z = B_{(p)} \cdot t_s^{-1} \quad [-] \quad (10.29)$$

Podle G. Annena-D. Londonga a R. Pechera [24] se objem retenčních dešťových nádrží vypočítá podle rovnice:

$$V = 0,001 \cdot Q_{15(p)} \cdot R \quad [-] \quad (10.30)$$

kde  $Q_{15(p)}$  je patnáctiminutový průtok dešťových vod z povodí v lokalitě L pro zadanou periodicitu vypočítaný podle rovnice:

$$Q_{15(p)} = K_{(p)} \cdot (15 + B_{(p)})^{-1} \cdot S_r \quad [\text{l} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10.31)$$

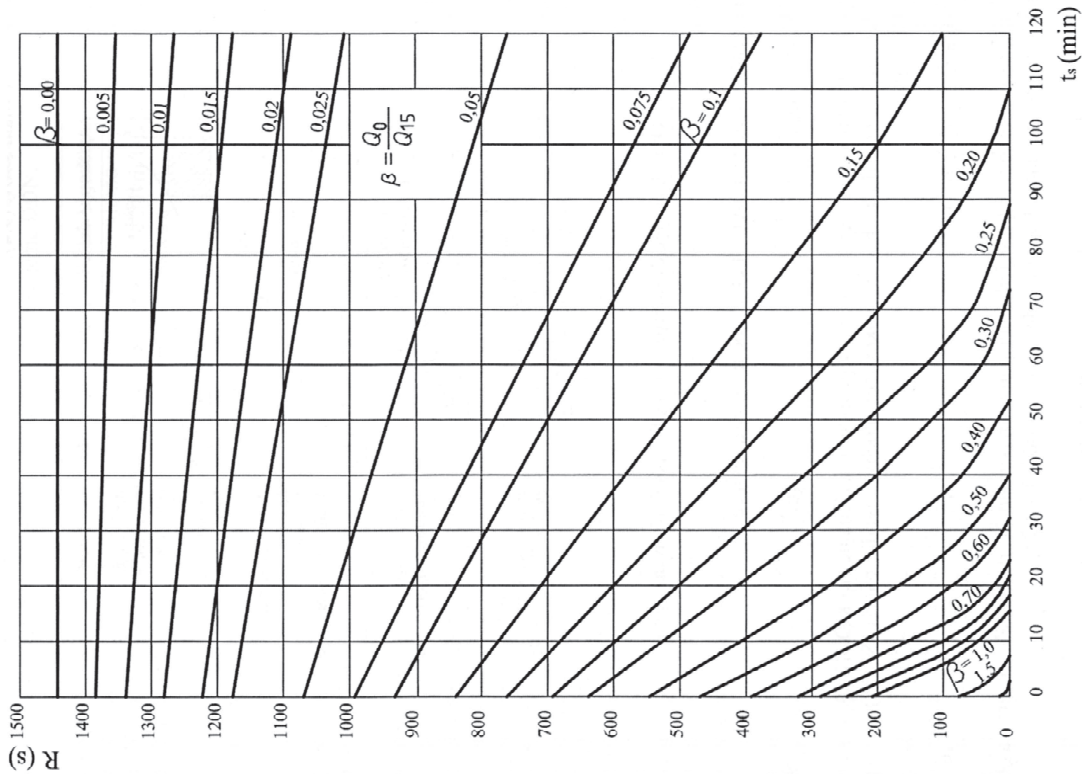
kde  $K_{(p)}, B_{(p)}$  lokální parametry vypočítané podle rovnic 10.18 a 10.19;

$S_r$  je redukovaná plocha povodí vypočítaná podle rovnice 10.6 [ha];

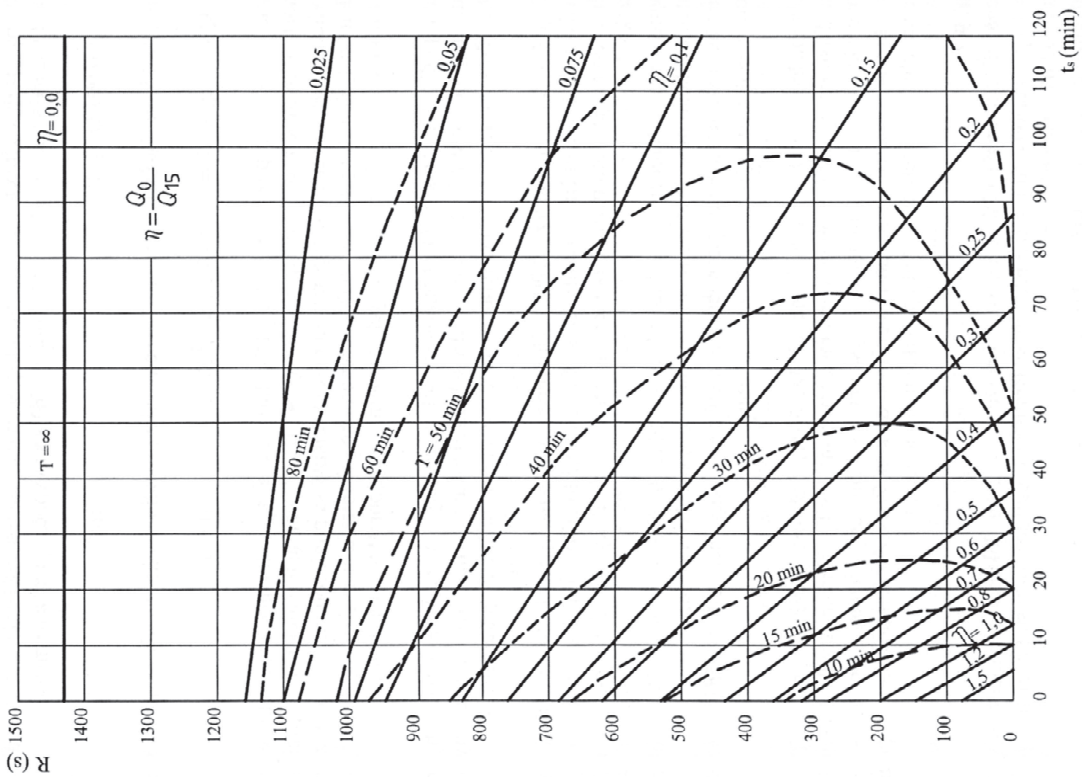
$R$  parametr stanovený pomocí diagramů (obr. 10.4 a 10.5) v závislosti na času dotoku z povodí  $t_s$  [min] a proměnného součinitele  $\eta = \beta = Q_o \cdot Q_{15(p)}^{-1}$ .

Diagram podle G. Annena-D. Londonga byl odvozený na základě křivek hydrogramů přítoku, diagram podle R. Pechera podle schematizovaného lichoběžníkového diagramu [24].

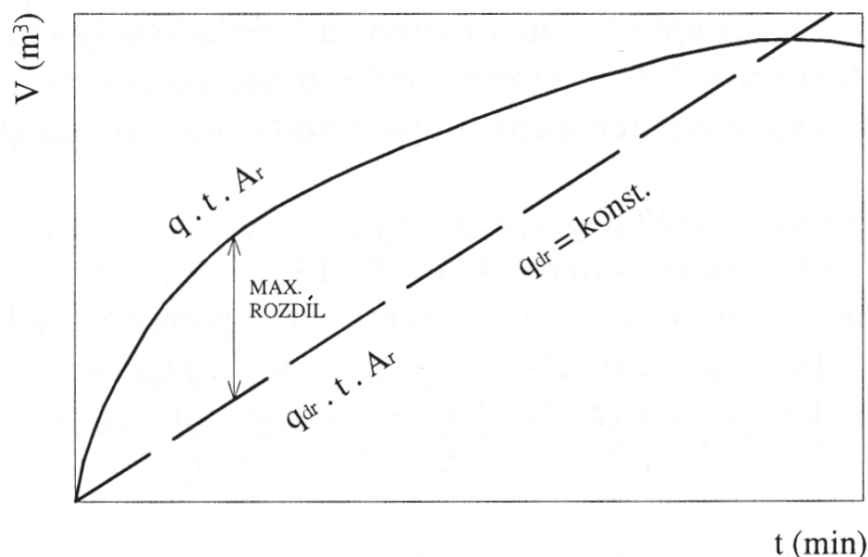
Pokud není odtok  $Q_o$  z nádrže řízený, mění se v závislosti na výšce hladiny vody v nádrži. Při maximální hladině bude odtok  $Q_{omax}$ . V rovnicích 10.14, 10.22 a 10.27 můžeme podle [24] počítat s  $Q_o = 0,5 \cdot Q_{omax}$ .



