

**Výzkumný ústav SILVA TAROUČY pro krajinu a okrasné
zahradnictví, v. v. i.
252 43 Průhonice**

**LABORATORNÍ HODNOCENÍ ODTOKU SRÁŽEK
Z EXTENZIVNÍCH ZELENÝCH STŘECH – STANOVENÍ
SOUČiniteLE ODTOKU**

**Z_{tech} – Ověřená technologie
OT 1/2023-053**

Technická dokumentace a uplatnění výsledku

Název projektu: **Interní projekt v rámci spolupráce VÚKOZ v. v. i. s
firmou ACRE spol. s r. o., Praha**

Číslo projektu: **financováno z institucionální podpory
(VUKOZ-IP-00027073)**

Autoři: **Ing. Martin Dubský, Ph.D.
Ing. Hana Šímová**

Listopad 2023

Laboratorní hodnocení odtoku srážek z extenzivních zelených střech – stanovení součinitele odtoku

Abstrakt

Součinitel odtoku charakterizuje u vegetačního souvrství zelených střech schopnost odvádět srážkovou vodu. Je závislý na mocnosti, skladbě a sklonu vegetačního souvrství. Tabulkové součinitele odtoku se používají k dimenzování drenážní vrstvy a odvodnění zelené střechy. Laboratorně stanovené součinitele odtoku se používají k detailní charakteristice konkrétního souvrství a k optimalizaci jeho hydrofyzikálních vlastností.

V ověřené technologii je popsáno laboratorní stanovení součinitele odtoku z extenzivních zelených střech při různém nasycení vegetačního souvrství a sklonu střechy, 1,72° (3 %) až 45°. Hodnota součinitele odtoku je závislá na použité laboratorní metodě, především na počátečním nasycení vegetačního souvrství. Cílem projektu bylo ověřit vliv počátečního nasycení vegetačního souvrství extenzivních zelených střech na stanovení součinitele odtoku a navrhnout nasycení vegetačního souvrství, které odpovídá stavu při delším období bez srážek.

Při měření součinitele odtoku při maximálním nasycení vegetačního souvrství byla stanovena i hydroakumulační kapacita vegetačního souvrství a maximální plošná hmotnost nasyceného vegetačního souvrství. Laboratorně stanovené hodnoty byly u dvou modelových souvrství porovnány s venkovním měřením v průběhu vegetačního období.

Klíčová slova: zelená střecha, vegetační souvrství, součinitel odtoku, hydroakumulační kapacita

Abstract

The runoff coefficient describes the ability of vegetation stratum of green roofs to discharge the rainwater. The coefficient is depending on the thickness of the bulk-material layer and roof pitch. The reference values are used to dimensioning the drainage layer and the total green roof drainage. The runoff coefficient determined in the laboratory are used for detail characteristic of the specific vegetation stratum and for optimization its hydrophysical properties.

The verified technology describes the laboratory determination of the runoff coefficient of extensive green roofs at different saturation of the vegetation layer and roof slope, 1.72° (3%) to 45°. The value of the runoff coefficient depends on the laboratory method used, especially on the initial saturation of the vegetation formation. The aim of the project was to verify the influence of the initial saturation of the vegetation stratum of extensive green roofs on the determination of the runoff coefficient and to propose the saturation of the vegetation formation, which corresponds to the state during a longer period without precipitation.

When measuring the runoff coefficient at the maximum saturation of the vegetation layer, the of the vegetation formation and the maximum surface weight of the saturated vegetation layer were also determined. Laboratory values were compared with outdoor measurements during the growing season.

Key words: green roof, vegetation stratum, runoff coefficient, hydroaccumulation capacity

OBSAH

1	ÚVOD	4
2	CÍL A METODICKÝ POSTUP	6
3	TECHNICKÁ ZPRÁVA	7
3.1	Pracoviště ověřování	7
3.2	Termín ověřování	7
3.3	Popis ověřované technologie	8
3.3.1	Skladba vegetačních souvrství	8
3.3.2	Hodnocení součinitele odtoku při sklonu 3 %	12
3.3.3	Hodnocení součinitele odtoku při sklonu 1,72° (3 %) až 45°	15
3.3.4	Hodnocení vegetačního pokusu, odtok přirozených srážek	19
4	ZÁVĚREČNÉ KONSTATOVÁNÍ	22
5	SMLOUVA O UPLATNĚNÍ OVĚŘENÉ TECHNOLOGIE	25
6	SEZNAM POUŽITÉ A SOUVISEJÍCÍ LITERATURY	25
7	PŘÍLOHA –FOTODOKUMENTACE	27

1 Úvod

Součinitel odtoku a maximální nasycení extenzivních vegetačních souvrství extenzivních zelených střech závisí na jejich složení (např. použití hydroakumulační desky) a sklonu. Součinitel odtoku (C), podíl odtoku srážkové vody a celkových srážek, je bezrozměrné číslo, jehož maximální hodnota je rovna 1, např. při $C = 0,7$ odteče 70 % srážek. Součinitel odtoku obecně charakterizuje schopnost vegetačního souvrství zelených střech odvádět srážkovou vodu, zadržet srážky a zpomalit jejich odtok.

Tabulkové součinitele odtoku se používají pro návržení drenážní vrstvy, odvodnění střechy (vpusti) a dimenze svodů a kanalizačního potrubí. Základní informace poskytuje publikace Vegetační souvrství zelených střech – standardy pro navrhování, provádění a údržbu (dále Standardy), která je k dispozici <http://www.zelenestrechy.info/cs/>.

Ve Standardech jsou uvedeny tabulkové hodnoty podle ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace (2014) i hodnoty ze zahraničních norem DIN 1986-100, ÖNORM B 2501 i FLL 2018 (příklady viz tab. 1). Vzhledem k detailnějšímu zpracování doporučují Standardy pracovat s hodnotami dle mezinárodně uznávané směrnice pro zelené střechy FLL.

Pro dimenzování drenážní vrstvy a výpočet odvodnění střechy je klíčový odvod vody při přivalovém dešti. Požadovaný výkon drenážní vrstvy se stanovuje podle tabulkového součinitele odtoku a vypočítá se jako celkový odtok dešťové vody ze střechy $q' [L/s/m^2] = A \times C \times q/b$, kde A je odvodňovaná plocha $[m^2]$, C tabulkový součinitel odtoku, b výpočtová odtoková šířka – volná šířka u vpusti nebo žlabu $[m]$ a q návrhový 15minutový déšť $[L/s/m^2]$, (např. Praha 19,5 mm = 0,0217 L/s/m² – nejvyšší tabulková hodnota v ČR, Plzeňsko 17,5 mm = 0,0194 L/s/m²).

Tab. 1 Tabulkové součinitele odtoku srážkové vody C podle mocnosti vegetačního souvrství a sklonu střechy, podle Standardy SZÚZ (2019).

Mocnost souvrství	ČSN 75 6760		FLL (2018) *	
	sklon <5 % (2,7°)	sklon >5 % (2,7°)	sklon <5° (8,7 %)	sklon >5° (8,7 %)
2–4 cm	0,7	0,8	0,7	0,8
4–6 cm			0,6	0,7
6–8 cm			0,5	0,6
8–10 cm			0,5	0,6
10–15 cm	0,4	0,5	0,4	0,45

* Součinitel špičkového odtoku při intenzitě srážek 27 mm za 15 min.

Součinitel odtoku pro konkrétní vegetační souvrství lze stanovit na základě měření v laboratoři. Metody stanovení nejsou ve Standardech popsány. Ve směrnici FLL (2018) je popsána metoda stanovení koeficientu odtoku C při intenzitě srážek 27 mm za 15 min (27 L/m²). Měření se provádí 24 hodin po maximálním nasycení vegetačního souvrství bez vegetačního krytu. V ČR se stanovují součinitele odtoku ve zkušebně VÚT Brno rovněž při umělých srážkách 27 mm vody za 15 min. Počáteční vlhkost měřené skladby, případně substrátu je uváděna v procentech hmotnostních s rozpětím $e 25 \pm 5$ % hm.

Hodnota součinitele odtoku přirozeně závisí na počátečním nasycení před měřením a na velikosti srážek, umělých srážek při laboratorním měření, resp. na přirozených srážkách při měření in situ. Jeho hodnotu je nutné vždy posuzovat v kontextu použité metody stanovení.

Při měření v přirozených podmínkách mají, vedle složení a výšky souvrství, na velikost odtoku srážek výrazný vliv sezónní srážkové úhrny (Villarreala et al., 2005), extenzivní zelená střecha (Mentens et al., 2006) je schopna roční odtok zredukovat o 27–81 %.

Parametry extenzivních vegetačních souvrství – součinitel odtoku a maximální nasycení jsou ve Výzkumném ústavu SILVA TAROUČY pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i. (VÚKOZ) hodnoceny od roku 2021. V tomto roce začaly některé dodavatelské firmy uvádět hodnoty součinitele odtoku a další parametry získané při jeho stanovení jako jeden z parametrů vegetačního souvrství bez detailní specifikace použité metody stanovení. Požadavek na velikost součinitele odtoku byl v období od 21. 9. 2021 do 26. 9. 2023 zahrnut i do podmínek pro získání dotace od SFŽP v rámci programu Nová zelená úsporám při Národním plánu obnovy RODINNÉ DOMY podoblast D2 zelená střecha. V dotačních podmínkách nebyly specifikovány metody stanovení součinitele odtoku.

Z hlediska složení vegetačního souvrství zelených střech byly v dotačních podmínkách tři zásadní podmínky. Zelené střechy musí být navrženy v souladu s publikací Standardy. Geotextilie pro ochranu hydroizolačních vrstev musí mít plošnou hmotnost min. 500 g/m². Vegetační souvrství dle typu realizované zelené střechy musí splnit min. požadavek na odtokové součinitele: plochá extenzivní (sklon pod 12°) – $C \leq 0,55$; šikmá (sklon nad 12°) – $C \leq 0,7$; plochá intenzivní – $C \leq 0,1$. Ve Standardech (2019) je rozdělení zelených střech podle sklonu odlišné od parametrů SFŽP, plochá střecha má sklon pod 5° (8,7 %), mírný sklon představuje 5°–20° a velký sklon 20°–45°.

