Metodika výpočtu objemu akumulačních nádrží pro srážkové vody

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA STAVEBNÍ

31. PROSINCE 2021

Obsah

1. Identifikační údaje 3
2. Vymezení předmětu díla 4
3. Použité podklady 5
4. Úvod 6
5. Metody návrhu objemu akumulačních nádrží na srážkovou vodu 7
6. Návrh akumulační nádrže metodou roční bilance 9
7. Návrh akumulační nádrže metodou měsíční bilance 11
8. Závěry a doporučení 14
9. Přílohy 15
Příloha A – Návrhová data 16
A.1 Srážková data 16
A.2 Střední součinitele odtoku 17
A.3 Potřeba provozní vody 18
Příloha B – Příklady výpočtu 19
B.1 Příklad dimenzování akumulační nádrže (metodou roční bilance) 19
B.2 Příklad dimenzování akumulační nádrže (metodou měsíční bilance) 19
Příloha C – Algoritmizovaný výpočet v MS Excel 22

1. Identifikační údaje

Název díla:	**Metodika výpočtu objemu akumulačních nádrží pro srážkové vody**
Objednatel:	**Státní fond životního prostředí České republiky**
	Kaplanova 1931/1, 148 00 Praha 11
	IČ: 00020729
	DIČ: CZ00020729
Zpracovatel:	**České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební**
	Thákurova 7
	166 29 Praha 6 Dejvice
	IČ: 68407700
	DIČ: CZ68407700
	doc. Ing. David Stránský, Ph.D.
	Ing. Vojtěch Bareš, Ph.D.

2. Vymezení předmětu díla

Předmět díla je vymezen v objednávce na zhotovení metodiky pro výpočet objemu akumulačních nádrží pro srážkové vody (číslo objednávky 2021-3-036).

Účelem díla je:

1. definovat návrhové metody objemu akumulačních nádrží a vymezit jejich použitelnost,
2. podrobně popsat metody návrhu na základě ročních a měsíčních bilancí,
3. doporučit návrhové parametry metod uvedených v bodu 2,
4. definovat vstupní data z veřejných zdrojů pro metody uvedené v bodu 2,
5. uvést ukázkové výpočty dle metod uvedených v bodu 2,
6. algoritmizovat návrhový postup metod uvedených v bodu 2 v MS Excel.

3. Použité podklady

- Objednávka na zpracování metodiky č. 2021-3-036
- TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami
- TP 1.20.1 Srážkové vody a urbanizace krajiny
- Standardy hospodaření se srážkovými vodami na území hl. m. Prahy
- ČSN 75 0434 Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu
- Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- Vyhláška č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území
- ÖNORM B 2572. Grundsaetze der Regenwassernutzung, 2005
- DIN 1989-1 2001-10 Rainwater Harvesting
- Územní srážky v roce 2020, Dlouhodobé srážkové normály 1991-2020, ČHMÚ
- SPPK A02 001:2013, Výsadba stromů, AOPK ČR

4. Úvod

Akumulace srážkových vod pro jejich další využití je jednou z možností, které naplňují principy udržitelného hospodaření se srážkovou vodou ve městech. Využití srážkové vody v domácnosti může tvořit až 50 % její celkové spotřeby, využít ji lze zejména na závlahu, splachování WC, praní a úklid v domácnosti. Mimo domácnosti je možné využití pro závlahu veřejné zeleně, čištění a kropení ulic, mytí aut ad.

Využití srážkových vod podporuje i česká legislativa, a to zejména prostřednictvím vodního zákona a vyhlášky č. 501/2006 Sb. v platném znění.

Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), § 5, odst. (3)

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

Vyhláška č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území, § 20, odst. (5), písm. c)

Stavební pozemek se vždy vymezuje tak, aby na něm bylo vyřešeno

c) hospodaření se srážkovými vodami jejich

1. **akumulací s následným využitím**, vsakováním nebo výparem, pokud to hydrogeologické poměry, velikost pozemku a jeho výhledové využití umožňují a pokud nejsou vsakováním ohroženy okolní stavby nebo pozemky,

2. odváděním do vod povrchových prostřednictvím dešťové kanalizace, pokud jejich akumulace s následným využitím, vsakováním nebo výparem není možná, nebo

3. regulovaným odváděním do jednotné kanalizace, není-li možné odvádění do vod povrchových.

Znění uvedené ve vyhlášce č. 501/2006 Sb. uvádí též nový stavební zákon (s účinností od 1.1.2023) v §140, odst. 3, písm. c).

Budování akumulačních nádrží bylo též podporováno v OP ŽP a NP ŽP v programovém období 2014-2020, a to zejména v prioritní ose 1 OP ŽP, aktivita 1.3.2 Hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu a v prioritní ose 1 NPŽP, podoblast 1.5 Udržitelné a efektivní hospodaření s vodou v obcích. Existuje i místní dotační podpora formou ekodotací, např. v městě Brno či v Praze 4.