Obr. 10.4 Dimenzování detenčních dešťových nádrží podle R. Pechera  
[Zdroj: 24]



Obr. 10.5 Dimenzování detenčních dešťových nádrží  
podle G. Annena-D. Londonga [Zdroj: 24]



**Obr. 10.6 Schéma stanovení objemu retenční dešťové nádrže [Zdroj: 24]**

Podle schématu na obr. 10.6 je možné stanovit objem retenční dešťové nádrže podle [24] pomocí rovnice na výpočet specifického objemu retenční dešťové nádrže  $v$ . Objem nádrže se potom vypočítá podle rovnice:

$$V = v \cdot S_r \quad [\text{m}^3] \quad (10.32)$$

kde  $v$  specifický objem vypočítaný podle rovnice:

$$v = 0,06 \cdot (q - q_{dr}) \cdot t \cdot f_z \cdot f_A \quad [\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}] \quad (10.33)$$

kde  $q$  je vydatnost blokového deště o dané periodicitě  $p$  [ $\text{l} \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ ];

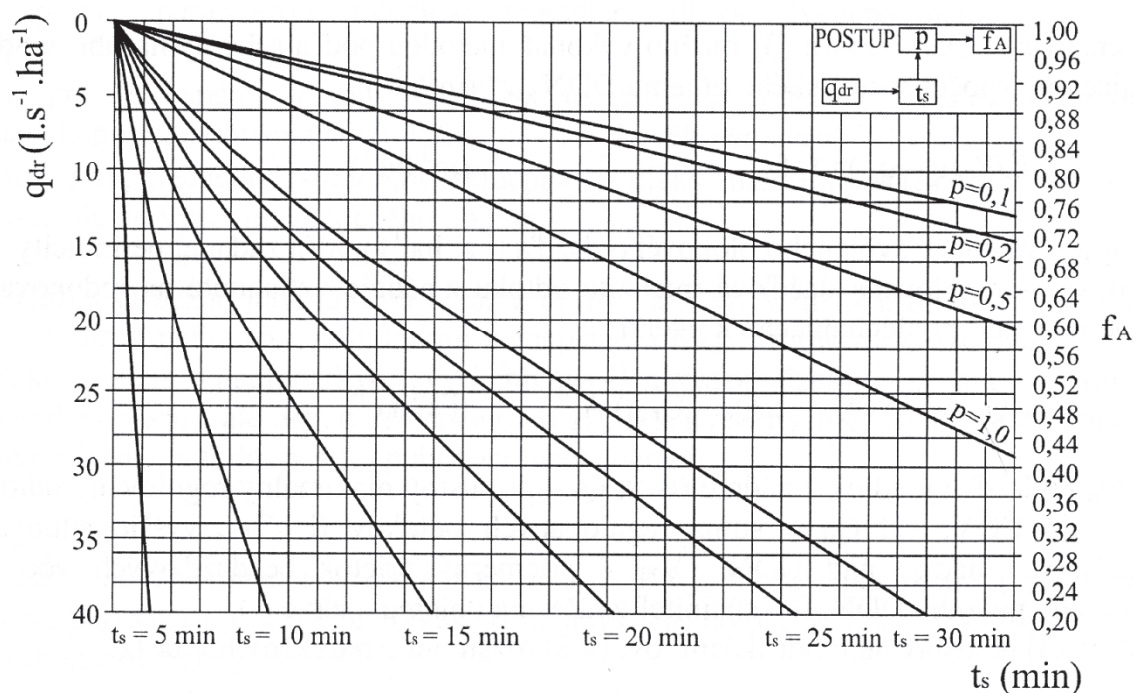
$t$  doba trvání blokového deště o dané periodicitě  $p$  [min];

$q_{dr}$  je specifický dešťový odtok z nádrže vypočítaný podle rovnice 10.5 [ $\text{l} \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ ];

$f_z$  součinitel zvětšení uváděný v rovnici 10.14;

$f_A$  redukční faktor, který vyjadřuje zplošťování hydrogramu průtoku způsobené koncentrací odtoku a translací dešťových vln ve stokách. Stanoví se pomocí diagramu na obr. 10.7.

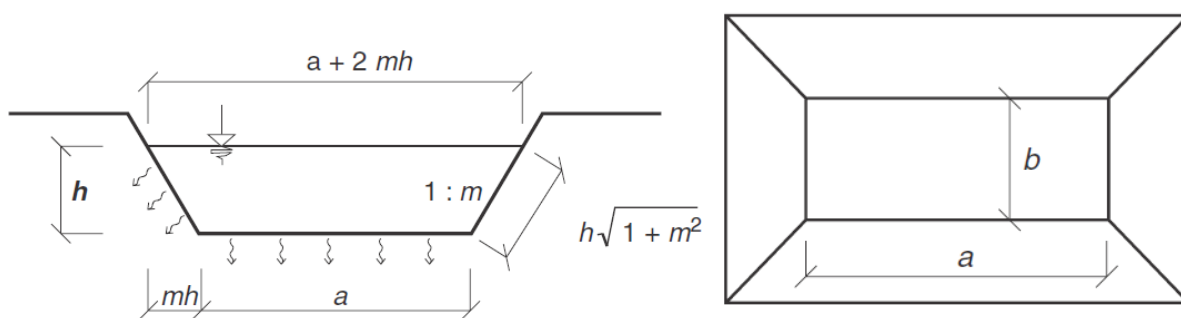
Vlastní výpočet se vykoná postupným aplikováním vydatností zadaných blokových dešťů, dokud se nevypočítá maximální hodnota specifického objemu nádrže  $v$  [24].



Obr. 10.7 Diagram na stanovení redukčního faktoru  $f_A$  [Zdroj: 24]

### Dimenzování retenčních dešťových nádrží

Při dimenzování retenčních vsakovacích dešťových podle [24] je nejdříve nutné zvolit předpokládané rozměry nádrže, aby se mohl stanovit předpokládaný vsakovací odtok. Stanoví se tedy půdorysné rozměry nádrže  $a$ ,  $b$ , hloubku  $h$  a sklon svahů  $1:m$ .



Obr. 10.8 Schématický profil a půdorys retenční dešťové nádrže [Zdroj: 34]

Minimální vsakovací plocha se stanoví jako plocha dna dešťové nádrže podle rovnice:

$$S_{vmin} = a \cdot b \cdot 10^{-4} \quad [\text{ha}] \quad (10.34)$$

kde  $a$  délka nádrže [m];

$b$  šířka nádrže [m].

Vsakovací plochy na svazích nádrže se vypočítají pomocí rovnic:

$$S_1 = (a + m \cdot h) \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2} \quad [\text{m}^2] \quad (10.35)$$

$$S_2 = (b + m \cdot h) \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2} \quad [\text{m}^2] \quad (10.36)$$

Maximální vsakovací plocha se vypočítá podle rovnice:

$$S_{vmax} = a \cdot b + 2 \cdot (S_1 + S_2) = [a \cdot b + 2 \cdot (a + b + 2 \cdot m \cdot h) \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}] \cdot 10^{-4} \quad [\text{ha}] \quad (10.37)$$

Průměrná vsakovací plocha se vypočítá podle rovnice:

$$S_{vs} = 0,5 \cdot (S_{vmin} + S_{vmax}) \quad [\text{ha}] \quad (10.38)$$

Předpokládaný objem nádrže:

$$V = 0,5 \cdot h \cdot [a \cdot b + (a + 2 \cdot m \cdot h) \cdot (b + 2 \cdot m \cdot h)] \quad [\text{m}^3] \quad (10.39)$$

Objem retenční vsakovací dešťové nádrže můžeme vypočítat pomocí rovnice:

$$V = 0,06 \cdot [Q \cdot t_{max} - Q_v \cdot (t_{max} + t_s - t_s \cdot Q_v \cdot Q^{-1})] \cdot f_z \quad [\text{m}^3] \quad (10.40)$$

kde  $Q_v$  vsakovací odtok vypočítaný podle rovnice:

$$Q_v = k_v \cdot S_{vs} \quad [\text{l} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10.41)$$

kde  $k_v$  koeficient intenzity vsakování vypočítaný podle rovnice:

$$k_v = 0,5 \cdot k_f \cdot 10^7 \quad [\text{l} \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}] \quad (10.42)$$

kde  $k_f$  koeficient filtrace uvedený v tab. 10.2;

$f_z$  součinitel zvětšení uváděný v rovnici 10.14;

$t_s$  doba dotoku ve stokové síti vypočítaná podle rovnice:

$$t_s = 0,0167 \cdot l_s \cdot v_s^{-1} \quad [\text{min}] \quad (10.43)$$

kde  $l_s$  délka dešťové stoky [m];

$v_s$  průměrná průřezová rychlost dešťových vod při kapacitním průtoku [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Přítok do nádrže Q se vypočítá podle rovnice:

$$Q = K_{(p)} \cdot (S_r + S_{vmax}) \cdot (t_{max} + B_{(p)})^{-1} \quad [\text{l} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10.44)$$

Kde  $K_{(p)}, B_{(p)}$  lokální parametry vypočítané podle rovnic 10.18 a 10.19;

$S_r$  je redukovaná plocha povodí vypočítaná podle rovnice 10.6 [ha];

$t_{max}$  kritický čas trvání blokových dešťů, vypočítaný podle rovnice:

$$t_{max} = B_{(p)} \cdot K_{(p)} \cdot (S_r + S_{vmax}) \cdot [B_{(p)} \cdot Q_v \cdot K_{(p)} \cdot (S_r + S_{vmax}) - B_{(p)} \cdot Q_v^2 \cdot t_s]^{-0,5} - B_{(p)} \quad [\text{min}] \quad (10.45)$$

**Tab. 10.2 Průměrné hodnoty koeficientu filtrace  $k_f$  [Zdroj: 5]**

| Název zeminy        | Znak skupiny podle [5] | Relativní propustnost         | $k_f$ (m.s <sup>-1</sup> )             |
|---------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| Štěrk dobře zrněný  | GW                     | propustná                     | $10^{-5}$ až $10^{-3}$                 |
| Štěrk špatně zrněný | GP                     | propustná až velmi propustná  | $10^{-5}$ až $10^{-3}$                 |
| Štěrk hlinitý       | GM                     | málo propustná                | $10^{-9}$ až $10^{-6}$                 |
| Písek dobře zrněný  | SW                     | propustná                     | $5 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-4}$ |
| Písek špatně zrněný | SP                     | propustná                     | $5 \cdot 10^{-7}$ až $5 \cdot 10^{-3}$ |
| Písek hlinitý       | SM                     | málo propustná až nepropustná | $10^{-9}$ až $5 \cdot 10^{-6}$         |

Pro výpočet retenčních objemů v městských povodích se podle [24] doporučuje používat blokové deště s periodicitou  $p = 0,2$ , pro větší otevřené nádrže  $p = 0,01$ . Pokud se vypočítaný objem výrazně liší od objemu předpokládaného, je potřeba výpočet vykonat s nově zvolenou hloubkou, kterou můžeme vypočítat iterací pomocí upravené rovnice:

$$h_{n+1} = \frac{2 \cdot V}{a \cdot b + (a + 2 \cdot m \cdot h_n) \cdot (b + 2 \cdot m \cdot h_n)} \quad [\text{m}] \quad (10.46)$$

kde  $V$  objem nádrže vypočítaný podle rovnice (10.38);

$h_n$  hloubka nádrže v  $n$ -tém kroku iterace [m].