V aktuálním podprogramu Nová zelená úsporám programu pro rodinné a bytové domy byly dotační podmínky (www.novazelenausporam.cz) platné od 26. 9. 2023 výrazně zjednodušeny. Zelené střechy musí být navrženy v souladu s dokumentem Standardy a extenzivní zelená střecha (sklon $\leq 15^\circ$) a šikmá zelená střecha (sklon $> 15^\circ$) musí mít minimální tloušťku vegetačního souvrství 75 mm. Tomuto zjednodušení přispěla i měření provedená ve VÚKOZ Průhonice, která byla průběžně publikována v časopise Zahradnictví (viz Seznam použité literatury, str. 25).

Pro orientaci v dané problematice byla v laboratorních podmínkách VÚKOZ Průhonice od dubna 2021 provedena modelová měření, při kterých byl použit maloplošný panel 0,37 m (odtoková hrana) \times 0,57 m. Standardní simulovaný déšť (27 mm/15 min.) byl aplikován pomocí závlahových trysek, v rámci měření bylo testováno různé počáteční nasycení vegetačního souvrství.

V průběhu měření ve VÚKOZ byly v říjnu roku 2021 na základě konzultací s SFŽP určeny dvě metody, resp. dva počáteční stavy nasycení vegetačního souvrství pro stanovení součinitele odtoku pro získání výše uvedené dotace. Pro sycení bylo možné použít německou metodu popsanou ve směrnici FLL (2018) nebo metodu VÚT Brno, která je popsána na webových stránkách VÚT <https://www.vut.cz/vav/vysledky/detail/169916>.

Na laboratorní hodnocení navázal maloplošný vegetační pokus s použitím výše uvedeného panelu o velikosti 0,37 m \times 0,57 m pro stanovení nasycení vegetačního souvrství a odtoku srážek v průběhu vegetační sezóny. V přirozených venkovních podmínkách v areálu VÚKOZ byly porovnány 2 modelové skladby vegetačního souvrství bez rozchodníkového koberce při sklonu 3 % (1,7°). To je minimální doporučený sklon povrchu k odvodňovacím prvkům pro ploché zelené střechy.

Hodnocením minerálních střešních substrátů a použitím hydrofilní plsti při zakládání zelených střech se pracovníci VÚKOZ se zabývají od roku 2011, kdy tuto problematiku začali řešit v rámci projektu TAČR TA01020252 Nové komponenty pro střešní substráty ve spolupráci s firmou ACRE spol. s r. o. Projekt byl realizován v období 2011–2014.

Spolupráce s firmou ACRE pokračovala i po ukončení projektu v rámci tříleté implementace výsledků projektu do praxe a trvá až do současnosti. V rámci této spolupráce byly podány dva užité vzory, které se týkají extenzivních střešních substrátů a vegetační vrstvy pro šikmé a strmé zelené střechy na bázi hydrofilní minerální plsti se zpomalovači odtoku.

Při hodnocení střešních substrátů a hydroakumulačních panelů laboratoř VÚKOZ spolupracovala od roku 2012 s Odbornou sekci Zelené střechy při Svazu zakládání a údržby zeleně, z. s. Poznatky z tohoto hodnocení byly zapracovány do publikace Vegetační souvrství zelených střech – standardy pro navrhování, provádění a údržbu (dále Standardy), kterou vydala Odborná sekce Zelené střechy v roce 2016 i do revidované verze z roku 2019. Standardy jsou k dispozici na webových stránkách sekce (<http://www.zelenestrechy.info/cs/>).

2 Cíl a metodický postup

Cílem projektu bylo ověřit metody, resp. počáteční stav nasycení vegetačního souvrství extenzivních zelených střech při laboratorním stanovení součinitele odtoku a navrhnout nasycení vegetačního souvrství, které odpovídá stavu při delším období bez srážek.

V ČR jsou popsány dvě metody stanovení součinitele odtoku vegetačního souvrství zelených střech – **metody FLL a VÚT Brno**.

Ve směrnici FLL (2018) je popsána metoda stanovení koeficientu odtoku C při vysoké intenzitě srážek 27 mm za 15 min (27 L/m²). Testovací panel s hodnoceným vegetačním souvrstvím má rozměry 5 × 1 m a sklon 2 %. Takto naměřené koeficienty platí pro střechy se sklonem do 5° (8,7 %). Pro střechy s vyšším sklonem je možné stanovit součinitel odtoku při 5°, 10° a 15°. Stanovuje se součinitel špičkového odtoku (C_{peak}), který udává odtok během návrhového deště o dané intenzitě a trvání. Vypočítá se podle vzorce: $C_{\text{peak}} = \text{hodnota výtoku za 15 min} / \text{součet simulovaného 15min deště}$. Měření se provádí 24 hodin po maximálním nasycení vegetačního souvrství bez vegetačního krytu. Sytící závlaha (s intenzitou 27 mm za 15 min) se provádí, dokud stálý odtok vody z testovacího panelu netrvá 10 minut. Po 24hodinové drenáži je v rámci měření ustanovena maximální vodní kapacita vegetačního souvrství a aplikuje se simulovaný dešť.

Zkušebna VÚT Brno hodnotí součinitele odtoku rovněž při umělých srážkách 27 mm vody za 15 min. Velikost referenční plochy je 1,4 až 2,3 m² (laboratoř používá čtvercovou plochu o rozměrech 1,5 × 1,5 m). Měření se provádí při sklonech 1° (1,7 %) a 5° (8,7 %) u plochých střech a 10° (17,6 %) a 20° (36,4 %) u šikmých střech. U extenzivních zelených střech se hodnotí vegetační souvrství včetně rozchodníkového koberce. Ten musí být před měřením uložen nejméně 48 hodin na instalovaném vzorku.

Měřená souvrství jsou vystavena intenzitě srážek 27 mm za 15 minut. Poté se nechají volně přirozeně vyschnout, přičemž požadovaný obsah vlhkosti měřeného vzorku je 25±5 % hmotnostních. Tato vlhkost má dle sdělení laboratoře představovat nasycení souvrství při období bez dlouhodobých intenzivních srážek. V rámci měření se mají získat základní strukturální a fyzikální chování souvrství, které lze dále využít v běžné stavební praxi.

V rámci měření se stanoví součinitel špičkového odtoku (C_{peak}) i další parametry, které umožňují hodnocení změny odtoku v čase. Např. součinitel celkového odtoku (C_{celk}) charakterizuje odtok po dobu 30 minut od zahájení referenčních srážek, v metodice označen C_{1800} (30 min = 1800 sec). Spočítá se podle vzorce $C_{\text{celk}} = \text{hodnota výtoku za 30 min} / \text{součet 15min simulovaného deště}$.

Fyzikální laboratoř VÚKOZ nemá k dispozici velkorozměrové měřicí zařízení. Pro stanovení součinitele odtoku byla proto použita jednoduchá laboratorní metoda s maloplošným obdélníkovým panelem o rozměru 0,37 (odtoková hrana) × 0,57 m, s plochou 0,2109 m². Maximální hmotnost měřicího zařízení s nasyceným vegetačním souvrstvím byla 27 kg, takže bylo možné použít laboratorní váhu s váživostí do 35 kg. Touto metodou bylo možno provést velký počet laboratorních měření. V rámci jednotlivých měření bylo testováno různé počáteční nasycení vegetačního souvrství, nízké nasycení 2,5–6,5 % obj, 25 % obj., 25 % hm. podle VÚT a maximální nasycení podle FLL. Součinitel odtoku byl stanoven při sklonech vegetačních souvrství 1,72° (3 %) až 45°.

Simulovaný déšť 27 mm vody za 15 min. (viz metody FLL a VÚT) byl aplikován pomocí závlahových trysek. Množství drenáží vody bylo měřeno v minutových intervalech, testovací panel byl zvážen před aplikací simulovaného deště a 120 min po jeho ukončení. Byl vypočítán součinitel špičkového odtoku (C_{peak}), který udává odtok během simulovaných srážek ($C_{\text{peak}} = \text{odtok za 15 min/suma 15min deště}$). Dále byl stanoven i součinitel celkového odtoku (C_{celk}), podle vzorce $C_{\text{celk}} = \text{hodnota výtoku za 30 min/suma 15min deště}$. Při sycení a měření podle FLL byly po ukončení odtoku, 2 hod po ukončení modelového deště, stanoveny maximální vodní kapacita vegetačního souvrství (MVK), hydroakumulační kapacita (HK) a plošná hmotnost (PH) souvrství při maximálním nasycení.

Pro přípravu modelových vegetačních souvrství extenzivních zelených střech byly použity komponenty se standardními hydrofyzikálními vlastnostmi, které jsou ve VÚKOZ dlouhodobě hodnoceny (spongilitový substrát, hydrofilní minerální plst). Součinitel odtoku byl stanoven při sklonech vegetačních souvrství 1,72° (3 %) až 45°. Bylo hodnoceno pět skladeb bez vegetačního krytu a 4 skladby s rozchodníkovým kobercem.

Na laboratorní hodnocení vegetačních souvrství navázal maloplošný vegetační pokus se dvěma testovacími panely osázenými řízkou rozchodníků. Od 18. týdne (počátek května) do 49. týdne (počátek prosince) roku 2022 bylo hodnoceno nasycení dvou vegetačních souvrství a odtok srážek v průběhu vegetační sezóny při sklonu 1,72° (3 %). Na pokusné ploše byly měřeny srážky a panely byly 1–2× týdně zváženy pro stanovení aktuální vlhkosti a nasycení vegetačního souvrství. Souběžně byl stanoven objem drenáží vody pro stanovení celkového výparu – evapotranspirace (evaporace + transpirace). Evapotranspirace byla počítána jako bilance dešťových srážek a drenáží vody.

3 Technická zpráva

3.1 Pracoviště ověřování

Modelová technologie byla provedena ve fyzikální laboratoři a na venkovní pokusné ploše Výzkumného ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví v. v. i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice.

3.2 Termín ověřování

Laboratorní hodnocení součinitele odtoku při sklonu 1,72° (3 %) (4 skladby vegetačního souvrství, celkem 17 laboratorních měření): 6. 4. 2021– 19. 8. 2021.

Laboratorní hodnocení součinitele odtoku při sklonu 1,72° (3 %) až 45° (7 skladeb vegetačního souvrství, 13 kombinací skladba × sklon, celkem 49 laboratorních měření): 11. 10. 2021– 22. 4. 2022.