5. Metody návrhu objemu akumulačních nádrží na srážkovou vodu

Návrhové metody objektů akumulace srážkových vod se liší délkou časového kroku pro bilancování přítoku srážkových vod a jejich potřeby. Tento krok závisí především na variabilitě potřeby srážkové vody pro různé způsoby jejího užívání a na komplexitě systému. Základní návrhové metody jsou:

- **Roční bilance využitelného srážkového přítoku a potřeby vody**
  Vhodná pro objekty s pravidelným užíváním srážkových vod (například pro splachování WC). Návrh pracuje s místně příslušnými průměrnými ročními srážkovými úhrny a s délkou suchého období, pro které je nutné zajistit zásobování provozní vodou (zpravidla 21 nebo 28 dnů).
- **Měsíční bilance v průběhu roku**
  Vhodná pro objekty, kde se potřeba mění v průběhu roku, zejména v případech užívání srážkové vody pro zálivku, která probíhá ve vegetačním období. Tato metoda pracuje s místně příslušnými průměrnými měsíčními srážkovými úhrny a měsíční potřebou provozní vody. Výsledkem je vztah mezi velikostí akumulačního prostoru, efektivitou využití objemu nádrže, stupněm pokrytí potřeby provozní vody vodou srážkovou a nároky na pokrytí případného nedostatku srážkové vody vodou z jiného zdroje.
- **Denní bilance v průběhu roku**
  Vhodná pro větší a komplexní systémy a/nebo systémy s nepravidelnou potřebou vody (např. externí použití, použití mimo domácnosti, turismus atp.) a nejistým nátokem srážkových vod (např. z vegetačních střech nebo propustných zpevněných ploch). Výpočetní krok je jeden den s místně příslušnými denními srážkovými úhrny a denní potřebou provozní vody. Výsledkem je vztah mezi velikostí akumulačního prostoru, efektivitou využití objemu nádrže, stupněm pokrytí potřeby provozní vody vodou srážkovou a nároky na pokrytí případného nedostatku srážkové vody vodou z jiného zdroje.

Nároky na jednotlivé metody jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1. Podmínky použití návrhových metod objektů pro akumulaci a užívání srážkových vod

	ROČNÍ BILANCE	MĚSÍČNÍ BILANCE	DENNÍ BILANCE
SRÁŽKOVÁ DATA	Dlouhodobý průměrný roční srážkový úhrn	Dlouhodobé průměrné měsíční srážkové úhrny	Historická srážková řada denních úhrnů (délka min. 5 let)
VARIABILITA UŽÍVÁNÍ SRÁŽKOVÉ VODY	Rovnoměrná potřeba vody v průběhu roku	Výrazná změna potřeby vody v průběhu roku (zejm. při užívání pro zálivku)	Nepravidelná potřeba vody (např. externí použití, použití mimo domácnosti, turismus atp.) a nejistý nátok srážkových vod (např. z vegetačních střech)
KOMPLEXITA SYSTÉMU	Jednotlivé nemovitosti	Jednotlivé nemovitosti	Větší a komplexní systémy a/nebo systémy s nepravidelnou potřebou a nátokem srážkových vod
PROSTŘEDEK	Tabulkový procesor	Tabulkový procesor	Tabulkový procesor

V případě zapojení akumulační nádrže do série s dalšími objekty hospodaření se srážkovou vodou (např. vsakovací objekty, retenční objekty s regulací odtoku) lze využít i **metodu podrobné dlouhodobé simulace**, která detailně simuluje hydrologické a hydraulické procesy, např. počáteční ztráty deště, časově proměnlivý výpar ze sběrné plochy, časově proměnlivou vsakovací schopnost podloží či transformaci odtoku. Časové rozlišení srážek je 1-5 minut, délka srážkové řady min. 5 let. Simulaci lze provést pouze pomocí specializovaného software (např. SWWM, Mike Urban ad.).

V dalších kapitolách jsou objasněny principy stanovení akumulačního objemu pomocí roční (kap. 6) a měsíční (kap. 7) bilance. Příklady výpočtu jsou uvedeny v příloze B.

6. Návrh akumulační nádrže metodou roční bilance

Vstupní data

Vstupními daty jsou:

- dlouhodobý roční srážkový úhrn (Příloha A.1),
- údaje o odvodňované ploše (velikost, typ povrchu),
- součinitele odtoku (Příloha A.2),
- údaje o denní potřebě provozní (srážkové) vody na nemovitosti (Příloha A.3).

Postup výpočtu a vyhodnocení výsledků

Velikost akumulačního objemu V_A [m^3] se navrhuje jako menší z hodnoty využitelného množství srážkové vody a potřeby provozní vody pro předpokládanou délku suchého období 21 dní nebo 28 dní (DIN 1989-1:2001-10; ÖNORM B2572, 2005):

$$V_{\mathrm{A}} = \min \begin{Bmatrix} V_{\text{přít,a}} \\ V_{\text{potř,a}} \end{Bmatrix} \cdot \frac{R}{365} = \min \begin{Bmatrix} V_{\text{přít,a}} \\ V_{\text{potř,a}} \end{Bmatrix} \cdot \phi$$

kde

$V_{\text{přít,a}}$ je využitelné množství srážkové vody za rok [m^3],

$V_{\text{potř,a}}$ je celková roční potřeba provozní (srážkové) vody [m^3],

pro R = 21 dní je $\phi = {}^{21}/_{365} = 0{,}0575$,

pro R = 28 dní je $\phi = {}^{28}/_{365} = 0{,}0767$.