Zjednodušenou metodou se objem retenční dešťové nádrže podle [24] může vypočítat rovnice:

$$V = v \cdot A_n \quad [\text{m}^3] \quad (10.47)$$

kde  $A_n$  je nepropustná plocha povodí [ha];

$v$  specifický objem nádrže vztažený na nepropustnou plochu povodí nádrže vypočítaný podle rovnice:

$$v = (q_{0,1} - q_v) \cdot t \cdot f_z \cdot 0,06 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}] \quad (10.48)$$

kde  $q_{0,1}$  vydatnost blokového deště při periodicitě  $p = 0,1$  [l.(s.ha)<sup>-1</sup>];

$t$  doba trvání blokového deště při periodicitě  $p = 0,1$  [min];

$q_v$  specifická intenzita vsakování v [l.(s.ha)<sup>-1</sup>]. Určí se v závislosti na koeficientu filtrace  $k_f$  podle tab. 10.3.

**Tab. 10.3 Doporučené hodnoty specifické intenzity vsakování [Zdroj: 24]**

|                                                          |                                  |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Pro $k_f = 1 \cdot 10^{-5}$ (prachovitý písek)           | $q_v = 2 \text{ l.(s.ha)}^{-1}$  |
| Pro $k_f = 1 \cdot 10^{-4}$ (středně a jemnozrnné písky) | $q_v = 10 \text{ l.(s.ha)}^{-1}$ |

Pro výpočty se doporučuje volit trvání dešťových vydatností blokových dešťů s periodicitou  $p = 0,1$  v závislosti od  $q_v$  podle tab.10.4.

**Tab. 10.4 Volba trvání blokových dešťů s  $p = 0,1$  [Zdroj: 22]**

|                                                                                                 |              |              |              |              |              |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Specifická vsakovací intenzita $q_v \text{ l.(s.ha)}^{-1}$ při zaplnění retenční dešťové nádrže | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            | 7           |
| Trvání deště                                                                                    | 6 – 72 h     | 4 – 48 h     | 3 – 24 h     | 3 – 18 h     | 2 – 9 h      | 2 – 6 h     |
| Specifická vsakovací intenzita $q_v \text{ l.(s.ha)}^{-1}$ při zaplnění retenční dešťové nádrže | 8            | 9            | 10           | 12           | 15           | 20          |
| Trvání deště                                                                                    | 90 min – 6 h | 60 min – 4 h | 60 min – 4 h | 45 min – 3 h | 30 min – 2 h | 30 – 90 min |

Výpočet objemu retenční dešťové nádrže se provede postupným dosazováním hodnot vydatností  $q_{0,1}$  a jejich trvání  $t$  s periodicitou  $p = 0,1$ , doku se nedosáhne maximální hodnoty specifického objemu  $v$  [24].

### ***Dimenzování retenčně-detenčních dešťových nádrží***

Dešťové nádrže s kombinovanou retenčně vsakovací a detenční funkcí se navrhují na dešťových stokách oddílné soustavy v případě vhodných výškových terénních a stokových poměrů ve vedlejším směru paralelně s dešťovou stokou. Část dešťových vod se vsakuje do dna a svahů nádrže a část se po dočasném zadržení vrací zpět do dešťové stoky [24].

Stejně jako při výpočtu retenční dešťové nádrže podle [24] se provede předběžný návrh rozměrů a vypočítá:

- minimální vsakovací plocha pomocí rovnice 10.34;
- maximální vsakovací plocha při maximální hladině podle rovnice 10.37;
- průměrnou vsakovací plochu pomocí rovnice 10.38;
- předpokládaný objem nádrže pomocí rovnice 10.39;
- přítok do nádrže pomocí rovnice 10.44;

Odtok z nádrže závisí na úrovni hladiny v nádrži a kapacitě odtokového potrubí z nádrže, podle [24] se vypočítá pomocí rovnice:

$$Q_o = 0,5 \cdot (Q_{omin} + Q_{omax}) \quad [\text{l.s}^{-1}] \quad (10.49)$$

kde  $Q_{omin}$  minimální odtok ze dna nádrže s volnou hladinou v odtokovém potrubí  $[\text{l.s}^{-1}]$ ;

$Q_{omax}$  odtok při maximální hladině v nádrži, řízený regulačním zařízením  $[\text{l.s}^{-1}]$ ;

Akumulační objem  $V$  se podle [24] vypočítá pomocí rovnice:

$$V = 0,06 \cdot [Q \cdot t_{max} - Q_o \cdot (t_{max} + t_s - t_s \cdot Q_o \cdot Q^{-1}) - Q_v \cdot t_{max}] \cdot f_z \quad [\text{m}^3] \quad (10.50)$$

kde  $Q$  přítok do nádrže vypočítaný pomocí rovnice 10.42 [ $\text{l.s}^{-1}$ ];

$Q_v$  vsakovací odtok, vypočítaný podle rovnice 10.41 [ $\text{l.s}^{-1}$ ];

$t_s$  doba dotoku ve stokové síti vypočítaná podle rovnice 10.43 [min];

$t_{max}$  kritický čas odpovídající maximálnímu naplnění nádrže vypočítaný podle rovnice:

$$t_{max} = B_{(p)} \cdot K_{(p)} \cdot (S_r + S_{vmax}) \cdot [B_{(p)} \cdot K_{(p)} \cdot (S_r + S_{vmax}) \cdot (Q_o + Q_v) - B_{(p)} \cdot Q_o^2 \cdot t_s]^{-0,5} - B_{(p)} \quad [\text{min}] \quad (10.51)$$

kde  $K_{(p)}, B_{(p)}$  lokální parametry vypočítané podle rovnic 10.18 a 10.19;

$S_r$  je redukovaná plocha povodí vypočítaná podle rovnice 10.6 [ha].

V případě, kdy se bude předpokládán a vypočtený objem výrazně lišit, opakuje se výpočet s nově zvolenou hloubkou  $h$ , stejně jako v případě výpočtu retenční vsakovací dešťové nádrže.

### ***Dimenzování záchytných a průtočných nádrží***

Použití jednoduchých metod při dimenzování objemů záchytných a průtočných dešťových nádrží souvisí s běžnými požadavky na ochranu vodních recipientů s ohledem na emise odpadních vod vypouštěných do recipientu [24].

K jednoduchým metodám dimenzování záchytných a průtočných dešťových nádrží patří metody používající jako charakteristickou veličinu mezní déšť a metody založené na přípustném podílu ročně odlehčovaných vod (PPROV). Metoda PPROV je založena na posuzování zatížení recipientu z odlehčovacích objektů přiváděnými znečišťujícími látkami. Jako základ se aplikuje roční zatížení recipientu podle CHSK, které se dostává v dlouhodobém průměru v rámci průměrných podmínek odlehčoványi vodami do recipientu. Zatížení znečištěním podle CHSK sestává z průměrného ročního zatížení odlehčoványi vodami z odlehčovacích objektů a zbytkového znečištění v odtoku čištěných dešťových vod v dešťových nádržích a v ČOV. Toto zatížení by mělo být menší jak zatížení dopravené do recipientu dešťovými vodami z dešťových stok oddílné stokové soustavy ze stejné odvodněné plochy městského povodí během roku [24].

Dimenzování dešťových nádrží metodou PPROV je uvedeno v [1].

## ***Dimenzování usazovacích dešťových nádrží aplikací blokových dešťů***

Objem usazovací dešťové nádrže se podle [24] vypočítá pomocí rovnice:

$$V = 0,06 \cdot t_c \cdot f_z \cdot \left[ (S_s + A_h) \cdot K_{(p)} \cdot (t_c + B_{(p)})^{-1} - Q_o \right] [\text{m}^3] \quad (10.52)$$

kde  $f_z$  součinitel zvětšení uváděný v rovnici 10.14;

$Q_o$  odtok z nádrže, doporučuje se řídit regulátorem [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ];

$t_c$  kritická doba trvání blokového deště vypočítaná podle rovnice:

$$t_c = \sqrt{\frac{(S_s + A_h) \cdot K_{(p)} \cdot B_{(p)}}{Q_o}} - B_{(p)} \quad [\text{min}] \quad (10.53)$$

kde  $S_s$  zpevněná plocha povodí s odtokem do nádrže [ha];

$A_h$  minimální plocha hladiny nádrže vypočítaná podle rovnice:

$$A_h = 0,001 \cdot K_{(p)} \cdot S_s \cdot (15 + B_{(p)})^{-1} \cdot u_s^{-1} \quad [\text{m}^2] \quad (10.54)$$

kde  $K_{(p)}, B_{(p)}$  lokální parametry vypočítané podle rovnic 10.18 a 10.19;

$u_s$  usazovací rychlost pískových částic, její hodnoty jsou uvedeny v tab. 10.5.