Hodnocení modelových skladeb vegetačního souvrství v přirozených podmínkách (dvě skladby, sklon 3 %): 27. 4. 2021–30. 10. 2022.

3.3 Popis ověřované technologie

3.3.1 Skladba vegetačních souvrství

Pro přípravu modelových skladeb vegetačního souvrství byly použity komponenty (tab. 2), které se při realizaci zelených střech standardně používají a jejichž hydrofyzikální vlastnosti laboratoř VÚKOZ dlouhodobě hodnotí. Byl použit spongilitový minerální substrát, který má vyšší objemovou hmotnost a je vhodný pro překrytí hydroakumulačních panelů. Substrát je popsán v užitném vzoru Spongilitový minerální substrát pro sadovnické realizace č. 29486 (<https://upv.gov.cz> nebo <https://www.acre.cz/dokumenty>). Hydroakumulační panely v modelových souvrstvích tvořily desky hydrofilní minerální plsti, která má vedle akumulace vody i funkci substrátu.

V každé testované skladbě byla, pro dodržení podmínek SFŽP (platných 2021–2023), použita ochranná geotextilie s minimální gramáží 500 g/m². U extenzivních zelených střech se v praxi používají i ochranné geotextilie s gramáží 300 g/m², geotextilie s vyšší gramáží zajišťuje lepší ochranu hydroizolace před mechanickým poškozením.

Tab. 2 Charakteristika komponentů použitých pro modelová vegetační souvrství extenzivních zelených střech.

Izolační (ochranná) geotextilie	plošná hmotnost 500 g/m ² , tloušťka 5 mm
Drenážní a ochranná geotextilie	strukturovaná drenážní a hydroakumulační geotextilie – plošná hmotnost 800 g/m ² , tloušťka 8 mm
Kalíšková folie	Platon DE 25 – výška nopů 23 mm, kapacita vody v nopech 6,1 L/m ²
Separáční (filtrační) geotextilie	plošná hmotnost 125 g/m ² , tloušťka 1 mm
Hydroakumulační panel	hydrofilní minerální plst Intens, výška desky 50 mm, deklarovaná OHS = 120 kg/m ³
Záchytný systém	plastová voština, výška 30 mm, zádržný systém pro minerální substrát
Minerální substrát	spongilitový extenzivní střešní substrát ACRE, směs spongilitu, liadrainu a rašeliny, OHS 910–1050 kg/m ³
Rozchodníkový koberec	rozchodníkový koberec ACRE na netlející podložce, výška substrátu cca 20 mm, výška s vegetací 25 mm

Vlastnosti jednotlivých vrstev (tab. 3), maximální vodní kapacita (MVK) a hydroakumulační kapacita (HK), byly hodnoceny podle metod uvedených ve Standardech (SZÚZ, 2019) a odpovídají doporučeným hodnotám. Z hodnocených komponentů měl nejvyšší MVK (95 % obj.) hydroakumulační panel – hydrofilní minerální plst. Ta měla i nejvyšší hydroakumulační kapacitu. Vysokou MVK měla i drenážní geotextilie s hydroakumulační funkcí použitá u šikmých střech i rozchodníkový koberec. U minerálního substrátu byla stanovena MVK odpovídající danému typu.

Tab. 3 Laboratorní hodnocení jednotlivých vrstev modelových vegetačních souvrství podle Standardů a jejich výška (tloušťka) v rámci testovaných souvrství.

vrstva	PHS	MVK	PH _{MVK}	HK	výška
	kg/m ²	% obj.	kg/m ²	L/m ²	mm
Izolační (ochranná) geotextilie	0,534	61,6	3,6	3,1	5
Drenážní a ochranná geotextilie	0,797	67,5	6,2	5,4	8
Kalíšková folie	1,0	-	7,1	6,1	23
Separáčn (filtrační) geotextilie	0,123	72,1	0,8	0,7	1
Hydroakumulační panel (minerální plst)	6,8	95,0	54,5	47,5	50
Záchytný systém	4,6	-	4,6	-	-
Minerální substrát	27,3*	47,0	41,4*	14,1*	30*
Rozchodníkový koberec	16,2	35,4	25,0	8,8	25

PHS – plošná hmotnost suchého vzorku, MVK – maximální vodní kapacita, PH_{MVK} – plošná hmotnost při MVK, HK – hydroakumulační kapacita, * parametry minerálního substrátu při výšce 30 mm.

Skladba modelových vegetačních souvrství (tab. 4) byla navržena v souladu se Standardy (SZÚZ, 2019) a vycházela ze zásad ověřených při realizaci zelených střech. Jeden z faktorů, který výrazně ovlivňuje hodnotu součinitele odtoku zelené střechy, je její sklon. Sklony použité při měření jednotlivých vegetačních souvrství vycházely z praktických zásad zakládání zelených střech i z dotačních podmínek SFŽP (Nová zelená úsporám) platných v období 2021–2023. V praxi se sklon u plochých střech se sklonem do 8,7 % (5°) uvádí přednostně v %, u šikmých střech nad 5° se sklon vyjadřuje ve stupních.

Tab. 4 Skladba a výška testovaných vegetačních souvrství (VS), VSK – vegetační souvrství s kobercem.

vrstva	Vegetační souvrství (VS) – výška vrstvy v mm								
	VS½S	VSP/S	VS1	VS1K	VS2	VS2K	VS3	VS3K	VS4K
Izolační geotextilie	5	5	5	5	5	5			
Drenážní geotextilie							8	8	8
Kalíšková folie	23		23	23	23	23			
Separáčn geotextilie	1		1	1	1	1			
Minerální plst		50			50	50	50	50	50
Záchytný systém									30
Minerální substrát	40	55	80	65	30	15	30	15	30
Rozchodník.koberec				25		25		25	25
Celková výška v mm	69	110	109	119	109	119	88	98	113

V období 6. 4. 2021–19. 8. 2021 byly při sklonu 1,72° (3 %) hodnoceny 4 modelové skladby vegetačního souvrství (**VS½S**, **VSP/S**, **VS1** a **VS2**) bez vegetačního krytu:

VS½S – kalíšková folie, snížená vrstva substrátu 40 mm (poloviční oproti skladbě VS1), celková výška 69 mm (objem cca 69 L/m²).

VSP/S – Plst/Sub – skladba bez kalíškové folie (alternativa ke skladbě VS2), minerální plst (50 mm), substrát (cca. 60 mm), celková výška 110 mm.

VS1 – standardní skladba bez hydroakumulačního panelu, kalíšková folie, standardní vrstva substrátu 80 mm, celková výška 110 mm (objem 110 L/m²).

VS2 – kombinace kalíšková folie, minerální plst (50 mm), substrát (30 mm), celková výška 110 mm. Desky z minerální plsti překryty doporučenou minimální 3cm vrstvou substrátové směsi. Těžší spongilitový substrát na bázi drcených hornin je pro překrytí vhodný.

V období 11. 10. 2021–22. 4. 2022 byly hodnoceny tři modelové skladby bez vegetačního krytu (**VS1**, **VS2**, **VS3**) a 4 skladby (**VS1K**, **VS2K**, **VS3K** a **VS4K**) s rozchodníkovým kobercem při sklonu 1,72° (3 %) až 45°, Celkem bylo hodnoceno 13 kombinací skladba × sklon.

Sklon 3 % (1,7°) je minimální doporučený sklon povrchu k odvodňovacím prvkům pro ploché zelené střechy. Při tomto sklonu byly hodnoceny **základní skladby (VS1, VS1K) bez hydroakumulačních desek**. Drenážní kalíšková folie byla umístěna na ochrannou geotextilii s gramáží 500 g/m² a byla překryta separační geotextilií, na kterou byla umístěna 8cm vrstva substrátu (**VS1**). Vegetační souvrství bylo hodnoceno ve dvou variantách bez rozchodníkového koberce a s kobercem (**VS1K**). Vzhledem k výšce koberce 25 mm byla snížena vrstva minerálního substrátu o 15 mm.

Skladby (VS2 a VS2K) s deskou minerální plsti byly testovány při hraničních sklonech 3 % (1,7°) a 8 % (4,6°). U zelených střechech se sklonem do 8 % se doporučuje použít kalíškovou folii s drenážní funkcí, a to jak v kombinaci se substrátem, tak především v kombinaci s minerální plstí. Separální geotextilie by se měla použít i při této kombinaci. Použitá kalíšková fólie má i hydroakumulační funkci, je schopná zadržet v nopech až 6,1 L/m². Minerální plst byla překryta 3cm vrstvou substrátu.

Souvrství bylo opět hodnoceno bez a s rozchodníkovým kobercem. Při zakládání plochých extenzivních zelených střechech se sklonem do 8,7 % (5°) převládá, především z ekonomických, důvodů, založení vegetace řízků rozchodníků. Takto lze zakládat vegetaci, jako alternativu k rozchodníkovým kobercům, i na střechech se sklonem do 15°, kdy se používá fixace řízků např. překrytím kokosovou rohoží s gramáží 500 g/m² nebo hydroosevem.

Při sklonu 6° (10,5 %) a 12° (21,3 %) byla testována skladba (**VS3**) s deskou minerální plsti bez kalíškové folie. Byla použita speciální ochranná strukturovaná geotextilie, která se používá u šikmých zelených střechech a která má i funkci drenážní a hydroakumulační. I při této skladbě bylo hodnoceno souvrství bez a s rozchodníkovým kobercem (**VS3K**).

U šikmých střechech se sklonem nad 5° (8,7 %) se hydrofilní minerální plst používá výhradně bez drenáže a nutností jsou zpomalovače odtoku, které pomohou zadržet srážky a zpomalit jejich odtok z hydroakumulačních desek. Drenážní zpomalovače jsou nejčastěji zhotoveny z pásky hydroizolace na bázi EPDM, který se vkládá mezi jednotlivé desky minerální plsti. Vzdálenost mezi zpomalovači je dána retenční schopností dané plsti a sklonem střechy. Vzhledem k délce testovacího panelu byly zpomalovače odtoku použity pouze u skladby **VS4** při sklonu 45°. Použití zpomalovačů je detailně popsáno v užitém vzoru č. 33132 (<https://upv.gov.cz>, nebo <https://www.acre.cz/dokumenty>).