Pro potřeby OP ŽP doporučujeme hodnotu **28 dní.**

Využitelné množství srážkové vody za rok $V_{\text{přít,a}}$ [m^3] se stanoví na základě dlouhodobého ročního úhrnu srážek a redukované odvodňované plochy jako:

$$V_{\text{přít,a}} = \frac{h_{\mathrm{a}}}{1000} \cdot A \cdot \psi_{\mathrm{m}} \cdot \eta$$

kde

h_a je roční srážkový úhrn [mm] (dle Přílohy A.1),

A je půdorysný průmět odvodňované (sběrné) plochy A [m^2],

Ψ_m *je* střední (objemový) součinitel odtoku (dle Přílohy A.2),

η je součinitel ztráty ve filtru (účinnosti filtrace), zpravidla uvažovaný hodnotou 0,9.

Roční potřeba provozní (srážkové) vody $V_{\text{potř,a}}$ [m^3] se stanoví na základě součtu roční potřeby provozní vody souvisící s osobami a roční potřeby provozní vody nesouvisící s osobami.

$$V_{\text{potř,a}} = V_{\text{potř,os,a}} + V_{\text{potř,pl,a}}$$

kde

$V_{\text{potř,os,a}}$ je roční potřeba provozní (srážkové) vody souvisící s osobami [m^3],

$V_{\text{potř,pl,a}}$ je roční potřeba provozní (srážkové) vody nesouvisící s osobami [m^3].

Roční potřeba provozní (srážkové) vody souvisící s osobami $V_{\text{potř,os,a}}$ [m^3] (např. splachování WC, praní) se vypočítá jako:

$$V_{\text{potř,os,a}} = v_{\text{potř,os,d}} \cdot n \cdot 365$$

kde

$v_{\text{potř,os,d}}$ je specifická denní potřeba provozní (srážkové) vody na jednu osobu [m^3.os^{-1}.d^{-1}],

n je počet osob v budově (budovách) [os].

Roční potřeba provozní (srážkové) vody nesouvisící s počtem osob $V_{\text{potř,pl,a}}$ [m^3] (např. průmyslové a komerční využití, mytí aut apod.) se vypočítá jako:

$$V_{\text{potř,pl,a}} = v_{\text{potř,pl,d}} \cdot n \cdot 365$$

kde

$v_{\text{potř,pl,d}}$ je specifická denní potřeba provozní (srážkové) vody nesouvisící s osobami na danou jednotku (např. plochy pro zálivku) [m^3.jednotka^{-1}.d^{-1}],

n je počet měrných jednotek.

7. Návrh akumulační nádrže metodou měsíční bilance

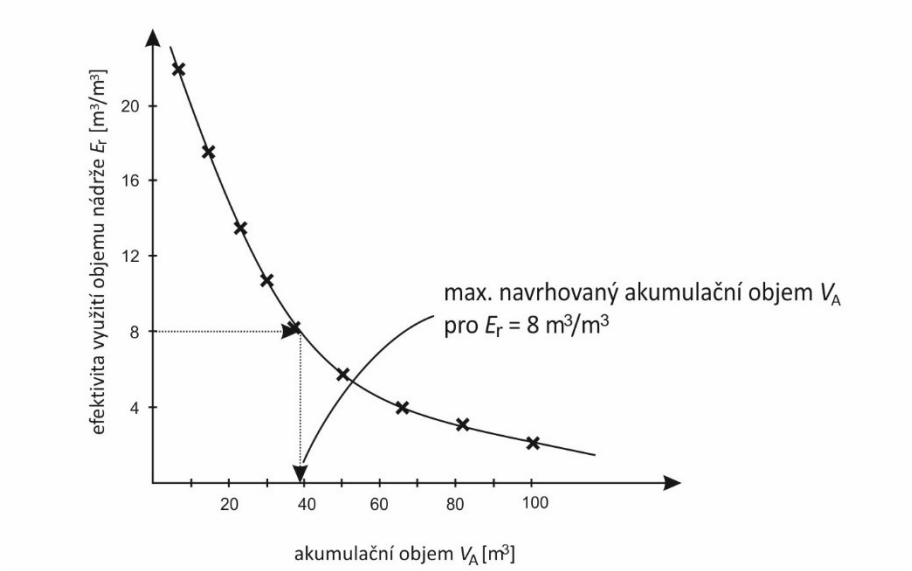
Vstupní data

Vstupními daty jsou:

- dlouhodobé měsíční srážkové úhrny (Příloha A.1),
- údaje o odvodňované ploše (velikost, typ povrchu),
- součinitele odtoku (Příloha A.2),
- údaje o denní potřebě vody na nemovitosti v jednotlivých měsících roku (Příloha A.3).

Postup výpočtu a vyhodnocení výsledků

Návrh akumulačního objemu se provádí na základě funkčního vztahu mezi velikostí **akumulačního objemu nádrže V_A** a **efektivitou využití objemu nádrže E_r**, která vyjadřuje poměr mezi celkovým odebraným objemem srážkové vody za rok a akumulačním objemem nádrže. Výpočet se tedy provádí pro různé akumulační objemy, **výsledná velikost akumulačního objemu V_A se pak stanoví na základě požadované minimální efektivity využití objemu nádrže E_r**. Příklad závislosti V_A a E_r je na Obr. 1.



Obr 1. Princip návrhu akumulačního objemu nádrže

Pro potřeby OP ŽP doporučujeme, aby **hodnota E_r nebyla nižší než 8 $m^3 \cdot m^{-3}$**.