**Tab. 10.5 Usazovací rychlost pískových částic [Zdroj: 24]**

| d (mm)                               | 0,01                 | 0,05                 | 0,1                  | 0,2                  | 0,5                 | 1,0                  |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| $u_s (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ | $8,33 \cdot 10^{-5}$ | $1,69 \cdot 10^{-3}$ | $5,35 \cdot 10^{-3}$ | $1,62 \cdot 10^{-2}$ | $6,0 \cdot 10^{-2}$ | $1,22 \cdot 10^{-1}$ |

Doba zdržení vody v nádrži  $t_v$  při odtoku  $Q_o$  se vypočítá podle rovnice:

$$t_v = V \cdot (3,6 \cdot Q_o)^{-1} \quad [\text{min}] \quad (10.55)$$

Doporučená minimální doba zdržení je 18 hodin, maximální pak 48 hodin z důvodu připravenosti nádrže na další dešťový přítok.

## **10.2 BILANČNÍ METODY DIMENZOVÁNÍ DEŠŤOVÝCH NÁDRŽÍ**

Mezi bilanční metody dimenzování dešťových nádrží patří především metody simulačního modelování umožňující sestavení základních podkladů pro dimenzování průtokových i objemových kapacit. [9]

Simulaci je nutno provádět kalibrovaným numerickým modelem srážko-odtokového děje s využitím regionálně platných historických srážkoměrných dat [15].

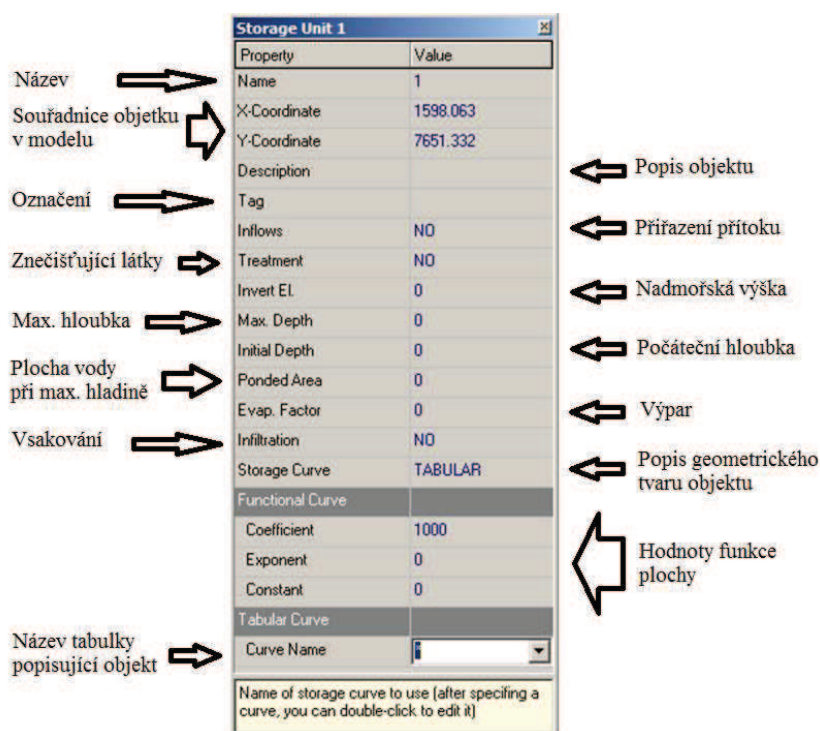
### 10.2.1 EPA Storm Water Management Model (SWMM)

Americký model SWMM je dynamický srážko-odtokový model pro jednorázovou nebo dlouhodobou simulaci množství a kvality odtoku, především v městských oblastech [37]. Byl vypracovaný třemi organizacemi na základě kontraktu s Organizací životního prostředí (EPA). V USA patří k nejznámějším a nejpoužívanějším modelům a pro zájemce je volně přístupný. První verze byla vyvinuta v roce 1971 a je stále ve vývoji [23]. V současné době se používá verze 5.0. Program je přístupný ke stažení na [38].

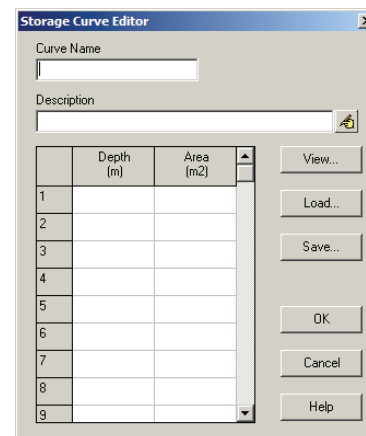
Struktura modelu zahrnuje výpočtové a servisní bloky:

- *řídící blok* – obsahuje vstupní údaje o jednotlivých povodích (plocha povodí, nepropustné plochy, průměrný sklon, hydraulickou drsnost, povrchovou retenci v povrchových nerovnostech, koeficienty infiltrace, údaje o základním stokovém systému – tvar, rozměry, délka stok, hydraulická drsnost, umístění dešťových vpustí dílčích povodí a recipientů, podmínky provozu čerpacích stanic, přelivů a akumulčních nádrží);
- *blok odtoku RUNOFF* – modeluje se tvorba a koncentrace povrchového odtoku z nepropustných ploch a vytváření znečišťujícího zatížení v povrchovém odtoku. Povodí je rozděleno na několik dílčích homogenních povodí, z nichž je každé simulované jako nelineární nádrž s kapacitou ekvivalentní maximální odtokové ztrátě zahrnující intercepci a povrchovou retenci v prohlubních a nerovnostech;
- *blok transportu dešťových vln TRANSPORT* – modeluje translaci dešťových vln a znečišťujících látek v dešťovém odtoku ve stokovém systému, simulace nestacionárního proudění se vykonává aproximací kinematické vlny, model umožňuje stanovit hydrogram a polutogram v libovolném úseku stokového systému;
- *blok EXTRAN* je alternativou bloku TRANSPORT. Modeluje transport dešťových vln a zohledňuje možnost zaplavení vstupních šachet a vzduší vody v přetížených stokách.
- *blok akumulace dešťového odtoku a čištění vod STORAGE/TREATMENT* – modeluje znečištění dešťového odtoku s cílem čištění dešťových vod a zredukování maximálních průtoků dešťových vln. Používají se komplexní procesy biologického čištění a odstraňování nerozpuštěných látek, ale počet znečišťujících látek je omezený;
- *blok recipientů* – umožňuje simulovat cirkulaci vody v jezerech aplikací hydraulických sklonů, účinky větru, přelivů a různých přítoků. V zadaných uzlech simulačního modelu je možné stanovit ukazatele znečištění, úroveň hladiny a průtoky vyskytující se v určitém časovém intervalu [23].

Akumulační objekty se v programu EPA SWMM zadávají pomocí funkce *Storage Unit*. Vlastnosti objektu je možné upravit v tabulce vlastností (obr. 10.9). Popis tvaru objektu se udává pomocí funkční křivky, která je zadaná rovnicí  $Plocha = A \cdot (hloubka)^B + C$  nebo tabelárně (obr. 10.10) [37].



Obr. 10.9 Editor vlastností objektu [Zdroj: 38]



Obr. 10.10 Editor pro zadání geometrického tvaru objektu [Zdroj: 38]

## 10.2.2 The U.S. Army Corps of Engineers' River Analysis System (HEC-RAS)

HEC-RAS je veřejně dostupný balík programů pro provádění hydraulických výpočtů sítě přírodních a umělých vodních toků [17]. Byl vyvinut *Centrem hydrologického inženýrství Americké armády*. Systém zahrnuje grafické uživatelské rozhraní rozdělené na součást hydraulické analýzy a správu a ukládání dat [29]. Program je možno získat na [30].

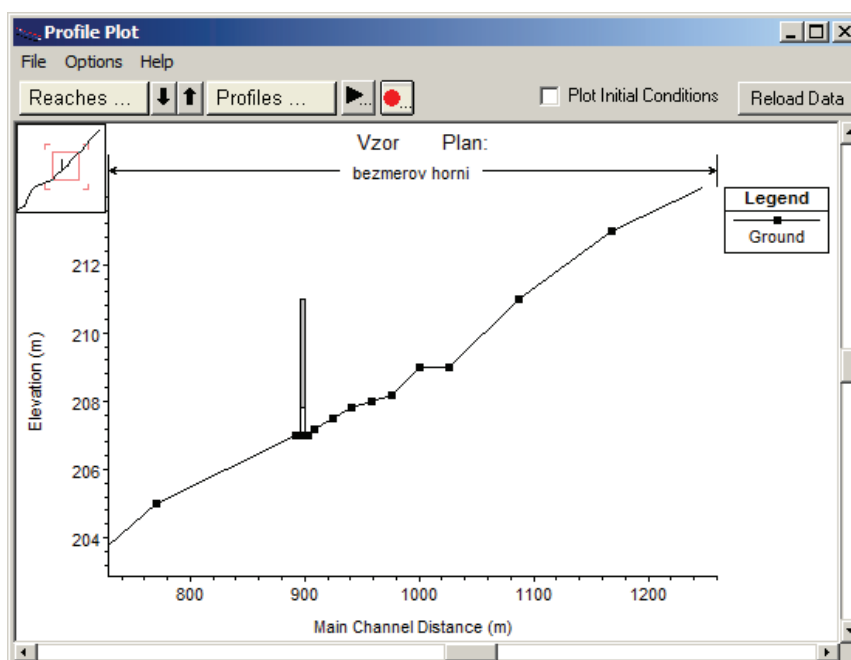
Komponenty analyzování říčních koryt:

- *rovnoměrné proudění* – tato součást modelového systému je určena pro výpočet hladiny v profilech při zadaném průtoku. Systém dokáže vypočítat soustavu kanálů nebo jednotlivé vodní toky a je schopen modelovat podkritický a nadkritický režim proudění. Základní výpočetní postup je založen na řešení jednorozměrné rovnice energie. Ztráty energie jsou dány třením (dle Manninga) a zúžením nebo rozšířením koryta. Výpočty mohou zohledňovat umístění různých překážek, jako jsou mosty, propustky, jezy, přehradu atd.;
- *nerovnoměrné proudění* – tato součást modelového systému je schopna simulovat nerovnoměrné proudění v soustavě kanálů. Systém je schopen modelovat podkritický a nadkritický režim proudění a vodní skoky;
- *transport splavenin*;
- *analýza kvality vody* – umožňuje provádět podrobnou analýzu teploty a složek kvality vody (obsah řas, kyslíku, fosforu, dusičnanů, dusitanů) [29].