Při sklonu nad 15° ve skladbě (**VS4K**) byl použit záchytný systém (plastové voštiny) pro stabilizaci souvrství (minerálního substrátu) proti sesuvu. Dále byl použit speciální koberec s výztužnou vložkou na netlejší podložce. Tento typ koberce nebo předpěstované kazety (voštiny) jsou doporučeny jako ochrana proti erozi pro zajištění povrchu zelené střechy se sklonem nad 20°. Jako ochranná byla použita strukturovaná geotextilie. Substrát v zádržném

systemu byl umístěn na hydroakumulační desku minerální plsti. Skladba byla testována při sklonech 15°, 20° a 45°. U sklonu 45° byly použity 2 zpomalovače s odstupem 20 cm.

Jednotlivá vegetační souvrství (tab. 5) byla vyhodnocena z hlediska vlastností použitých komponentů a podle laboratorně stanovených hodnot u jednotlivých vrstev (viz tab. 3) bylo vypočítáno teoretické maximální nasycení – maximální vodní kapacita vegetačního souvrství (MVK), hydroakumulační kapacita (HK) a plošná hmotnost (PH) souvrství při maximálním nasycení jednotlivých vrstev v laboratorních podmínkách.

Stejně parametry byly stanoveny při hodnocení součinitele odtoku u plně nasyceného souvrství (sycení podle FLL) po ustálení odtoku, 2 hodiny po ukončení modelového deště. Byly stanoveny vlastnosti souvrství při jeho maximálním nasycení: maximální vodní kapacita vegetačního souvrství (MVK), hydroakumulační kapacita (HK) a plošná hmotnost (PH) souvrství při maximálním nasycení. U jednotlivých vegetačních souvrství jsou uvedeny nejvyšší hodnoty stanovené při nejmenším použitém sklonu pro dané souvrství. Takto stanovené hodnoty byly porovnány s teoretickými hodnotami odvozenými z laboratorně stanovených vlastností jednotlivých vrstev. Hodnoty stanovené u jednotlivých souvrství vycházejí výrazně nižší než hodnoty odvozené z parametrů jednotlivých komponentů. Při hodnocení kompletních vegetačních souvrství s rámci stanovení součinitele odtoku se projevil vliv sklonu, výška souvrství i vliv sycení modelovým deštěm.

Tab. 5 Základní vlastnosti modelových vegetačních souvrství (VS) stanovené při měření součinitele odtoku, srovnání s teoretickými hodnotami na základě laboratorního hodnocení jednotlivých vrstev.

Charakteristika vegetačního souvrství	VS ½S	VS P/S	VS 1	VS 1K	VS 2	VS 2K	VS 3	VS 3K	VS 4K
výška v mm	69	110	109	119	109	119	88	98	113
PHS v kg/m²	39,6	58,4	74,5	74,9	35,8	36,2	34,9	35,3	58,1
Teor. MVK v % obj.	38,7	75,2	43,6	41,2	65,6	61,4	76,1	69,9	66,9
max. MVK v % obj.	32,4	54,7	30,2	30,9	49,6	47,9	38,5	40,8	30,1
Teor. PH _{MVK} v kg/m ²	65,8	141,1	121,9	123,9	107,4	109,4	102,1	104,1	129,4
max. PH_{MVK} v kg/m²	62,0	118,6	107,4	111,7	89,9	93,2	68,8	75,3	92,1
Teor. HK v L/m ²	26,2	69,9	47,5	49,1	71,5	73,1	67	68,6	75,6
max. HK v L/m²	22,4	60,2	32,9	36,8	54,1	57,0	33,9	40,0	34,0

PHS– plošná hmotnost suchého souvrství, MVK – maximální vodní kapacita souvrství, PH_{MVK} – plošná hmotnost souvrství při MVK, HK – hydroakumulační kapacita souvrství (nejvyšší hodnoty stanovené pro dané souvrství při nejnižším sklonu).

Nejvyšší plošné hmotnosti v nasyceném stavu 107–118 kg/m² byly stanoveny u skladeb s vyšší vrstvou minerálního substrátu **VS1**, **VS1K**, **VSP/S** při sklonu 3 %. Pro srovnání ve Standardech se uvádí plošná hmotnost extenzivního souvrství (výška 60–150 mm) nasyceného vodou v rozsahu 90–200 kg/m². Nejvyšší hydroakumulační kapacita byla stanovena u vegetačního souvrství ploché střechy **VSP/S** a **VS2** – kombinace minerální plsti a substrátu, kde se projevil vliv hydroakumulační vrstvy při nízkém sklonu.

3.3.2 Hodnocení součinitele odtoku při sklonu 3 %

Součinitele odtoku byly stanoveny u čtyř vegetačních souvrství bez vegetačního krytu při čtyřech úrovních (měření 1–4) počátečního nasycení vegetačního souvrství (tab. 6). Vzhledem k hodnocení vodní kapacity jednotlivých komponentů v % obj. byly jednotlivé úrovně nasycení vyhodnoceny v % obj. Pro srovnání je uvedena vlhkost v % hm.

Tab. 6 Součinitel špičkového (C_{peak}) a celkového odtoku (C_{celk}) při různém nasycení skladby vegetačního souvrství zelených střech při sklonu 3 % ($1,7^\circ$), $VK_{poč}$ – vodní kapacita (nasycené) na počátku měření, VK_{max} – vodní kapacita při maximálním nasycení v rámci daného měření.

skladba	měření 1					měření 2				
	vlhkost % hm.	$VK_{poč}$ % obj.	C_{peak}	VK_{max} % obj.	C_{celk}	vlhkost % hm.	$VK_{poč}$ % obj.	C_{peak}	VK_{max} % obj.	C_{celk}
VS½S	8,0	4,9	0,22	30,1	0,34	31,0	25,3	0,75	30,6	0,86
VSP/S	7,7	6,4	0	28,3	0	35,7	28,3	0	49,5	0,13
VS1	8,2	6,3	0	30,4	0	30,1	30,4	0,63	35,7	0,77
VS2	7,1	2,5	0	27,1	0	44,2	27,1	0,30	41,6	0,41
	měření 3					měření 4				
VS½S	34,5	29,8	0,76	32,4	0,93	34,0	29,8	0,75	33,5	0,91
VSP/S	48,5	54,2	0,57	54,7	0,73	51,5	55,6	0,75	56,6	0,89
VS1	32,8	34,5	0,66	37,3	0,81	33,9	36,2	0,72	35,9	0,92
VS2	54,0	38,4	0,63	44,3	0,84	56,1	42,3	0,71	44,2	0,92

Měření 1 – nízké nasycení, obsah vody do 7 % obj., použita suchá minerální plst a substrát s přirozeným obsahem vody 9,3 % obj. Počáteční nasycení testovaných souvrství se pohybovalo v rozmezí 2,5–6,3 % obj., resp. 7,1–8,2 % hm.

Měření 2 – nasycení na vodní kapacitu 25–30 % obj., k tomuto nasycení došlo po první aplikaci 15minutového deště 27 mm na „suché“ vegetační souvrství. Sycení před druhým měřením odpovídalo metodice VÚT (souvrství jsou vystavena intenzitě srážek 27 mm za 15 minut; poté se nechají volně přirozeně vyschnout). Počáteční nasycení testovaných souvrství se pohybovalo v rozmezí 25,3–30,4 % obj., resp. 30,1–44,2 % hm. podle charakteru skladby. Požadovaná počáteční vlhkost měřeného vzorku podle metodiky VÚT 25 ± 5 % hm. (přesně 30,1 % hm.) byla dosažena pouze u vegetačních souvrství **VS1** bez hydroakumučního panelu s vrstvou substrátu 80 mm.

U souvrství s poloviční vrstvou substrátu **VS½S**, kde došlo k odtoku již při prvním měření, bylo před měřením založeno nové souvrství a nasyceno přesně na 25 % obj. (objem souvrství je 69 L/m^2 , výška substrátu 40 mm s vlhkostí 3,5 % obsahuje $1,4 \text{ L/m}^2$, nasycení 25 % obj. představuje $17,25 \text{ L/m}^2$, před měřením bylo na vegetační souvrství rovnoměrně aplikováno v přepočtu $15,85 \text{ L}$ vody na m^2).

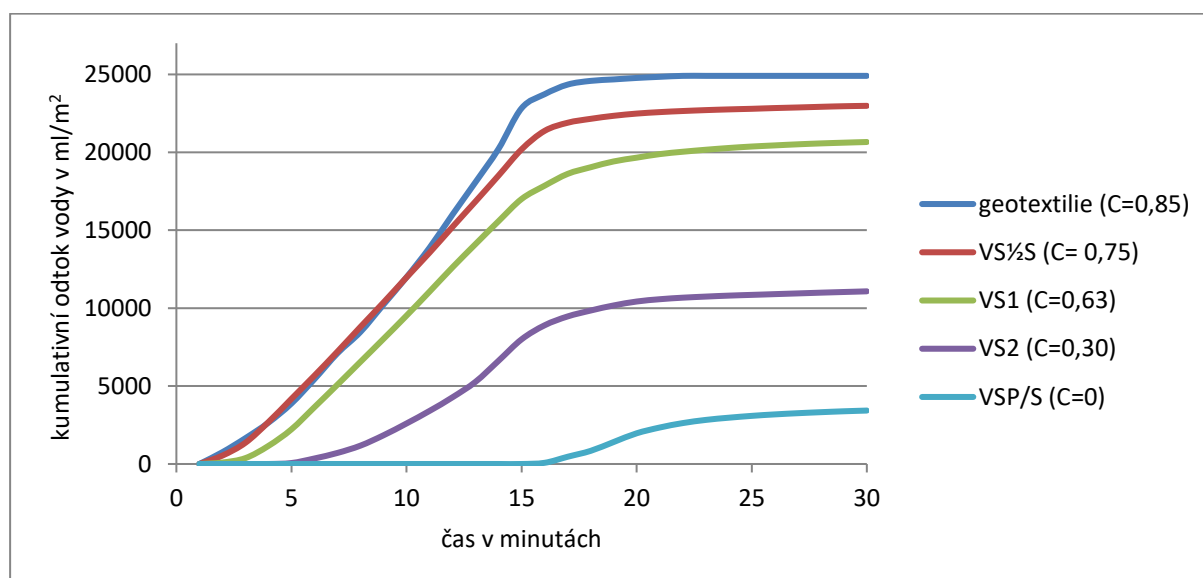
Měření 3 – nasycení podle FLL vrstva byla plně nasycená – z testovacího panelu odtékala voda při aplikaci 15minutového deště 27 mm po dobu minimálně 10 minut. Za 24 hodin bylo provedeno další měření. Počáteční nasycení testovaných souvrství se pohybovalo v rozmezí 29,8–54,2 % obj., resp. 32,8–54,0 % hm. podle charakteru skladby.