Objem akumulační nádrže V_A [m^3] pro výpočet prvního bodu křivky závislosti V_A na E_r se stanoví odhadem, např. jako:

$V_A = 0{,}045 * A_{red}$

kde

A_{red} je redukovaná odvodňovaná plocha připojená do akumulační nádrže [m^2] a spočte se jako:

$$A_{\mathrm{red}} = \eta \cdot \sum A_i \cdot \psi_{m,i}$$

kde

η je součinitel ztráty ve filtru [-], zpravidla uvažovaný hodnotou 0,9,

A_i je půdorysný průmět dílčího typu odvodňované plochy [m^2],

$\psi_{i,m}$ je střední součinitel odtoku dílčího typu povrchu [-].

Pro výpočet dalších bodů křivky závislosti V_A na E_r se V_A volí v rozsahu alespoň 0,015 až 0,095 * A_{red}.

Pro každé zvolené V_A probíhá výpočet následovně:

Využitelné množství srážkové vody v jednotlivých měsících roku $V_{přít,m}$ [m^3] se stanoví z dlouhodobých měsíčních úhrnů srážek h_m a z redukované odvodňované plochy jako:

$$V_{\text{přít,m}} = \frac{h_{\text{m}}}{1000} \cdot A_{red}$$

kde

h_m je měsíční srážkový úhrn [mm] (dle Přílohy A.1).

Měsíční odběr srážkových vod z akumulačního zařízení $V_{odběr,m}$ [m^3] se stanoví jako:

$$V_{\text{odběr,m}} = \min\begin{Bmatrix} V_{\text{potř,m}} \\ V_{\text{A,(m-1)}} + V_{\text{přít,m}} \end{Bmatrix}$$

kde

$V_{potř,m}$ je potřeba provozní (srážkové) vody za daný měsíc [m^3],

$V_{A,(m-1)}$ je objem srážkové vody v akumulační nádrži na konci předchozího měsíce [m^3].

Pro první měsíc výpočtu se uvažuje $V_{A,(m-1)}$ = 0.

Objem srážkové vody v akumulační nádrži na konci daného měsíce $V_{A,m}$ [m^3] se stanoví jako:

$$V_{\text{A,m}} = \min\begin{Bmatrix} V_{\text{A,(m-1)}} + V_{\text{přít,m}} - V_{\text{odběr,m}} \\ V_{\text{A}} \end{Bmatrix}$$

kde

$V_{přít,m}$ je využitelné množství srážkové vody v daném měsíci [m^3],

$V_{odběr,m}$ je měsíční odběr srážkových vod z akumulační nádrže [m^3],

$V_{A,(m-1)}$ je objem srážkových vod v akumulační nádrži na konci předchozího měsíce [m^3].

Potřeba provozní (srážkové) vody na nemovitosti za daný měsíc $V_{potř,m}$ [m^3] vychází z denní potřeby vody, která je v průběhu roku nerovnoměrná. Nerovnoměrnost zpravidla souvisí s potřebou vody pro zálivku ve vegetačním období.

Měsíční potřeba vody (pro daný měsíc) $V_{potř,m}$ [m^3] se stanoví jako součet měsíčních potřeb vody souvisících a nesouvisících s osobami:

$V_{potř,m} = V_{potř,os,m} + V_{potř,pl,m}$

kde

$V_{potř,os,m}$ je měsíční potřeba provozní (srážkové) vody souvisící s osobami [m^3],

$V_{potř,pl,m}$ je měsíční potřeba provozní (srážkové) vody nesouvisící s osobami [m^3],

Měsíční potřeba provozní (srážkové) vody souvisící s osobami $V_{\text{potř,os,m}}$ [m^3] (např. splachování WC, praní, úklid) se vypočítá jako:

$$V_{\text{potř,os,m}} = v_{\text{potř,os,d}} \cdot n \cdot d$$

kde

$v_{\text{potř,os,d}}$ je specifická denní potřeba provozní (srážkové) vody na jednu osobu v daném měsíci [m^3.os^{-1}.d^{-1}],

n je počet osob v připojené budově (budovách),

d je počet dní v daném měsíci, kdy se provozní voda využívá (v bytech všechny dny v měsíci, v ostatních budovách např. v pracovních dnech apod.).

Měsíční potřeba provozní (srážkové) vody nesouvisící s počtem osob $V_{\text{potř,pl,m}}$ [m^3] (např. zavlažování zelených ploch, průmyslové a komerční využití, provozní voda) se vypočítá jako:

$$V_{\text{potř,pl,m}} = v_{\text{potř,pl,d}} \cdot n \cdot d$$

kde

$v_{\text{potř,pl,d}}$ je specifická denní potřeba provozní (srážkové) vody nesouvisící s osobami na danou jednotku (např. plochy pro zálivku) v daném měsíci [m^3.jednotka^{-1}.d^{-1}],

n je počet měrných jednotek (např. plocha pro zálivku [m^2]),

d je počet dní v daném měsíci, kdy se provozní (srážková) voda využívá.