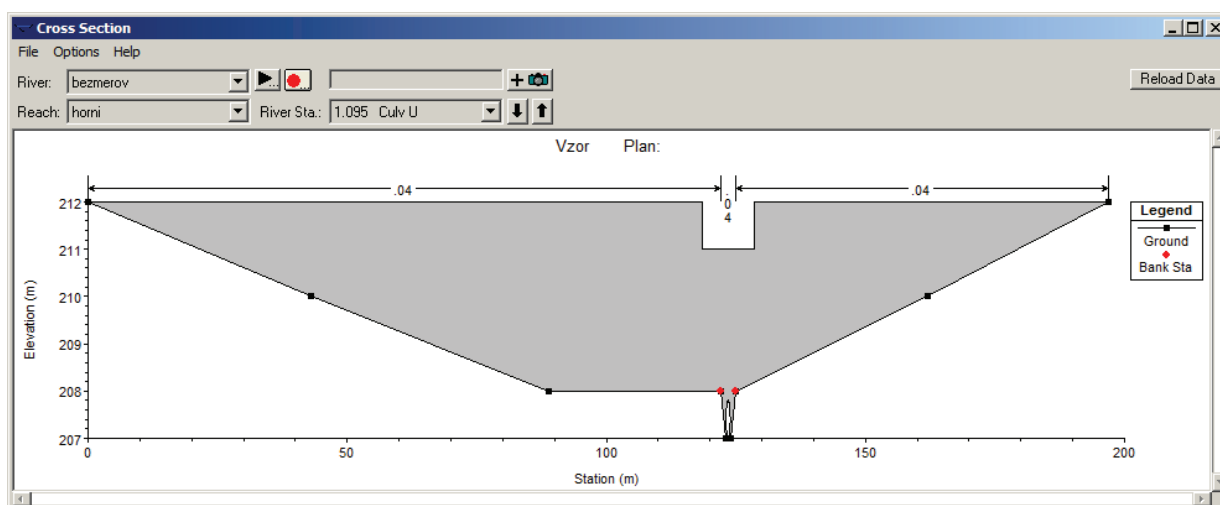
Dešťové nádrže situované v hlavním směru můžeme v programu HEC-RAS simulovat pomocí umístění hrazení napříč modelovaným korytem (obr. 10.11). Objem nádrže je dán geometricky, rozměry příčných profilů a výškou hrazení. Odtok je možné simulovat osazením propustku v hrazení o požadované dimenzi (obr. 10.12) nebo umístěním čerpací stanice.

Dešťové nádrže ve vedlejším směru se mohou simulovat umístěním záchytného objektu a zadáním jeho akumulčního objemu. Přítok je řešen připojeným bočním přelivem umístěným na modelovaném korytě.

Pomocí funkce na výpočet nerovnoměrného proudění je možno simulovat dešťový průtok a posoudit vhodnost návrhu.



Obr. 10.11 Podélný profil s hrazením [Zdroj: 30]



Obr. 10.12 Příčný profil s umístěným propustkem [Zdroj: 30]

## 11 ÚDRŽBA A PROVOZ

Dešťová nádrž je objektem, který nepředstavuje stálé pracoviště, ale je pracovištěm občasným s pravidelnou kontrolou (po ukončení jednoho funkčního cyklu) [24].

Údržba a provoz dešťových nádrží má být součástí koncepce provozu celé stokové sítě. Pro soubor objektů souvisejících s dešťovou nádrží je potřeba mít vypracovaný provozní řád navazující na provozní řád příslušné stokové sítě [24].

Bezporuchový transport pevných částic po dobu období bezdeštného je rozhodujícím předpokladem pro optimální provoz dešťových nádrží [24].

Pro zakryté dešťové nádrže je potřeba zajistit dobře přístupné vstupní a pracovní otvory. Vstupy musí sloužit jako únikové cesty. Větrání nádrží musí být intenzivní, aby se zabránilo srážení odpařované vody na stěnách nádrže. Pro zabránění ucpání odtoku z nádrže je potřeba v tomto místě zřídit vstupní otvor [24].

Soubor zařízení dešťových nádrží je třeba pravidelně přezkušovat a provoz řídit podle provozního řádu. Mechanické stírací zařízení se má uvést do provozu na začátku plnění nádrže. S vyprazdňováním nádrže se má začít při snížení odtoku směrem k čistírně pod jeho stanovenou maximální hodnotou. Plnění a prázdnění nádrže má být signalizováno do místa s trvalou obsluhou. Po vyprázdnění nádrže se má zkontrolovat stav zařízení, odstranit případné větší předměty a přesvědčit se, zda nádrž zůstala v provozuschopném stavu. Výsledky prohlídky se zaznamenávají do pracovního deníku objektu [24].

Pro navrhování a provozování dešťových nádrží platí požadavky na bezpečnost práce a ochranu zdraví při práci podle příslušných právních předpisů [24].

### 11.1 NAKLÁDÁNÍ S KALY

Manipulace s odpadními produkty z dešťových nádrží se provádí obdobným způsobem jako u čistíren a musí být řešena v provozním řádu v souladu s příslušnými právními předpisy [9].

Zachycené sedimenty v dešťových nádržích mohou být odváděny či přečerpávány do stokové sítě a odváděny na ČOV nebo odstraňování jako odpad. Odstraňování tohoto odpadu se řídí vyhláškou *Ministerstva životního prostředí č. 381/2001 Sb.* Odpad z dešťových nádrží se obvykle zařazuje pod číslem 1908 v Katalogu odpadů [9].

Hlavní způsoby zpracování kalu jsou uvedeny v *ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel.* [9]

## 12 MODELOVÝ PŘÍKLAD NÁVRHU DEŠŤOVÉ NÁDRŽE

Objemy dešťových nádrží jsou navrženy podle racionálních metod výpočtů uvedených v kapitole 10. Výpočet je proveden pomocí vypracované přílohy v tabulkovém procesoru *Microsoft Excel*.

Řada blokových dešťů je uvedena v tab. 12.1. Deště byly zvoleny pro lokalitu Brno při periodicitě  $p = 0,2$  podle [22].

**Tab. 12.1** Vydatnosti náhradních dešťů pro modelový příklad v lokalitě Brno [Zdroj: 19]

|                                                                                 |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| doba trvání deště $t$<br>[min]                                                  | 5     | 10    | 15    | 20    | 30    | 40    | 60   | 90   | 120  |
| vydatnost deště<br>[l.(s.ha) <sup>-1</sup> ] za dobu $t$<br>při periodicitě 0,2 | 322,0 | 251,0 | 203,0 | 167,0 | 125,0 | 101,0 | 73,9 | 53,9 | 42,8 |

### 12.1 NÁVRH DETENČNÍ DEŠŤOVÉ NÁDRŽE

Zadané hodnoty pro výpočet detenční dešťové nádrže jsou uvedeny v tab. 12.2. Vypočítané objemy detenčních dešťových nádrží podle ČSN 75 6261 *Dešťové nádrže* je uveden v tab. 12.2. Objemy vypočítané podle postupů uváděných v zahraničí jsou v tab. 12.3.

**Tab. 12.2** Zadané hodnoty pro výpočet detenční dešťové nádrže

|                                        |      |                      |
|----------------------------------------|------|----------------------|
| Plocha povodí $S$                      | 14   | [ha]                 |
| Součinitel odtoku $\psi$               | 0,35 | [-]                  |
| Regulovaný odtok z nádrže $Q_o$        | 50   | [l.s <sup>-1</sup> ] |
| Doba dotoku stokovou sítí $t_d$        | 15   | [min]                |
| Koeficient rizika poddimenzování $f_z$ | 1,2  | [-]                  |

**Tab. 12.3** Vypočítané objemy detenční nádrže podle ČSN 75 6261

|                                                                    |                        |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Výpočet podle rovnice 10.4 pro zadané intenzity                    | 1120 [m <sup>3</sup> ] |
| Výpočet podle rovnice 10.4 pro redukované intenzity podle Bartoška | 1116 [m <sup>3</sup> ] |
| Výpočet přibližného objemu nádrže podle rovnice 10.9               | 1150 [m <sup>3</sup> ] |

**Tab. 12.4 Vypočítané objemy retenční nádrže podle zahraniční odborné literatury**

|                                                                   |                        |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Výpočet podle rovnice 10.14                                       | 1345 [m <sup>3</sup> ] |
| Zjednodušený výpočet podle rovnice 10.22                          | 1656 [m <sup>3</sup> ] |
| Výpočet podle rovnice 10.24 s parametrem F podle Molokova         | 724 [m <sup>3</sup> ]  |
| Výpočet podle rovnice 10.24 s parametrem F podle Urcikána         | 1345 [m <sup>3</sup> ] |
| Výpočet podle Annena-D. Londonga a R. Pecher pomocí rovnice 10.30 | 1186 [m <sup>3</sup> ] |
| Výpočet podle specifického objemu pomocí rovnice 10.32            | 1387 [m <sup>3</sup> ] |

Objemy vypočítané podle normy ČSN 75 6261 vychází pro zadané hodnoty podobně. Vypočítané objemy podle zahraničních postupů jsou v porovnání s ČSN 75 6261 převážně vyšší. Tento fakt způsobuje především zohlednění možnosti poddimenzování koeficientem  $f_z$ . Nejmenší objem byl stanoven ve výpočtu podle Molokova. Vzhledem k tomu že se výpočet podle Molokova doporučuje pro součinitele akumulace  $\alpha = 0,2 - 1$  (ve skutečnosti  $\alpha = 0,06$ ), není tento výsledek odpovídající a pro zadané hodnoty je výhodnější použít výpočet podle Urcikána. Největší objem byl stanoven zjednodušeným výpočtem podle rovnice 10.22. Zvýšený objem způsobuje zanedbání času dotoku  $t_s$  ve stokové síti. Způsob aplikace blokových dešťů nemá při uvedených zadaných hodnotách na výsledný objem výraznější vliv. Výhodou použití dvojbodové matematické metody je jednodušší výpočet.