Měření 4 – nasycení maximální, stanovení v plně nasyceném souvrství bez 24hodinového intervalu, nebyl výrazný rozdíl od 3 měření. Počáteční nasycení testovaných souvrství se pohybovalo v rozmezí 29,8–55,6 % obj., resp. 34,0–56,1 % hm. podle charakteru skladby.

Při modelovém měření při jednotném sklonu 1,72° (3 %) se potvrdila závislost velikosti součinitele odtoku na mocnosti a složení vegetačního souvrství a na přítomnosti hydroakumulační vrstvy, konkrétně minerální hydrofilní plsti. Součinitel odtoku byl přirozeně ovlivněn počátečním nasycením vegetační vrstvy.

Při 1. měření při „nulovém“ nasycení došlo k odtoku vody pouze u skladby s poloviční vrstvou substrátu **VS½S**. Největší rozdíly mezi jednotlivými souvrstvími při stanovení C_{peak} i C_{celk} byly při druhém měření, kdy skladba bez kalíškové folie **VSP/S** výrazně zpomalila odtok 15min deště (graf. 1). Nejvyšší koeficient odtoku $C_{peak} = 0,75$ byl stanoven u skladby **VS½S**. Modelové skladby jsou porovnány s měřením, kdy byl měřen odtok při použití samotné geotextilie ($C_{peak} = 0,85$, $C_{celk} = 0,95$).

Graf 1 Odtokové charakteristiky skladby vegetačních souvrství (viz tab. 4) při počátečním nasycení na 25–30 % obj. při sklonu 3 % (1,7°) (viz tab. 6, měření 2), C – součinitel špičkového odtoku.



U skladby **VS1** při počátečním nasycení na 25–30 % obj. vychází součinitel odtoku C_{peak} vyšší než limitní hodnota 0,55 (Nová zelená úsporám, podmínky 2021–2023). V tomto případě byla počáteční vlhkost vyšší než zamýšlená 25 % obj. a i vyšší než 25 % hm., požadovaná v metodice VÚT. Pokud by byla vlhkost kondicionována na 25 % hm., objem vody v testovacím panelu by se snížil o 1171 ml, tento objem by skladba teoreticky zadržela a výsledný C_{peak} by byl 0,42, C_{celk} by byl 0,56. Obdobně by se snížily součinitele odtoku, pokud by počáteční obsah vody byl 25 % obj.

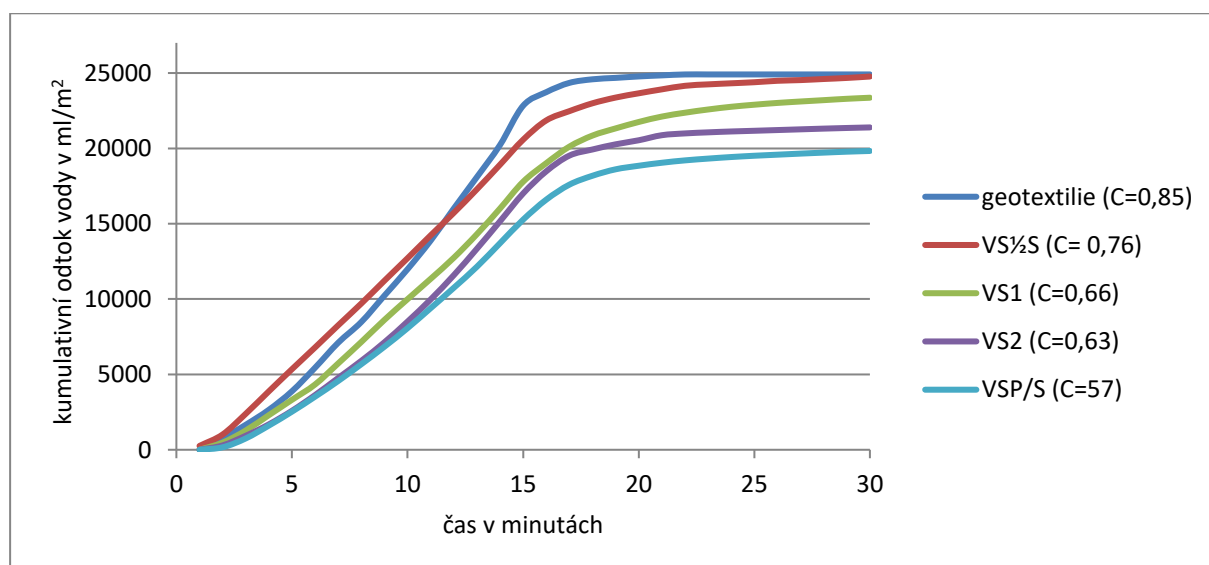
Rovněž u skladby s poloviční vrstvou substrátu **VS½S** vychází součinitel odtoku C_{peak} vyšší než limit 0,55. V tomto případě bylo vegetační souvrství přesně nasyceno na 25 % obj., obsah vody v % hmotnostních byl 30,0 % hm. Pokud by byla vlhkost kondicionována přesně na 25 % hm., objem vody v testovacím panelu by se snížil o 725 ml, tento objem by skladba teoreticky zadržela a výsledný C_{peak} by byl 0,62, C_{celk} by byl 0,76. C_{peak} by byl, i po tomto snížení, stále nad limitem 0,55. Dotační podmínky Nová zelená úsporám (2021–2023)

znevýhodňovaly skladby s nízkou vrstvou substrátu doplněné drenážním prvkem (v hodnocené skladbě 40 mm substrátu, celková výška 69 mm), které jsou vhodné pro rozchodníky s nízkým vzrůstem. V aktuálním programu Nová zelená úsporám programu musí mít extenzivní zelená střecha minimální tloušťku vegetačního souvrství 75 mm. Je možné tedy použít obdobu testované skladby VS½S se zvýšenou vrstvou substrátu 50 mm při celkové tloušťce souvrství 79 mm.

Na základě laboratorního hodnocení součinitele odtoku při sklonu 1,72° (3 %) provedeného v období 6. 4. 2021–19. 8. 2021 lze konstatovat, že pro stanovení součinitele odtoku, který by charakterizoval zadržení srážek a jejich odtok u souvrství v období bez dlouhodobých intenzivních srážek, by bylo nutné počáteční vlhkost nastavit jako vlhkost objemovou. Ani jednotná vlhkost – např. v testech použitá 25 % obj. není pro ploché střechy se sklonem 3 % reprezentativní pro všechny typy skladeb. Na základě provedených měření by bylo možné odvodit vlhkost souvrství plochých střech v období bez dlouhodobých intenzivních srážek jako hodnotu, která představuje 40 % teoretické MVK souvrství stanovené v laboratoři (viz tab. 5).

Při 3. a 4. měření, kdy počáteční nasycení vegetačních souvrství bylo poměrně vysoké (sycení podle FLL), se rozdíly mezi součiniteli odtoku zmenšovaly a nasycená vegetační souvrství již výrazně nezpomalovala odtok (graf 2). I součinitel odtoku u skladby bez kalíškové folie byl poměrně vysoký. Toto měření ukazuje na dostatečnou drenáž při použití minerální plsti bez drenážní vrstvy (VSP/S). I když použití této skladby bez kalíškové folie se doporučuje jen na menších plochách.

Graf 2 Odtokové charakteristiky modelových skladeb vegetačního souvrství (viz tab. 4) při maximálním počátečním nasycení – sycení podle FLL (30–55 % obj., viz tab. 6, měření 3), C – součinitel špičkového odtoku.



U všech vegetačních souvrství byly při sycení podle FLL stanoveny vyšší hodnoty špičkového součinitele odtoku než tabulkové hodnoty FLL (2017) viz tab. 1, 0,5 pro mocnost vegetačního souvrství 6–10 cm (skladba VS½S), resp. 0,4 pro mocnost 6–15 cm (ostatní skladby). Tyto rozdíly mohou být, kromě použitého relativně propustného substrátu, také způsobeny okrajovými efekty u použitého maloplošného panelu o rozměru 0,37 (odtoková

hrana) × 0,57 m a výrazně kratší délkou panelu 0,57 m oproti panelu FLL s délkou 5 m a odtokovou hranou 1 m.

3.3.3 Hodnocení součinitele odtoku při sklonu 1,72° (3 %) až 45°

Byly hodnoceny tři modelové skladby bez vegetačního krytu (**VS1**, **VS2**, **VS3**) a 4 skladby (**VS1K**, **VS2K**, **VS3K** a **VS4K**) s rozchodníkovým kobercem, celkem bylo hodnoceno 13 kombinací skladba × sklon (viz tab. 8).

Vzhledem k dotačním podmínkám SFŽP platným v době měření byl součinitel odtoku stanoven při dvou úrovních počátečního nasycení vegetačních souvrství. Při prvním stanovení (sycení podle VÚT) byly jednotlivé vrstvy nasyceny poměrně podle vodní kapacity tak, aby výchozí vlhkost souvrství byla přesně 25 % hm.tj bez povolených odchylek. Sycení uvedené v metodice VÚT (souvrství jsou vystavena intenzitě srážek 27 mm za 15 minut; poté se nechají volně přirozeně vyschnout) se při hodnocení součinitele odtoku při sklonu 3 % (kapitola 3.3.2) neosvědčilo. Požadovaný obsah vlhkosti měřeného vzorku 25±5 % hm. byl dosažen pouze u vegetačních souvrství **VS1** bez hydroakumučního panelu s vrstvou substrátu 80 mm (přesně 30,1 % hm., tab. 6). U ostatních vegetačních souvrství bylo nasycení výrazně vyšší a souvrství by bylo nutné nechat delší dobu vysychat. V metodice VÚT není specifikován čas, po který souvrství přirozeně vyschne na požadovanou výchozí hodnotu.