Efektivita využití objemu nádrže E_r [m^3.m^{-3}] pro každý zvolený objem V_A se spočítá jako:

$$E_{\text{r}} = \frac{\sum V_{\text{odběr,m}}}{V_A}.$$

Užitečným ukazatelem je též **stupeň pokrytí potřeby užitkové vody C_r pro každý zvolený objem V_A**, který se spočítá jako:

$$C_{\text{r}} = \frac{\sum V_{\text{odběr,m}}}{\sum V_{\text{potř,m}}} \cdot 100\%.$$

8. Závěry a doporučení

V rámci zpracované metodiky byly podrobně popsány dva nejvíce používané způsoby návrhu objemu akumulačních nádrží, a to v kontextu českých a mezinárodních technických standardů. Obě metody zahrnují volitelné parametry, které určují návrhový objem akumulačních nádrží. Některé z těchto parametrů jsou dány charakterem stavby vč. místních podmínek, velikosti a charakteru sběrné plochy a potřeby vody. Další parametry jsou volitelné, a to zejména předpokládaná délka suchého období *R* (u metody roční bilance) a efektivita využití objemu nádrže E_r (u metody měsíčních bilancí).

Pro výpočet objemu akumulačních objemů pro potřeby OP ŽP doporučujeme:

- využití srážkových dat dle Přílohy A.1 této zprávy,
- využití odtokových součinitelů dle Přílohy A.2 této zprávy,
- využití potřeb užitkové vody dle přílohy A.3 této zprávy (pokud nebudou využity podrobnější výpočty dle příslušných standardů),
- stanovení délky suchého období na ***R* = 28 dní** (u metody ročních bilancí),
- stanovení efektivity využití objemu nádrže na min. $\boldsymbol{E_r = 8\ m^3.m^{-3}}$ (u metody měsíčních bilancí).

9. Přílohy

Příloha A – Návrhová data

A.1 Srážková data

A.2 Střední součinitele odtoku

A.3 Potřeba provozní vody

Příloha B – Příklady výpočtu

B.1 Příklad dimenzování akumulační nádrže (metodou roční bilance)

B.2 Příklad dimenzování akumulační nádrže (metodou měsíční bilance)

Příloha C – Algoritmizovaný výpočet v MS Excel

Příloha A – Návrhová data

A.1 Srážková data

Dlouhodobé roční úhrny platné pro jednotlivé kraje jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab 2. Hodnoty ročního srážkového úhrnu h_a (zdroj: dlouhodobý srážkový normál ČHMÚ 1991-2020)

Kraj	Roční srážkový úhrn h_a (mm)
Hlavní město Praha	583
Jihočeský kraj	693
Jihomoravský kraj	561
Karlovarský kraj	728
Královehradecký kraj	732
Liberecký kraj	849
Moravskoslezský kraj	811
Olomoucký kraj	718
Pardubický kraj	702
Plzeňský kraj	686
Středočeský kraj	583
Ústecký kraj	642
Vysočina	675
Zlínský kraj	771

Dlouhodobé měsíční úhrny platné pro jednotlivé kraje jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab 3. Hodnoty měsíčních srážkových úhrnů h_m (zdroj: dlouhodobý srážkový normál ČHMÚ 1991-2020)

Kraj	Měsíční srážkový úhrn h_m (mm)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Hlavní město Praha	33	28	38	31	64	77	79	72	48	41	36	36
Jihočeský kraj	42	33	47	39	75	92	94	85	56	48	41	41
Jihomoravský kraj	29	25	35	33	61	71	76	66	56	40	36	33
Karlovarský kraj	57	45	52	39	63	77	84	76	63	55	55	62
Královehradecký kraj	56	45	53	37	69	77	93	77	60	54	52	59
Liberecký kraj	72	57	63	41	70	87	99	91	68	63	65	73
Moravskoslezský kraj	43	42	51	52	90	99	110	84	83	60	51	46
Olomoucký kraj	45	39	48	43	75	84	95	74	69	52	48	46
Pardubický kraj	48	39	49	38	72	79	95	77	62	48	46	49
Plzeňský kraj	46	37	46	40	68	85	86	80	53	50	45	50
Středočeský kraj	33	28	38	31	64	77	79	72	48	41	36	36
Ústecký kraj	43	35	42	33	62	75	81	78	54	47	45	47
Vysočina	45	36	47	37	71	80	89	79	59	46	43	43
Zlínský kraj	48	46	51	50	79	87	98	75	73	58	53	53

A.2 Střední součinitele odtoku

Hodnoty středního (objemového) součinitele odtoku ψ_m jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab 4. Hodnoty středního (objemového) součinitele odtoku ψ_m

Typ odvodňované plochy	Druh povrchu	Součinitel odtoku ψ_m
Šikmé střechy	Kovové plechy, sklo, další nenasákavé materiály	0,95
	Střešní tašky, asfaltové pásy s posypem	0,90
Ploché střechy (sklon ≤ 5 %)	Kovové plechy, sklo, další nenasákavé materiály	0,95
	Střešní tašky, asfaltové pásy s posypem	0,90
	Štěrkové střechy[1]	0,65
Vegetační střechy[1]	Mocnost substrátu 40 - 60 mm	0,55
	Mocnost substrátu 60 - 100 mm	0,50
	Mocnost substrátu 100 - 150 mm	0,45
	Mocnost substrátu 150 - 250 mm	0,40
	Mocnost substrátu 250 - 500 mm	0,30
	Mocnost substrátu > 500 mm	0,10
Vozovky, chodníky, náměstí	Asfalt, beton beze spár	0,90
	Dlažba s vyplněnými spárami	0,75
	Hutněný štěrk	0,60
	Dlažba s propustnými spárami 15 %[2]	0,50
	Dlažba s propustnými spárami 35 %[2]	0,40
	Dlažba s propustnými spárami 50 %[2]	0,30
	Štěrk, zatravněný štěrk	0,30
	Zatravňovací / vegetační rošty, mřížky, dlaždice	0,20
Zemní svahy, náspy, příkopy	Jílovitá půda	0,50
	Hlinito-písčitá půda	0,40
	Písčitá půda	0,30
Zatravněné plochy, sady, zahrady	Ploché	0,05
	Sklonité	0,20