## 12.2 NÁVRH RETENČNÍ DEŠŤOVÉ NÁDRŽE

V tab. 12.5 jsou uvedeny vstupní hodnoty pro výpočet retenční nádrže.

**Tab. 12.5 Zadané hodnoty pro výpočet retenční dešťové nádrže**

|                                                         |           |                      |
|---------------------------------------------------------|-----------|----------------------|
| Plocha povodí $S$                                       | 15        | [ha]                 |
| Součinitel odtoku $\psi$                                | 0,4       | [-]                  |
| Koeficient filtrace $k_f$                               | $10^{-4}$ | [m.s <sup>-1</sup> ] |
| Délka dešťové stoky $l$                                 | 2000      | [m]                  |
| Průměrná průřezová rychlost při kapacitním plnění $v_s$ | 2         | [m.s <sup>-1</sup> ] |
| Koeficient rizika poddimenzování $f_z$                  | 1,2       | [-]                  |

Vypočítaný objem retenční dešťové nádrže pro zadané hodnoty podle rovnice 10.40 je 1647 m<sup>3</sup>.

Při návrhu retenčně-detenční dešťové nádrže se zohledňuje odtok z nádrže  $Q_o$ . Pro hodnoty zadané v tab. 12.5 a odtoku  $Q_o = 50 \text{ l.s}^{-1}$  je objem retenčně-detenční nádrže vypočítaný podle rovnice 10.50 roven 1455 m<sup>3</sup>. Menší objem je způsoben vyšší hodnotou odtoku, kdy je celkový odtok dán vsakovacím průtokem  $Q_v$  a odtokem  $Q_o$ .

## 12.3 NÁVRH ZÁCHYTNÉ DEŠŤOVÉ NÁDRŽE

Na rozdíl od retenčních a retenčních dešťových nádrží, kde se stanovuje objem podle řady blokových dešťů, jsou záchytné dešťové nádrže dimenzovány na hodnotu mezního deště  $q_m$ . V tabulce 12.6 jsou zadány hodnoty pro potřebné pro výpočet záchytné dešťové nádrže. Tento postup výpočtu je proveden podle ČSN 75 6261.

**Tab. 12.6** Zadané hodnoty pro výpočet záchytné dešťové nádrže

|                                                                 |      |                      |
|-----------------------------------------------------------------|------|----------------------|
| Plocha povodí $S$                                               | 30   | [ha]                 |
| Součinitel odtoku $\psi$                                        | 0,45 | [-]                  |
| Regulovaný odtok z nádrže $Q_o$                                 | 20   | [l.s <sup>-1</sup> ] |
| Doba dotoku stokovou sítí $t_d$                                 | 15   | [min]                |
| Počet obyvatel v povodí $N$                                     | 2000 | [ob]                 |
| 270denní průtok vody ve vodním recipientu $Q_d$                 | 0,6  | [m <sup>3</sup> .s]  |
| Maximální (návrhový) přítok dešťových vod ze stokové sítě $Q_d$ | 1449 | [l.s <sup>-1</sup> ] |
| Exponent závislý na hustotě obyvatel $x$                        | 1    | [-]                  |
| Součinitel zohledňující jakost vody ve vodním toku $Kr$         | 1    | [-]                  |

Výsledný objem pro zadané hodnoty je 220 m<sup>3</sup>.

## 12.4 NÁVRH USAZOVACÍ DEŠŤOVÉ NÁDRŽE

V tab. 12.7 jsou zadány hodnoty potřebné pro výpočet objemu dešťové usazovací nádrže.

**Tab. 12.7** Zadané hodnoty pro výpočet usazovací dešťové nádrže

|                                           |                       |                      |
|-------------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Koeficient rizika poddimenzování $f_z$    | 1,1                   | [-]                  |
| Zpevněná plocha povodí $S_s$              | 2                     | [ha]                 |
| Odtok z nádrže $Q_o$                      | 9                     | [l.s <sup>-1</sup> ] |
| Usazovací rychlost pískových částic $u_s$ | 1,69.10 <sup>-3</sup> | [m.s <sup>-1</sup> ] |

Výsledný objem dešťové usazovací nádrže pro zadané hodnoty vypočítaný pomocí rovnice 10.52 je  $V = 615$  m<sup>3</sup>. Doba zdržení vypočítaná podle rovnice 10.55 je  $t = 19$  hod.

## 13 ZÁVĚR

Dešťové nádrže jsou objekty na stokové síti sloužící k zachytávání a transformování zvýšených přítoků způsobenými odváděním srážkových vod. Tyto schopnosti se využívají k sanaci a ochraně hydraulicky přetížených objektů na stokové síti, zachytávání nečistot před vypouštěním do recipientu.

V České republice jsou nedílnou součástí jednotných i oddílných stokových systémů. V Brně se využívají nejčastěji jako ochrana před přetížením stok a vyplavováním následujících povodí.

Dešťové nádrže se rozdělují podle jejich vztahu k průtočným poměrům ve stoce a podle jejich funkce. Situování nádrží k průtočným poměrům závisí především na terénních poměrech. Na sklonitém území se nádrže umísťují v hlavním směru, na rovinatých územích je vhodnější umístění ve vedlejším směru. Podle funkce se dešťové nádrže rozdělují na retenční, detenční, záchytné průtočné a usazovací. Pojem detenční dešťové nádrže se u nás nevyskytuje, nahrazuje ho pojem retenční dešťové nádrže. Vzhledem k funkci dešťových nádrží tak v České republice dochází k odlišnému pojmenování retenčních a detenčních nádrží.

Konstrukční řešení dešťových nádrží je závislé na jejich umístění. V intravilánu se nejčastěji budují železobetonové nádrže. Při jejich výstavbě se mohou využít moderní technologie řešící vodotěsnost tzv. bílé vany. Přírodní dešťové nádrže se zatravněnými plochami se navrhují nejčastěji na dešťových stokách v extravilánu. V současné době se k výstavbě dešťových nádrží mohou využít speciální prefabrikované akumulací systémy.

Dešťové nádrže jsou vybaveny celou řadou provozních a monitorovacích zařízení. Patří sem zařízení pro měření hladiny a průtoku, zařízení pro regulování odtoku, čerpací stanice, čistící zařízení a bezpečnostní objekt.

Dešťové nádrže nejsou místem stálého pracoviště. Bývají monitorovány dálkově. Obsluha provádí kontroly nádrže většinou po skončení dešťové události nebo čištění. Při akumulaci vod v dešťových nádržích dochází k usazování nerozpuštěných látek. Pokud není možné tyto odpady odvádět zpět do kanalizace je s nimi nakládáno jako s kaly z čistíren odpadních vod podle [10].

Pro návrh dešťových nádrží se využívají simulační modely nebo racionální výpočtové metody. Mezi simulační modely patří např. srážko-odtokový model pro městská povodí SWMM nebo model pro proudění v říčních korytech HEC-RAS. V České republice se uvádějí výpočetní metody v ČSN 75 6261 *Dešťové nádrže*, které aplikují blokové a mezní deště. Tyto postupy jsou zjednodušenými výpočty uváděnými v zahraničí. Liší se především rozdílnými způsoby aplikací blokových dešťů a zahrnováním koeficientu poddimenzování, což způsobuje výpočet větších akumulací objemů.

Podle uvedených racionálních metod výpočtů dešťových nádrží jsem zpracoval v tabulkovém procesoru *Microsoft Excel* program na výpočet dešťových nádrží a provedl porovnání jednotlivých postupů.