Postupné vysychání bylo testováno u skladby **VS4K** při sklonu 30°. Po počátečním plném nasycení (po ukončení měření podle FLL) 37,7 % hm. (28,6 % obj.) trvalo v laboratorních podmínkách 14 dní, než vegetační souvrství přirozeně vyschlo na 26,2 % hm. (16,8 % obj.). Laboratorní hodnocení součinitele odtoku při postupném vysychání vegetačních souvrství na požadovanou vlhkost by bylo časově velmi náročné. V rámci hodnocení součinitele odtoku při sklonu 1,72° (3 %) až 45° bylo v laboratoři VÚKOZ zvoleno postupné sycení jednotlivých vrstev (hydroakumulační panel, substrát) pomocí aplikačních trysek při zakládání souvrství podle jejich počáteční vlhkosti, tak aby se počáteční vlhkost jednotlivých souvrství pohybovala kolem 25 % hm. Následně byl měřicí panel překryt plastovým krytem pro omezení výparu a ustálení vlhkosti na 24 hodin. Následně byl panel zvážen a závlahovou tryskou byla přesně nastavena vlhkost souvrství 25 % hm. Na základě objemu vegetačního souvrství byl stanoven obsah vody i v % obj. U souvrství **VS4** se pro výpočet do hmotnosti „vododržného“ souvrství nezapočítala hmotnost zádržného systému. Příklad sycení vegetačních souvrství **VS1K** a **VS2** na 25 % hm. je uveden v tabulce 7.

Při přípravě vegetačních souvrství byl použit minerální substrát dodaný od výrobce s přirozenou vlhkostí 13,1 % hm. (13,7 % obj.), u rozchodníkového koberece (substrát s porostem rozchodníků) byla stanovena vlhkost 33 % hm. (31,9 % obj.). V případě minerální plsti byla použita suchá plst s minimální vlhkostí (1,5 % hm.) nebo předem nasycená plst s ustálenou vlhkostí na 37 % hm (8 % obj.). V případě vyšší počáteční vlhkosti některých komponentů (rozchodníkový koberec, předem nasycená minerální plst), bylo reálné sycení adekvátně poníženo.

Tab. 7 Modelové sycení vegetačních souvrství **VS1K** a **VS2** (viz tab. 4): PHS – plošná hmotnost suchého souvrství, v – výška souvrství, počáteční vlhkost jednotlivých vrstev a potřeba vody v L/m² na cílovou počáteční vlhkost 25 % hm. Teoretický výpočet sycení (teor.) a reálné (real.) sycení před měřením součinitele odtoku.

souvrství	PHS	v	počáteční vlhkost			potřeba voda	cílový stav		sycení	
			kg/m ²	mm	% hm.		L/m ²	% obj.	L/m ²	%
VS1K						L/m ²	hm	obj.	teor.	real.
Izolační geotextilie	0,534	5							-	
Kalíšková folie	1	23								
Separáční geotextilie	0,123	1								
Minerální substrát	59,2	65	13,1	8,92	13,7	20,3	25,6	31,2	11,4	8,8
Rozchodníkový koberec	16,2	25	33,0	7,98	31,9	5,4	25,0	21,6	-2,6	
Celé souvrství	77,0	119		16,90	14,2	25,7	25,0	21,6	8,8	8,8
VS2 – suchá plst										
Izolační geotextilie	0,534	5								
Kalíšková folie	1	23								
Separáční geotextilie	0,123	1								
Minerální plst)	6,8	50	1,5	0,10	0,2	2,30	25,3	4,6	2,20	2,20
Minerální substrát	27,3	30	13,1	4,12	13,7	9,60	26,0	32,0	5,48	5,48
Celé souvrství	35,8	109		4,22	3,9	11,90	25,0	10,9	7,68	7,68
VS2 – vlhká plst										
Izolační geotextilie	0,534	5								
Kalíšková folie	1	23								
Separáční geotextilie	0,123	1								
Minerální plst	6,8	50	37,0	3,99	8,0	2,5	26,9	5,0	-1,5	
Minerální substrát	27,3	30	13,1	4,12	13,7	9,4	25,6	31,3	5,3	3,8
Celé souvrství	35,8	109		8,11	7,4	11,9	25,0	10,9	3,8	3,8

Při stanovení součinitele odtoku u plně nasyceného souvrství (sycení podle FLL) byla vegetační souvrství hodnocena 24 hodin po maximálním nasycení.

Měření odtoku vody probíhalo v minutových intervalech, testovací panel byl zvážen před aplikací simulovaného deště a 120 min. po jeho ukončení. Na základě měření drenážované vody byly stanoveny součinitele odtoku C_{peak} a C_{celk} . Při hodnocení součinitele odtoku u plně nasyceného souvrství (sycení podle FLL) byly po ustálení odtoku, 2 hodiny po ukončení modelového deště stanoveny vlastnosti souvrství při jeho maximálním nasycení: maximální vodní kapacita vegetačního souvrství (MVK), hydroakumulační kapacita (HK) a plošná hmotnost (PH) souvrství při maximálním nasycení (viz tab. 5, str. 11).

Laboratorně stanovené součinitele odtoku (C_{peak}) byly přirozeně ovlivněny počátečním nasycením vegetačního souvrství a použitím hydroakumulační vrstvy tvořenou minerální hydrofilní plstí (tab. 8). U plochých střeš **při nasycení podle VÚT (25 % hm.)** byl nejvyšší C_{peak} stanoven u skladeb **VS1** a **VS1K** bez hydroakumulační vrstvy. Tato hodnota byla pouze o cca. 0,06 nižší než limit SFŽP 0,55 pro ploché střechy. Počáteční objemové nasycení souvrství **VS1** a **VS1K** kolem 20 % obj. představuje více než 65 % stanovené MVK pro danou skladbu při 3 % sklonu a více než 50 % teoretické MVK (viz tab. 11, str. 23), tedy poměrně vysoké počáteční nasycení.

Tab. 8 Součinitele špičkového (C_{peak}) a celkového odtoku (C_{celk}) při různém počátečním nasycení skladby vegetačního souvrství zelených střech podle metody VÚT (počáteční vlhkost $w_{poč} = 25$ % hm.) a FLL při sklonu 1,7° (3 %) až 45°, $VK_{poč}$ – vodní kapacita – objemová vlhkost na počátku měření, HK – hydroakumulační kapacita, průměrné hodnoty ze dvou stanovení.

skladba	sklon	Metoda VÚT			Metoda FLL				
		$VK_{poč}$ % obj.	C_{peak}	C_{celk}	$w_{poč}$ % hm.	$VK_{poč}$ % obj.	C_{peak}	C_{celk}	HK L/m ²
VS1	3 % (1,7°)	22,8	0,47	0,63	29,8	29,1	0,69	0,85	32,9
VS1K	3 % (1,7°)	20,7	0,49	0,62	31,1	28,5	0,71	0,88	36,9
VS2	3 % (1,7°)	10,9	0	0	58,6	46,8	0,71	0,83	53,7
VS2K	3 % (1,7°)	10,6	0	0	58,2	45,2	0,73	0,85	50,7
VS2	8 % (4,6°)	11,0	0	0	57,7	45,3	0,76	0,88	50,7
VS2K	8 % (4,6°)	10,8	0	0	57,0	43,0	0,74	0,85	49,6
VS3	6° (10,5 %)	10,2	0	0	49,9	29,1	0,52	0,61	46,6
VS3K	6° (10,5 %)	10,2	0	0,03	51,5	32,2	0,57	0,69	44,6
VS3	12° (21,3 %)	10,2	0,20	0,3	47,2	27,5	0,69	0,78	32,2
VS3K	12° (21,3 %)	10,2	0,21	0,3	46,5	26,4	0,65	0,76	35,6
VS4K	15°	15,7	0,26	0,45	37,1	27,9	0,62	0,85	34,1
VS4K	30°	15,7	0,36	0,48	35,4	26,0	0,76	0,89	29,6
VS4K	45°	14,5	0,60	0,77	28,4	22,0	0,73	0,91	21,7

Naopak u skladeb s hydroakumulační vrstvou se počáteční objemové nasycení pohybovalo v rozmezí 10–13 % obj., což je pouze 20 % stanovené MVK a kolem 17 % teoretické MVK. U těchto skladeb byl stanoven nulový součinitel odtoku do sklonu 6° včetně.

U sklonu 12° a vyšším rostla hodnota C_{peak} se stoupajícím sklonem. Nejvyšší C_{peak} 0,6 byl stanoven u skladby **VS4K** při sklonu 45, ale byl výrazně nižší než limit SFŽP 0,7 pro šikmé střechy.

Laboratorní hodnocení součinitele odtoku při sklonu 1,72° (3 %) až 45° provedené v období 11. 10. 2021– 22. 4. 2022 potvrdilo závěry z předchozích měření. Počáteční sycení souvrství na 25 % hm. „zvýhodňuje“ skladby s hydroakumulačními panely, které mají ve srovnání s minerálními substráty nízkou objemovou hmotnost a vysokou vodní kapacitu. Součinitel odtoku pak při tomto sycení vychází nízký a neodpovídá nasycení souvrství v období bez dlouhodobých intenzivních srážek.

Metoda VÚT, která deklaruje využití v běžné stavební praxi, pracuje s počátečním nasycením v rozsahu 25±5 % hm. Toto nasycení dle metody charakterizuje v rámci měření přirozeně vlhké souvrství. Pro hodnocení komponentů i celých vegetačních souvrství se z pěstitelského přístupu jejich nasycení vodou hodnotí v % obj. Při měření ve VÚKOZ byl obsah vody vyjádřen v % hm. i % obj. Při konečném hodnocení byla vlhkost souvrství charakterizována přednostně v % obj.