[1]Pokud je součástí střechy s retenční vrstvou též akumulační vrstva, lze součinitel odtoku snížit (nutno doložit informací od výrobce či výpočtem)

[2]podíl plochy propustných spár na celkové výměře dlažby s propustnými spárami

A.3 Potřeba provozní vody

Provozní vodu lze využít pro řadu činností, zejména:

- splachování WC,
- praní prádla,
- úklid prostor,
- závlahu,
- kropení sportovních hřišť,
- mokré čištění ulic a veřejných prostranství,
- kropení ulic a veřejných prostranství,
- mytí vozidel,
- jiné vhodné činnosti.

Potřeba na výše uvedené činnosti může být během roku rovnoměrná (např. užívání srážkové vody na splachování v bytovém domě) nebo nerovnoměrná (závlaha, čištění či kropení ulic, splachování WC v turistických oblastech s nerovnoměrným provozem apod.). Podle rovnoměrnosti využití vody během roku se volí návrhová metoda (viz kap. 5).

V Tab. 5 jsou uvedeny typické potřeby provozní vody pro různé činnosti (kromě závlahy).

Tab. 5. Typické potřeby provozní vody pro různé činnosti (dopručené hodnoty pokrývají cca 65 % případů)

Činnost	Potřeba		Doporučená hodnota pro potřeby OP ŽP	Zdroj
Splachování WC	18 – 30	$l.os^{-1}.d^{-1}$	25 $l.os^{-1}.d^{-1}$	TP 1.20.1 Srážkové vody a urbanizace krajiny
Praní prádla	12 – 18	$l.os^{-1}.d^{-1}$	15 $l.os^{-1}.d^{-1}$	
Úklid domácnosti	1 – 2	$l.os^{-1}.d^{-1}$	2 $l.os^{-1}.d^{-1}$	
Mytí aut	dle typu myčky a typu vozidla		---	---
Mokré čištění ulic	dle typu čištění a použité techniky		---	
Kropení ulic	dle typu čištění a použité techniky		---	

Typické hodnoty potřeby provozní vody pro závlahu jsou uvedeny v Tab. 6. Hodnoty ideálních srážek jsou upraveny z ČSN 75 0434 s uvážením nárůstu teploty v důsledku změny klimatu o 2 °C. Od hodnoty ideální srážky v daném měsíci se odečte srážkový úhrn dle Tab. 3, doplněk pak vyjadřuje potřebné závlahové množství.

Tab. 6. Typické potřeby provozní vody pro závlahu (dopručené hodnoty pokrývají cca 65 % případů)

Vegetace		IV od-do	V od-do	VI od-do	VII od-do	VIII od-do	IX od-do	X od-do
Intenzivní trávník *(doporuč. pro OP ŽP)*	Ideální srážka [mm]	60-75 *(70)*	70-90 *(83)*	80-110 *(100)*	90-120 *(110)*	80-110 *(100)*	60-75 *(70)*	
Ovocné stromy (sad) *(doporuč. pro OP ŽP)*		47-80 *(69)*	72-96 *(88)*	73-109 *(97)*	72-122 *(105)*	60-91 *(81)*	49-68 *(62)*	44-57 *(53)*
Zelenina *(doporuč. pro OP ŽP)*		40-59 *(53)*	60-90 *(80)*	67-109 *(95)*	74-114 *(101)*	72-118 *(103)*	61-97 *(85)*	30-35 *(34)*
Stromy (nové výsadby 2-3 roky)			120 $l.strom^{-1}$ 1x za 14 dní v období V-IX					
Parky		dle rozlohy intenzivních trávníků						

Pro výpočet doplňkové závlahy lze použít podrobný výpočet dle ČSN 75 0434 Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu a Standardy péče o přírodu a krajinu (SPPK) A02 001:2013, Výsadba stromů.

Příloha B – Příklady výpočtu

B.1 Příklad dimenzování akumulační nádrže (metodou roční bilance)

Zadání

Má se stanovit objem akumulační nádrže u obecního úřadu v Jihočeském kraji. Srážková voda bude svedena z kovové šikmé střechy domu o půdorysném průmětu 150 m^2. Srážková voda má být použita pro splachování, jehož specifická denní potřeba je 20 l.os^{-1}. V budově pracuje šest osob. Nádrž se navrhuje na délku suchého období 28 dní, součinitel ztráty ve filtru η se uvažuje hodnotou 0,9.