## 14 POUŽITÁ LITERATURA

### Tištěné dokumenty:

- [1] ATV-A 128. *Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen*. DWA, 04 1992, 50 s. ISBN 978-3-933693-16-7
- [2] *Bílé vany: vodotěsné betonové konstrukce: technická pravidla ČBS 02*. 2., upr. vyd. Praha: ČBS Servis, 2007, 66 s. ISBN 978-80-87158-03-6.
- [3] CABRERA, Enrique a Enrique CABRERA. *Pumps, electromechanical devices and systems applied to urban water management*. Exton, PA: A.A. Balkema, 2003, 2 v. (xvii, 920 p.). ISBN 90580957542.
- [4] ČSN EN 752. *Odvodňovací systémy vně budov*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [5] ČSN 75 2310. *Sypané hráze*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [6] ČSN 75 2410. *Malé vodní nádrže*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [7] ČSN 75 0905. *Zkoušky vodotěsnosti vodárenských a kanalizačních nádrží*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [8] ČSN 75 6101. *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [9] ČSN 75 6261. *Dešťové nádrže*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [10] ČSN 75 6401. *Čistírny odpadních vod pro více než 500ekvivaletních obyvatel*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [11] TNV 75 6262. *Odlehčovací komory a separátory* / [zpracovatel Hydroprojekt CZ, Petr Špalek, Josef Sobota]. Praha: Hydroprojekt CZ, 2003.
- [12] ĎAĎO, Stanislav, Ludvík BEJČEK a Antonín PLATIL. *Měření průtoku a výšky hladiny*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 447 s. ISBN 80-730-0156-X.
- [13] DWA-A 117. *Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser*. DWA, 04 2005, 59 s. ISBN 978-3-937758-66-4.
- [14] DWA-A 138. *Bemessung von Regenrückhalteräumen*. DWA, 04 2006, 36 s. ISBN 978-3-937758-75-6
- [15] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Příručka stokování a čištění*. Brno: NOEL 2000, s.r.o., 2001. ISBN 80-86020-30-4.
- [16] Hrsg.: Weiterbildendes Studium "Wasser und Umwelt" Bauhaus-Universität Weimar. *Abwasserableitung: Bemessungsgrundlagen, Regenwasserbewirtschaftung*,

- Fremdwasser, Netzsanierung, Grundstücksentwässerung*. 2. unveränd. Aufl.  
Weimar: Univ.-Verl, 2006. ISBN 38-606-8283-0.
- [17] MAYS, Larry W. *Stormwater collection systems design handbook*. New York: McGraw-Hill, 2001. ISBN 978-0071354714.
- [18] NOVÁK, Josef a kolektiv autorů. *Příručka provozovatele stokové sítě*. Líbeznice u Prahy: Medim, spol. s r.o., 2003. ISBN 80-238-9947-3.
- [19] PACIGA, Alexander. *Projektovanie a prevádzka čerpacj techniky*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1990, 438 s. ISBN 80-050-0650-0.
- [20] SYNEK, Jaroslav. Ochrana spodní stavby proti vodě a vlhkosti využitím principu bílé vany. *Časopis stavebnictví: časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů*. Brno: EXPO DATA, 2010, 03/10. ISSN 1802-2030.
- [21] ŠÁLEK, Jan a František SVOBODA. *Čerpací stanice*. 2. přeprac. vyd. Brno: VUT, 1989, 188 s. ISBN 80-214-1043-4.
- [22] TRUPL, Josef. *Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy*. Praha - Podbaba, 1958.
- [23] URCIKÁN, Pavel a Dušan RUSNÁK. *Stokovanie a čistenie odpadových vôd: Stokovanie I Navrhovanie stokových sietí*. 2. vydanie. Bratislava, 2011. ISBN 978-80-227-3435-6.
- [24] URCIKÁN, Pavel a Dušan RUSNÁK. *Stokovanie a čistenie odpadových vôd: Stokovanie II Objekty na stokovej sieti*. 1. vydanie - 1. dotlač. Bratislava, 2011. ISBN 978-80-227-2854-6.

#### **Elektronické dokumenty:**

- [25] AS-KIPPE. *ASIO, spol. s r. o.* [online]. © 2011-2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/as-kippe>
- [26] ASOCIACE ČISTÍRENSKÝCH EXPERTŮ ČESKÉ REPUBLIKY. *Metodická příručka: Posouzení stokových systémů urbanizovaných povodí*. Květen 2009. Dostupné z: [http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/17/5237-metodicka\\_prirucka\\_stokovy\\_system\\_090604.pdf](http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/17/5237-metodicka_prirucka_stokovy_system_090604.pdf)
- [27] DYWIDAG PREFA a.s. [online]. 2006 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.dwpl.cz/cs/>
- [28] HOBAS: *Systémy s akumulací*. Uherské hradiště, 04/2011. Dostupné z: [http://www.hobas.cz/fileadmin/Daten/HobasCzech/Brochures\\_pdf/Retence\\_CZ\\_web\\_s\\_logem\\_k\\_dotaznikum.pdf](http://www.hobas.cz/fileadmin/Daten/HobasCzech/Brochures_pdf/Retence_CZ_web_s_logem_k_dotaznikum.pdf)
- [29] HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. HEC-RAS: River Analysis System. Version 4.1. Davis (USA), January 2010.

- [30] Hydrologic Engineering Center. *HEC-RAS*. [software]. [přístup 3. Března 2012]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>. Požadavky na systém: MS Windows 98/NT/ME/2000/XP/Vista/7; Pentium III a vyšší; 512 MB RAM; 100 MB volného místa na disku
- [31] Plovoucí normé stěny. *HST-HYDROSYSTEMY.CZ* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.hydrosystemy.cz/plovouci-norne-steny>
- [32] Produkty: Dešťové nádrže. *Stavební prvky: ZETR* [online]. © 2009 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.zetr.cz/produkty/voda/destove-nadrze.html>
- [33] ROK 2001 – 2002, BRNO – Retenční nádrž Trnkova. *Dopravní stavby Brno, s.r.o.* [online]. © 2000-2009 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.dsbrno.cz/novinky.php?p=detail&id=98&lang=cz>
- [34] *Sovak: Časopis oboru vodovodů a kanalizací* [online]. Jílové u Prahy: J. Fučíková, 2002 [cit. 2012-02-23]. ISSN 1210-3039. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/ris/ekodisk-new.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/2ef0ce2b6cb0b1c9c1256fc0003a3be4/\\$FILE/SOVAK%202002-11.pdf](http://www.mzp.cz/ris/ekodisk-new.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/2ef0ce2b6cb0b1c9c1256fc0003a3be4/$FILE/SOVAK%202002-11.pdf)
- [35] *Sovak: Časopis oboru vodovodů a kanalizací* [online]. Jílové u Prahy: J. Fučíková, 2005 [cit. 2012-02-23]. ISSN 1210-3039. Dostupné z: [http://www.sovak.cz/sites/File/casopis\\_cela\\_cisla\\_2005/4\\_05.pdf](http://www.sovak.cz/sites/File/casopis_cela_cisla_2005/4_05.pdf)
- [36] Systémy pro akumulaci srážkových vod. Brno, 08/2011. Dostupné z: [http://www.asio.cz/?download=\\_/as-nidaplast/as-krecht\\_as-nidaplast\\_prospekt.pdf](http://www.asio.cz/?download=_/as-nidaplast/as-krecht_as-nidaplast_prospekt.pdf)
- [37] *STORM WATER MANAGEMENT MODEL: USER'S MANUAL*. Version 5.0. Cincinnati (USA), July 2010.
- [38] U.S. Environmental Protection Agency. *SWMM 5.0* [software]. [přístup 3. Dubna 2012]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>. Požadavky na systém: Windows 98/NT/ME/2000/XP/Vista/7

#### **Další informační zdroje:**

- [39] Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.
- [40] MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s.

## SEZNAM TABULEK

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 2.1 Funkce dešťových nádrží podle typu [Zdroj: 24].....                                | 12 |
| Tab. 3.1 Vybrané dešťové nádrže provozované BVK, a.s. [Zdroj: 39].....                      | 14 |
| Tab. 6.1 Zatřídění nádrží podle vizuálního posouzení úniků kapaliny [Zdroj: 7] .....        | 32 |
| Tab. 7.1 Charakteristiky regulačních zařízení [Zdroj: 24] .....                             | 34 |
| Tab. 10.1 Opravné součinitele $\gamma$ [Zdroj: 9] .....                                     | 48 |
| Tab. 10.2 Průměrné hodnoty koeficientu filtrace $k_f$ [Zdroj: 5] .....                      | 58 |
| Tab. 10.3 Doporučené hodnoty specifické intenzity vsakování [Zdroj: 24] .....               | 59 |
| Tab. 10.4 Volba trvání blokových dešťů s $p = 0,1$ [Zdroj: 22] .....                        | 59 |
| Tab. 10.5 Usazovací rychlost pískových částic [Zdroj: 24] .....                             | 61 |
| Tab. 12.1 Vydatnosti náhradních dešťů pro modelový příklad v lokalitě Brno [Zdroj: 19] .... | 66 |
| Tab. 12.2 Zadané hodnoty pro výpočet retenční dešťové nádrže .....                          | 66 |
| Tab. 12.3 Vypočítané objemy retenční nádrže podle ČSN 75 6261 .....                         | 66 |
| Tab. 12.4 Vypočítané objemy retenční nádrže podle zahraniční odborné literatury .....       | 67 |
| Tab. 12.5 Zadané hodnoty pro výpočet retenční dešťové nádrže.....                           | 67 |
| Tab. 12.6 Zadané hodnoty pro výpočet záchytné dešťové nádrže .....                          | 68 |
| Tab. 12.7 Zadané hodnoty pro výpočet usazovací dešťové nádrže.....                          | 68 |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 2.1 Funkční schéma dešťové nádrže [Zdroj: 16].....                                                                                  | 12 |
| Obr. 3.1 Dešťová nádrž Tomečkova [Zdroj: 39].....                                                                                        | 15 |
| Obr. 3.2 Dešťová nádrž Brno – Trnkova [Zdroj: 39] .....                                                                                  | 15 |
| Obr. 3.3 Nátokový objekt dešťové nádrže [Zdroj: 39] .....                                                                                | 15 |
| Obr. 3.4 Schéma dešťové nádrže Brno – Trnkova [Zdroj: T. Ohánka].....                                                                    | 16 |
| Obr. 3.5 Dešťová nádrž Olomouc – Přichystalova [Foto: T. Ohánka, 2012].....                                                              | 17 |
| Obr. 3.6 Násoska k vyprazdňování nádrže [Foto: T. Ohánka, 2012] .....                                                                    | 17 |
| Obr. 3.7 Schéma dešťové nádrže Olomouc – Přichystalova [Zdroj: T. Ohánka].....                                                           | 17 |
| Obr. 4.1 Dešťová nádrž situována v hlavním směru průtoku [24] .....                                                                      | 18 |
| Obr. 4.2 Dešťová nádrž situována ve vedlejším směru průtoku [24].....                                                                    | 18 |
| Obr. 4.3 Retenční vsakovací dešťová nádrž s předseznamovou zemní usazovací nádrží [Zdroj: 24]<br>.....                                   | 19 |
| Obr. 4.4 Záchytná dešťová nádrž situovaná v hlavním směru kruhového tvaru [Zdroj: 24] ...                                                | 21 |
| Obr. 4.5 Průtočná dešťová nádrž umístěná ve vedlejším směru [Zdroj: 24].....                                                             | 22 |
| Obr. 4.6 Kombinovaná dešťová nádrž ve vedlejším směru [Zdroj: 24].....                                                                   | 23 |
| Obr. 4.7 Usazovací dešťová nádrž [Zdroj: 24] .....                                                                                       | 24 |
| Obr. 4.8 Akumulační stoka s odlehčením na přítoku [Zdroj: 24] .....                                                                      | 25 |
| Obr. 4.9 Akumulační stoka s odlehčením na odtoku [Zdroj: 24] .....                                                                       | 25 |
| Obr. 5.1 Zapojení retenční dešťové nádrže [Zdroj: 9] .....                                                                               | 26 |
| Obr. 5.2 Zapojení záchytné dešťové nádrže [Zdroj: 9] .....                                                                               | 26 |
| Obr. 5.3 Zapojení průtočné dešťové nádrže [Zdroj: 9].....                                                                                | 26 |
| Obr. 5.4 Záchytné dešťové nádrže situované v hlavním směru za sebou [Zdroj: 9].....                                                      | 27 |
| Obr. 5.5 Záchytné dešťové nádrže situované v hlavním směru za sebou s připojením stok v<br>území bez vodního recipientu [Zdroj: 9] ..... | 27 |
| Obr. 6.1 Systém HOBAS se třemi akumulacími částmi [Zdroj: 28].....                                                                       | 30 |
| Obr. 6.2 Akumulační systém AS-KRECHT [Zdroj: 36].....                                                                                    | 31 |
| Obr. 6.3 Akumulační systém AS-KRECHT [Zdroj: 36].....                                                                                    | 31 |
| Obr. 6.4 Dešťová nádrž Atlantis [Zdroj: 32] .....                                                                                        | 31 |
| Obr. 7.1 Klasifikace regulátorů podle ATV A111 [Zdroj: 24].....                                                                          | 35 |
| Obr. 7.2 Clona [Zdroj: 24].....                                                                                                          | 36 |