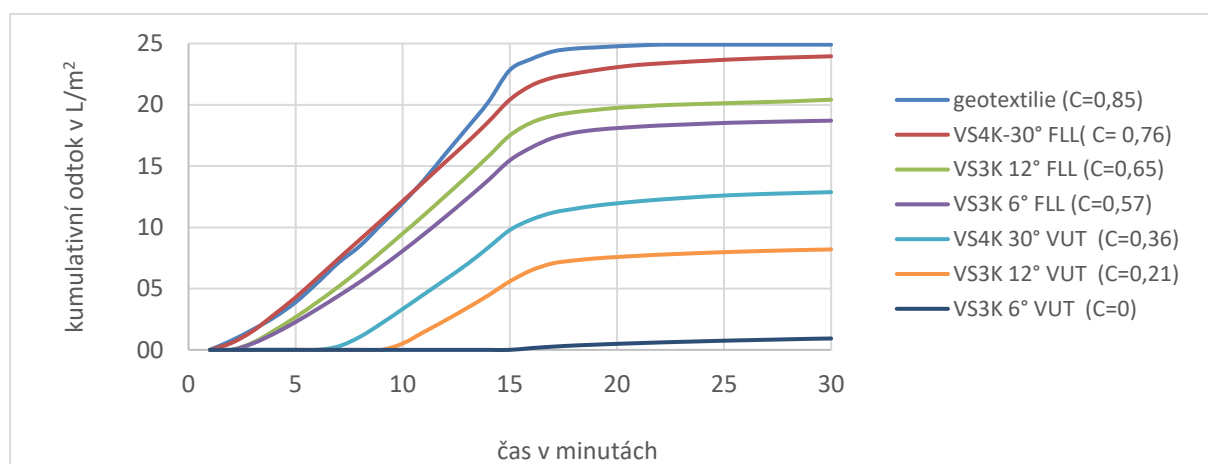
Pro nasycení vegetačního souvrství, které charakterizuje jeho stav v období bez dlouhodobých intenzivních srážek, bylo by nutné jednotlivá souvrství sytit na základě jejich předem stanovené maximální vodní kapacity v % obj. Lze vycházet z teoretické MVK odvozené od laboratorního hodnocení použitých komponentů – jednotlivých vrstev (viz tab. 5) a pro ploché střechy např. použít nasycení na 40 % teoretické MVK, nebo vycházet z laboratorně stanovené MVK při nasycení podle FLL (viz tab. 8) a podíl nasycení přizpůsobit

sklonu střechy (pro dělení střech podle sklonu pak používat rozdělení dle Standardů). Doporučení pro jednotlivá hodnocená souvrství je uvedeno v závěrečné kapitole (tab. 11, str. 23).

Měření při **sycení podle FLL** charakterizuje odtok vody z vegetačního souvrství při opakovaných intenzivních deštích. Počáteční objemové nasycení se přibližuje maximálnímu nasycení pro danou skladbu a stírá se tak případný vliv hydroakumulační vrstvy. Porovnání odtokových charakteristik vybraných skladeb vegetačního souvrství při počátečním nasycení na 25 % hm. (VÚT) a plném nasycení (FLL) je uvedeno v grafu 3.

U všech vegetačních souvrství byly při sycení podle FLL, obdobně jako při hodnocení součinitele odtoku při sklonu 3 % (kap. 3.3.2), stanoveny vyšší hodnoty špičkového součinitele odtoku než tabulkové hodnoty FLL (2017) viz tab. 1, např. 0,6 pro mocnost vegetačního souvrství 6–10 cm a sklon nad 5° (překročeno u **VS3 a VS3K**), nebo 0,45 pro mocnost 10–15 cm a sklon nad 5° (překročeno u **VS4K**).

Graf 3 Odtokové charakteristiky modelových skladeb vegetačního souvrství (viz tab. 4) při počátečním nasycení na 25 % hm. (VÚT) a plném nasycení (FLL) při sklonech 5°–30°, C – součinitel špičkového odtoku (viz tab. 8).



Hodnoty C_{peak} pro měřené skladby do sklonu 8 % včetně se pohybovaly kolem 0,7, jsou tedy vyšší, než limit 0,55. Při hodnocení skladby **VS2** se potvrdilo pravidlo uváděné v metodice FLL, že stanovený C_{peak} při sklonu 2 % obecně platí pro sklon souvrství do 8 %.

Hodnoty C_{peak} u sklonu nad 6° včetně vycházely nižší než u plochých střech do 8 % (4,6°). Měření bylo ovlivněno nižším počátečním nasycením vlivem odtoku vody po sycení šikmé skladby. Ve většině případu byly hodnoty $C_{peak} < 0,7$.

U skladeb **VS1–VS3** tvořil vrchní vrstvu substrát nebo rozchodníkový koberec. Použití koberce výrazně neovlivňovalo odtok modelových srážek. Pouze při vyšším sklonu (6°) byl C_{peak} u varianty VS3K vyšší než u varianty bez koberce. Použití koberce při měření součinitelů odtoku by mohlo odrážet praktické zásady a koberec by se mohl používat pouze v případě, kdy je součástí skladby, především u vyšších sklonů.

Vliv zpomalovačů odtoku u skladby **VS4K** při sklonu 45° při sycení podle FLL se výrazně neprojevil. Oproti kontrolnímu měření bez zpomalovačů vyšel C_{peak} ale mírně nižší 0,73 oproti 0,76. Hlavní funkce zpomalovačů odtoku je přerušení desky minerální plsti a

snížení postupného odtoku akumulované vody. Hlavní význam je pro dlouhodobé zadržení vody v plsti (Dubský a Vokál, 2019, Zahradnictví 2/2019). Při intenzivním modelovém dešti (27 mm) dochází k odtoku vody přes vegetaci (při stanovení přes rozchodníkový koberec).

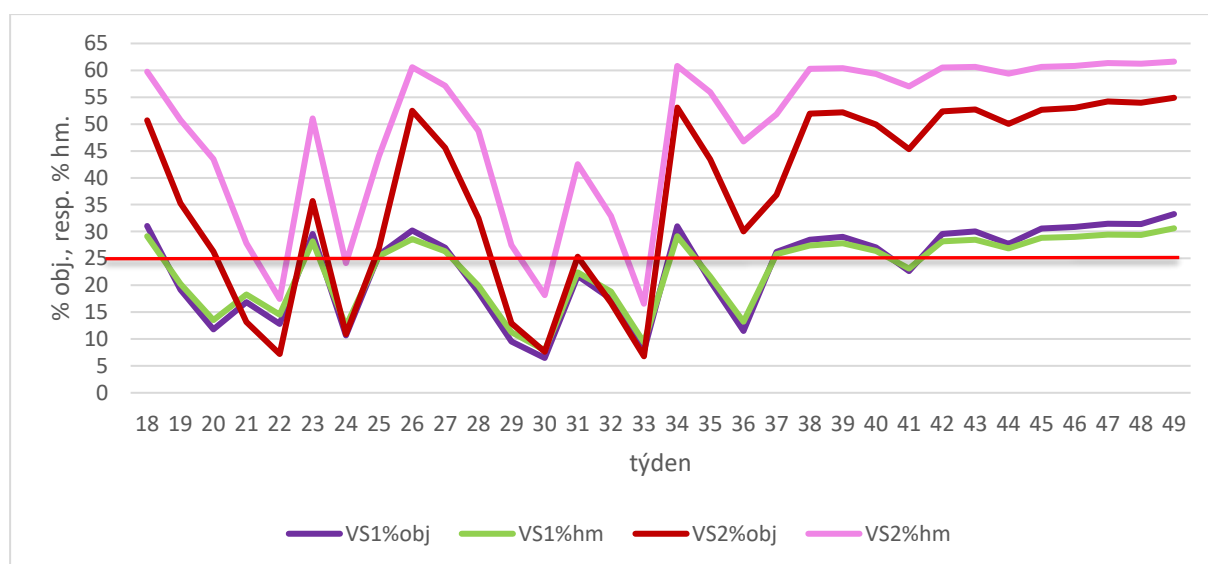
3.3.4 Hodnocení vegetačního pokusu, odtok přirozených srážek

Na laboratorní hodnocení navázal maloplošný vegetační pokus pro stanovení nasycení vegetačních souvrství **VS1** a **VS2** (viz tab. 4) a odtoku srážek v průběhu vegetačního období. Po ukončení laboratorního měření byly 27. 4. 2022 testovací panely nasycené na maximální vodní kapacitu umístěny na venkovní plochu se sklonem 3 % (1,72°) a osázeny řízků dvou druhů rozchodníků *Sedum album* a *Sedum sexangulare*. Pro zjednodušení hodnocení pokrývnosti byly použity pouze dva méně vzrůstné druhy rozchodníků.

Na jeden panel připadlo 63 g řízků rozchodníků, cca. 300 g/m². Pro rychlé zapojení porostu bylo použito zvýšené (dvojnásobné) množství, standardně se používá 150 g/m². Následně se aplikovalo hnojivo s řízeným uvolňováním s účinností 5–6 měsíců (15 % N, 9 % P₂O₅, 12 % K₂O, 2,5 % MgO) v množství 34 g hnojiva na m². To odpovídá roční doporučené dávce dusíku 5 g N/m², současně se dodalo na m²: 1,4 g P, 3,4 g K a 0,5 g Mg. Výsadba řízků byla 5 dní po výsadbě zalita (4,7 mm) a 10 a 15 dní po výsadbě mírně zavlažena (2×1,4 mm), dále byl porost bez závlivky.

Na pokusné ploše byly měřeny dešťové srážky a panely byly 1–2× týdně váženy pro stanovení aktuální vlhkosti a nasycení vegetačního souvrství. Průběh nasycení hodnocených souvrství v % obj. i % hm. je uveden v grafu 4. Souběžně byl měřen objem drenážované vody a na základě bilance srážek a drenážované vody byl stanoven celkový výpar – evapotranspirace. Pokusné panely byly hodnoceny 32 týdnů, od 18. týdne (počátek května) do 49. týdne (počátek prosince).

Graf 4 Průběh nasycení modelových vegetačních souvrství **VS1** a **VS2** v % hm. a % obj.