Princip řešení

Velikost akumulačního objemu V_A se navrhuje jako menší z hodnoty využitelného množství srážkové vody a potřeby provozní vody pro předpokládanou délku suchého období jako:

$$V_A = \min\begin{Bmatrix} V_{přít,a} \\ V_{potř,a} \end{Bmatrix} \cdot \frac{R}{365} = \min\begin{Bmatrix} V_{přít,a} \\ V_{potř,a} \end{Bmatrix} \cdot \phi$$

Výpočet akumulačního objemu

Využitelné množství srážkové vody za rok $V_{přít,a}$ [m^3] se stanoví na základě dlouhodobého ročního úhrnu srážek 693 mm (Příloha A.1) a redukované odvodňované plochy jako:

$$V_{přít,a} = \frac{h_a}{1000} \cdot A \cdot \psi_m \cdot \eta = \frac{693}{1000} \cdot 150 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}9 = 88{,}9\ \mathrm{m}^3$$

Roční potřeba provozní (srážkové) vody $V_{potř,a}$ [m^3] se stanoví na základě roční potřeby provozní vody souvisící s osobami.

$$V_{potř,a} = V_{potř,os.a} = v_{potř,os,d} \cdot n \cdot 365 = 0{,}020 \cdot 6 \cdot 365 = 43{,}8\ \mathrm{m}^3$$

Velikost akumulačního objemu V_A [m^3] se navrhne jako pro předpokládanou délku suchého období 28 dní:

$$V_A = \min\begin{Bmatrix} V_{přít,a} \\ V_{potř,a} \end{Bmatrix} \cdot \frac{R}{365} = min\begin{Bmatrix} 88{,}9 \\ 43{,}8 \end{Bmatrix} \cdot \frac{28}{365} = 43{,}8 \cdot \frac{28}{365} = 3{,}4\ \mathrm{m}^3$$

Navržený objem akumulační nádrže je 3,4 m^3 (případně nejbližší vyšší dle výrobní řady).

B.2 Příklad dimenzování akumulační nádrže (metodou měsíční bilance)

Zadání

Má se stanovit objem akumulační nádrže u budovy školy v Královehradeckém kraji. Srážková voda bude svedena z ploché štěrkové střechy budovy o půdorysném průmětu 1050 m^2 a šikmé taškové střechy o půdorysném průmětu 160 m^2. Srážková voda má být použita pro závlahu zatravněné plochy o půdorysném průmětu 3000 m^2. Denní potřeba závlahy $v_{potř,pl,d}$ v jednotlivých měsících je:

- v dubnu 0,8 l.m^{-2}.d^{-1},
- v květnu 0,6 l.m^{-2}.d^{-1},
- v červnu 1,0 l.m^{-2}.d^{-1},
- v červenci 0,8 l.m^{-2}.d^{-1},
- v srpnu 0,8 l.m^{-2}.d^{-1},
- v září 0,3 l.m^{-2}.d^{-1}.

Začátkem října dojde k vypuštění nádrže, ta je v zimě obtékána. Nádrž se na zdroj vody znovu připojí v březnu, aby pro dubnovou zálivku byla předzásobena.

Součinitel ztráty ve filtru η se uvažuje hodnotou 0,9.

Cílem je navrhnout objem akumulační nádrže tak, aby efektivita využití objemu nádrže E_r nebyla nižší, než 8 $m^3.m^{-3}$.

Princip řešení

Návrh akumulačního objemu se provádí na základě funkčního vztahu mezi velikostí akumulačního objemu nádrže V_A a efektivitou využití objemu nádrže E_r. Výpočet se tedy provádí pro různé akumulační objemy, výsledná velikost akumulačního objemu V_A se pak stanoví na základě požadované efektivity využití objemu nádrže E_r.

Výpočet akumulačního objemu

Výpočet se provádí pro řadu různých objemů akumulační nádrže V_A v rozsahu 0,015.A_{red} až 0,095.A_{red} v kroku např. 0,01.A_{red}.

Dále je výpočet proveden na příkladu V_A = 0,045.A_{red}.

Nejdříve je nutné vypočítat objem akumulační nádrže V_A (příslušné střední součinitele odtoku ψ_m jsou uvedeny v Příloze A.2):

$$V_A = 0{,}045 \cdot A_{red} = 0{,}045 \cdot A \cdot \psi_m \cdot \eta = 0{,}045 \cdot (1050 \cdot 0{,}65 + 160 \cdot 0{,}9) \cdot 0{,}9 = 33{,}47\ m^3$$

Výpočet měsíční bilance

Dále jsou spočteny využitelné množství srážkové vody v jednotlivých měsících $V_{přít,m}$ a potřeba provozní (srážkové) vody v jednotlivých měsících $V_{potř,m}$ (výpočet vzorově proveden pro měsíc červen). Měsíční srážkové úhrny jsou uvedeny v Příloze A.1. Vzhledem k obtoku nádrže v mimovegetační sezóně je přítok do nádrže v měsících říjen až únor nulový:

$$V_{přít,m} = \frac{h_m}{1000} \cdot A \cdot \psi_m \cdot \eta = \frac{77}{1000} \cdot (1050 \cdot 0{,}65 + 160 \cdot 0{,}9) \cdot 0{,}9 = 57{,}3\ m^3$$

$$V_{potř,m} = V_{potř,pl.m} = v_{potř,pl,d} \cdot n \cdot d = \frac{1{,}0 \cdot 3000 \cdot 30}{1000} = 90{,}0\ m^3$$