---

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 7.3 Deskový uzávěr ovládaný plovákem [Zdroj: 24].....                                                               | 36 |
| Obr. 7.4 Vírový regulátor odtoku [Zdroj: 24] .....                                                                       | 37 |
| Obr. 7.5 Plovákový regulátor [Zdroj: 24].....                                                                            | 38 |
| Obr. 7.6 Bubnový otočný filtr [Zdroj: 24].....                                                                           | 39 |
| Obr. 7.7 Čištění dešťové nádrže vyplachovací klapkou [Zdroj: 24] .....                                                   | 41 |
| Obr. 7.8 Čištění dešťové nádrže vodním dělem [Zdroj: 24] .....                                                           | 42 |
| Obr.10.1 Stanovení objemu retenční dešťové nádrže z hodnot redukované čáry náhradních<br>intenzit dešťů [Zdroj: 9] ..... | 45 |
| Obr. 10.2 Dimenzování zachytných a průtočných dešťových nádrží [Zdroj: 9].....                                           | 49 |
| Obr. 10.3 Aplikace křivky vydatností blokových dešťů na výpočet retenčních objemů<br>[Zdroj: 24] .....                   | 50 |
| Obr. 10.4 Dimenzování retenčních dešťových nádrží podle R. Pechera [Zdroj: 24] .....                                     | 54 |
| Obr. 10.5 Dimenzování retenčních dešťových nádrží podle G. Annena-D. Londonga<br>[Zdroj: 24] .....                       | 54 |
| Obr. 10.6 Schéma stanovení objemu retenční dešťové nádrže [Zdroj: 24] .....                                              | 55 |
| Obr. 10.7 Diagram na stanovení redukčního faktoru $f_A$ [Zdroj: 24].....                                                 | 56 |
| Obr. 10.8 Schématický profil a půdorys retenční dešťové nádrže [Zdroj: 35].....                                          | 56 |
| Obr. 10.9 Editor vlastností objektu [Zdroj: 38].....                                                                     | 63 |
| Obr. 10.10 Editor pro zadání geometrického tvaru objektu [Zdroj: 38] .....                                               | 63 |
| Obr. 10.11 Podélný profil s hrazením [Zdroj: 30].....                                                                    | 64 |
| Obr. 10.12 Příčný profil s umístěným propustkem [Zdroj: 30].....                                                         | 64 |

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

|                |                                               |                                     |
|----------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|
| BSK            | biologická spotřeba kyslíku                   |                                     |
| CHSK           | chemická spotřeba kyslíku                     |                                     |
| NL             | nerozpuštěné látky                            |                                     |
| ČOV            | čistírna odpadních vod                        |                                     |
| BVK, a.s.      | Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.           |                                     |
|                |                                               |                                     |
| $r$            | povrchová retence                             | [mm]                                |
| $t$            | skutečná doba trvání deště                    | [min]                               |
| $t_c, t_{max}$ | kritická doba trvání deště                    | [min]                               |
| $t_d, t_s$     | doba dotoku vody stokovou sítí                | [min]                               |
| $t_p$          | doba povrchového odtoku                       | [min]                               |
| $t_r$          | doba povrchové retence stanovená podle vzorce | [min]                               |
| $\psi$         | součinitel odtoku                             | [-]                                 |
| $h$            | celkové dešťové srážky za dobu trvání deště   | [mm v. sl.]                         |
| $v$            | rychlost povrchového odtoku                   | [m.s <sup>-1</sup> ]                |
| $q, q_c$       | intenzita deště                               | [l.(s.ha) <sup>-1</sup> ]           |
| $q_o, q_{dr}$  | specifický odtok z dešťové nádrže             | [l.(s.ha) <sup>-1</sup> ]           |
| $q_m$          | intenzita mezního deště                       | [l.(s.ha) <sup>-1</sup> ]           |
| $Q_o$          | odtok z dešťové nádrže                        | [l.s <sup>-1</sup> ]                |
| $Q_c, Q_n$     | dešťový přítok                                | [l.s <sup>-1</sup> ]                |
| $S_r$          | redukováná plocha povodí                      | [ha]                                |
| $S$            | neredukovaná plocha povodí                    | [ha]                                |
| $V$            | objem nádrže                                  | [m <sup>3</sup> ]                   |
| $V_s, v$       | specifický objem nádrže                       | [m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> ] |
| $f_z$          | součinitel poddimenzování                     | [-]                                 |
| $K_{(p)}$      | lokální parametr                              | [min]                               |
| $B_{(p)}$      | lokální parametr                              | [l.min.(s.ha) <sup>-1</sup> ]       |
| $k_v$          | koeficient intenzity vsakování                | [l.(s.ha) <sup>-1</sup> ]           |
| $k_f$          | koeficient filtrace                           | [m.s <sup>-1</sup> ]                |

---

|       |                                  |                   |
|-------|----------------------------------|-------------------|
| $q_v$ | specifická intenzita vsakování v | $[l.(s.ha)^{-1}]$ |
| $u_s$ | usazovací rychlost               | $[m.s^{-1}]$      |
| $l$   | délka přívodní sítě              | $[m]$             |
| $v_s$ | průměrná průřezová rychlost      | $[m.s^{-1}]$      |

## SEZNAM PŘÍLOH

1. Metadata
2. Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP

## SUMMARY

Rainwater tanks are for collecting network objects used to capture and transform due to increased inflows of rainwater drainage. These capabilities are used to rehabilitate and protect hydraulically overloaded sewer facilities to the network, capturing contaminants before discharge into receiving waters.

Rainwater tanks are divided according to their relationship to displacement ratios in the gutter, and according to their function. The position of the tank to displacement ratios depend mainly on field conditions. On the bow tank is placed in the main direction to the plain areas is preferable to placement in the next direction. The function of the rainwater tanks are divided into retention, detention, intercepting the flow and sedimentation.

Structural design of rainwater tanks is dependent on their location. In the urban area is mostly built concrete tank. In their construction may use advanced technology to address the so-called white waterproof tub. Natural rainwater tank with grassy areas are designed mostly for storm sewers in the vicinity of. Currently, the construction of rainwater tanks can use special prefabricated storage systems.

Rainwater tanks are equipped with a wide range of operating and monitoring equipment. These include devices for measuring the level and flow devices for regulating flow, pumping stations, purification equipment and security object.

Rainwater tanks are not a permanent place of work. They are monitored remotely. Operating mostly tank inspections after rain events or cleaning. When the accumulation of water in rainwater tanks is the settling of suspended solids.

For the design of rainwater tanks are used simulation models or rational calculation methods. The simulation models include rainfall-runoff model for urban basin or SWMM model for the analysis of flow in river channels HEC-RAS. In the Czech Republic reported computational methods in Standard 75 6261 *Dešťové nádrže* that block and limit applied rain. These procedures are simplified calculations reported abroad. They differ mainly due to different methods of application block rain and undersizing incorporation coefficient, causing the calculation of larger storage volumes.

According to those calculations of rational methods of rainwater tanks, I worked in a *Microsoft Excel* spreadsheet program to calculate the rainwater tanks and made comparisons between practices.