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$V_{přít,m}$ [m^3]	0	0	39,4	27,5	51,3	57,3	69,2	57,3	44,6	0	0	0
$V_{potř,m}$ [m^3]	0	0	0	72,0	55,8	90,0	74,4	74,4	27,0	0	0	0

Dále se spočte bilance plnění a prázdnění nádrže $V_{A,m}$ na základě uvažovaného objemu akumulační nádrže V_A, měsíčního odběru srážkových vod z nádrže $V_{odběr,m}$ a přítoku srážkové vody do nádrže $V_{přít,m}$, přičemž se na konci února uvažuje nádrž jako prázdná:

$$V_{odběr,m} = \min\begin{Bmatrix} V_{potř,m} \\ V_{A,(m-1)} + V_{přít,m} \end{Bmatrix} = \min\begin{Bmatrix} 90{,}0 \\ 0 + 57{,}3 \end{Bmatrix} = 57{,}3\ m^3$$

$$V_{A,m} = \min\begin{Bmatrix} V_{A,(m-1)} + V_{přít,m} - V_{odběr,m} \\ V_A \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 + 57{,}3 - 57{,}3 \\ 33{,}5 \end{Bmatrix} = 0\ m^3$$

Pozn.: $V_{A,(m-1)}$ pro první měsíc výpočtu se uvažuje jako 0.

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$V_{odběr,m}$ [m^3]	0	0	0	61,0	51,3	57,3	69,2	57,3	27,0	0	0	0
$V_{A,m}$ [m^3]	0	0	33,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,6	0	0	0

Výpočet efektivity využití objemu nádrže

Závěrečným krokem je výpočet efektivity využití objemu nádrže E_r pro zvolený objem V_A:

$$E_r = \frac{\sum V_{odběr,m}}{V_A} = \frac{61{,}0 + 51{,}3 + 57{,}3 + 69{,}2 + 57{,}3 + 27{,}0}{33{,}47} = \frac{323{,}1}{33{,}47} = 9{,}65\ \frac{m^3}{m^3}$$

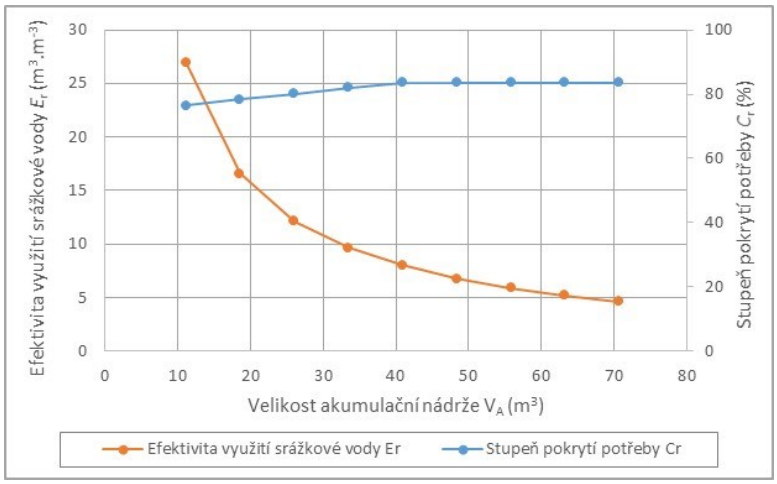
Pro informaci lze též spočítat stupeň pokrytí potřeby užitkové vody C_r:

$$C_r = \frac{\sum V_{odběr,m}}{\sum V_{potř,m}} \cdot 100 = \frac{61{,}0 + 51{,}3 + 57{,}3 + 69{,}2 + 57{,}3 + 27{,}0}{72{,}0 + 55{,}8 + 90{,}0 + 74{,}4 + 74{,}4 + 27{,}0} = \frac{323{,}1}{393{,}6} \cdot 100 = 82{,}1\ \%$$

Kontrukce vztahu mezi akumulačním objemem a efektivitou využití objemu nádrže

V předchozím kroku byl spočten jeden bod funkčního vztahu mezi V_A a E_r, příp. i C_r. Výsledek výpočtu pro všechny body je uveden v tabulce, graf znázorňuje celou závislost V_A na E_r.

vztah k A_{red}	0,015A_{red}	0,025A_{red}	0,035A_{red}	0,045A_{red}	0,055A_{red}	0,065A_{red}	0,075A_{red}	0,085A_{red}	0,095A_{red}
V_A [m^3]	11,16	18,60	26,03	33,47	40,91	48,35	55,79	63,23	70,67
E_r [m^3.m^{-3}]	26,95	16,57	12,12	9,65	8,04	6,80	5,90	5,20	4,66
C_r [%]	76,4	78,3	80,2	82,1	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6



Vzhledem k tom, že je nádrž navrhována na minimální hodnotu E_r = 8 m^3.m^{-3}, je třeba interpolovat mezi velikostí nádrže V_A = 40,91 a 48,35 m^3, tak, aby byla cílová hodnota E_r nalezena. Výsledkem interpolace je V_A = 41,16 m^3.

Maximální velikost akumulační nádrže je tedy 41 m^3 (po zaokrouhlení).

Příloha C – Algoritmizovaný výpočet v MS Excel

Soubor algoritmizovaného výpočtu návrhu objemu akumulační nádrže metodou roční a měsíční bilance je předán jako samostatná příloha této zprávy v elektronické podobě.

Název souboru: Navrh_akumulacni_nadrze.xlsx