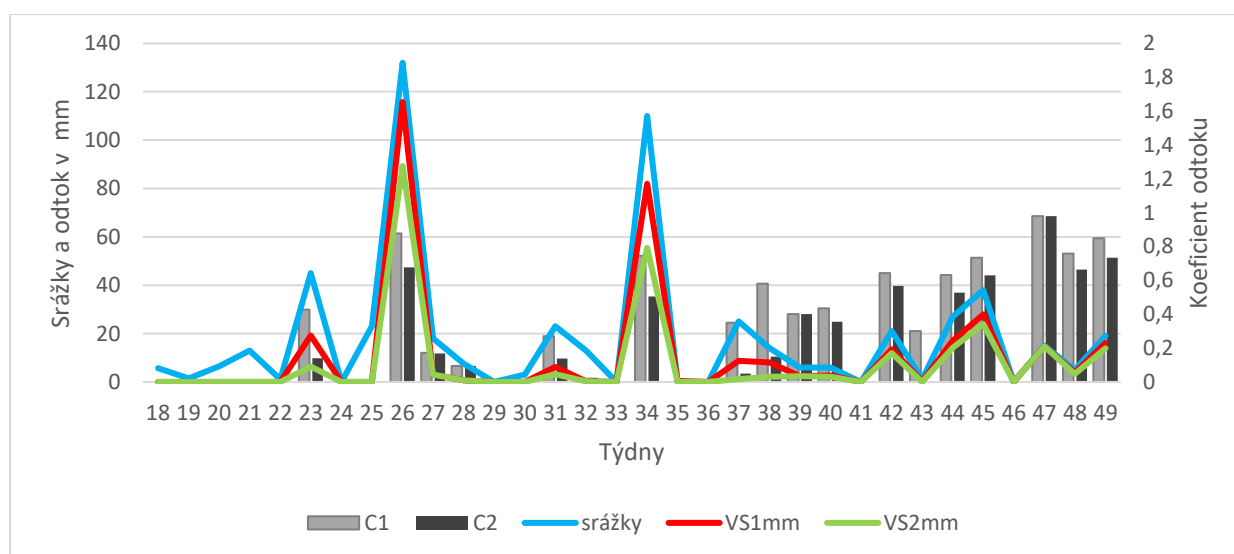
Celkový souhrn srážek za sledované období (32 týdnů) byl 579 mm. Souhrnný součinitel odtoku u skladby **VS1** byl 0,59, spotřeba vody evapotranspirací za sledované období byla 236 mm, průměrná denní evapotranspirace byla 1,06 mm/den. U skladby **VS2** byl souhrnný

součinitel odtoku nižší, 0,43, celková spotřeba vody evapotranspirací byla 331 mm, průměrná evapotranspirace 1,48 mm/den. Snížený odtok vody a vyšší evapotranspirace u souvrství VS2 byly ovlivněny výhradně složením daného souvrství, použitím hydroakumulačního panelu. Vodní kapacita se u skladby **VS1** pohybovala v rozmezí 6,5–31,0 L/m², u **VS2** 7,1–55,6 L/m².

Hodnocení součinitele odtoku v rámci jednoho vegetačního období korespondovalo s údaji z literatury, extenzivní zelená střecha je schopna (Mentens et al., 2006) roční odtok zredukovat o 27–81 %. V našem případě byl odtok zredukován o 41 % (VS1, C = 0,59), resp. 57 % (VS2, C = 0,43). Při dlouhodobém sledování se v průběhu jednotlivých let vedle složení a výšky souvrství výrazně projeví sezónní srážkové úhrny.

Graf 5 znázorňuje průběh týdenních úhrnů srážek, jejich odtok z hodnocených souvrství a součinitele odtoku za daný týden. Hodnocené období bylo rozděleno na „sušší“ část (16 týdnů, týdny 19.–22., 24.–25., 28.–33., 35.–37., 41.), kdy byl nízký úhrn srážek a nulový nebo nízký odtok a na „vlhčí“ část (také 16 týdnů – týdny 18., 23., 26.–27., 34., 38.–40., 43.–49.) s vyšším úhrnem srážek a odtokem (tab. 9). V týdnech s vyššími úhrny srážek průměrné hodnoty nasycení, 29,8 % obj. u VS1 a 50,1 % obj. u VS2, odpovídaly nasycení před měřením podle FLL (viz tab. 8).

Graf 5 Průběh týdenních úhrnů srážek, jejich odtok ze souvrství (**VS1** a **VS2**) v mm a týdenní součinitele odtoku (VS1 – C1, VS2 – C2) za dané období; vyšší nasycení souvrství (viz graf 4), resp. vyšší úhrn srážek a odtok – týdny 18., 23., 26.–27., 34., 38.–40., 43.–49.



Týdenní součinitele odtoku byly výrazně nižší u VS2 (0,14–0,68) oproti VS1 (0,43–0,88). Vysoký součinitel odtoku 0,98 byl u obou souvrství stanoven od poloviny listopadu (viz graf 5), kdy byla obě souvrství plně nasycena a kdy navíc docházelo k zmrznutí souvrství a následnému roztání sněhových srážek.

V sušším období se týdenní součinitel odtoku u skladby VS1 pohyboval v rozmezí 0–0,43, u skladby VS2 byl nižší, rozmezí 0–0,36. Průměrné hodnoty nasycení byly 16,3 % obj. (17,4 % hm.) u VS1 a 24,4 % obj. (38,3 % hm.) u VS2. Tyto hodnoty odpovídaly přibližně 40 % teoretické MVK, vypočítané podle laboratorního hodnocení jednotlivých komponentů (tab. 2). Potvrdil se předpoklad z počátečních laboratorních měření součinitele odtoku ve VÚKOZ. Nasycení na 40 % teoretické MVK by mohlo představovat modelové nasycení skladby vegetačního souvrství plochých extenzivních střech se sklonem <5° (8,7 %) při přirozeném

vyschnutí v období s nízkým úhrnem srážek. Nasycení na 40 % teoretické MVK zohledňuje skladbu souvrství, je vyšší při použití hydroakumulačních panelů a je jednoduché ho odvodit na základě laboratorních rozborů jednotlivých vrstev.

Tab. 9 Hodnocení vegetačních souvrství v sušším období s nulovými nebo nízkými úhrny srážek a ve vlhčím období, w – vlhkost hm., VK – vlhkost obj., 40% – nasycení souvrství odpovídající 40 % teoretické MVK (viz tab. 2), $C_{\text{týdení}}$ – součinitel odtoku za týdenní období.

skladba	Sušší období						Vlhčí období					
	w [% hm.]		VK [% obj.]			$C_{\text{týdení}}$	w [% hm.]		VK [% obj.]		$C_{\text{týdení}}$	
	rozsah	ø	rozsah	ø	40%	rozsah	rozsah	ø	rozsah	ø	rozsah	
VS1	9,4– 25,8	17,4	7,8– 26,8	16,2	17,4	0– 0,35	25,8– 29,1	28,4	26,2– 31,0	29,9	0,40– 0,88*	
VS2	16,6– 59,4	38,3	6,8– 49,9	23,6	26,2	0– 0,14	51,7– 61,6	59,7	35,7– 53,1	50,1	0,15– 0,68*	

* vyjma 48. a 49. týdne, kdy $C_{\text{týdení}} = 0,98$.

V rámci měření v přirozených podmínkách byly stanoveny i celkové součinitele odtoku pro denní úhrny srážek kolem modelových 27 mm (roztah 23–32 mm). Panely byly zváženy před a po srážkové události a byl stanoven odtok v rámci dané srážky. Příklady konkrétních měření jsou uvedeny v tabulce 10, kde jsou jednorázově stanovené součinitele odtoku po intenzivních srážkách porovnány s laboratorně stanovenými hodnotami celkového odtoku před založením venkovního pokusu. Při nízkém počátečním nasycení (obě vegetační souvrství kolem 10 % obj.) byly stanoveny nízké součinitele odtoku a součinitel odtoku u souvrství s hydroakumulačním panelem byl výrazně nižší. Při intenzivních opakovaných srážkách byly součinitele odtoku (C_{celk}) obdobné nebo vyšší jako při laboratorním hodnocení podle FLL.

Tab. 10 Součinitele celkového odtoku (C_{celk}) stanovené ve venkovních podmínkách při sklonu 3 % ($1,7^\circ$) při jednorázových denních srážkových úhrnech 23–32 mm a součinitele celkového odtoku (C_{celk}) stanovené při počátečním nasycení vegetačního souvrství podle metody VÚT a FLL při sklonu 3 % ($1,7^\circ$) při referenčních srážkách 27 mm.

skladba	23. 6. – srážky 23 mm				29. 6. – srážky 27 mm				30. 6. – srážky 32 mm			
	$w_{\text{poč}}$	$VK_{\text{poč}}$	C_{celk}	VK	$w_{\text{poč}}$	$VK_{\text{poč}}$	C_{celk}	HK	$w_{\text{poč}}$	$VK_{\text{poč}}$	C_{celk}	HK
	% hm.	% obj.		L/m ²	% hm.	% obj.		L/m ²	% hm.	% obj.		L/m ²
VS1	10,7	12,4	0,31	25,8	24,5	24,5	0,81	29,6	29,6	28,2	0,98	30,2
VS2	24,1	10,9	0,18	28,2	44,8	56,7	0,73	54,3	51,8	60,2	0,98	55,5
	Metoda VÚT				Metoda FLL							
VS1	25	23,4	0,65	30,7	29,5	30,1	0,84	32,6				
VS2	25	11,2	0	38,7	59,2	48,8	0,87	53,4				

$w_{\text{poč}}$ – počáteční vlhkost, $VK_{\text{poč}}$ – vodní kapacita – objemová vlhkost na počátku měření, VK – vodní kapacita v L/m² na konci měření (pro srovnání s HK), HK – hydroakumulační kapacita – maximální vodní kapacita v L/m² na konci měření při maximálním nasycení.

4 Závěrečné konstatování

Při uvádění stanovených koeficientů odtoku a dalších parametrů (vodní kapacita – retenční schopnost v % obj., hydroakumulační kapacita v L/m²) stanovených v rámci laboratorních měření je nutné uvést použitou metodu, specifikovat sklon a přesně specifikovat počáteční nasycení vegetačního souvrství. U součinitele odtoku deklarovat, zda se jedná o koeficient špičkového odtoku (C_{peak}) nebo jinak stanovenou veličinu. Stanovení součinitele odtoku je důležité pro charakteristiku vegetačního souvrství zejména u plochých střech se sklonem <math><5^\circ</math> (8,7 %).

Problematické může být zařazení hodnocení součinitele odtoku do podmínek dotací na zelené střechy bez přesně definované metody stanovení nebo porovnávání souvrství v rámci výběrových řízení na základě výsledků stanovených při odlišných podmínkách měření. Laboratorní stanovení součinitele odtoku je ovlivněno řadou faktorů, vedle složení a sklonu souvrství, především jeho počátečním nasycením. Z tohoto pohledu je nutné k výsledkům měření a jejich interpretaci přistupovat.

Pracovníci agrochemické laboratoře VÚKOZ na sporné hodnocení součinitele odtoku pro získání dotace SFŽP v období 2021–2023 poukazovali, výsledky laboratorních stanovení průběžně publikovali v časopise Zahradnictví. Podmínky na dotaci pro zelené střechy v aktuálním programu Nová zelená úsporám (platné od 26. 9. 2023) byly zjednodušeny a součinitel odtoku nebyl do podmínek zařazen.

Pro hodnocení součinitele odtoku pro získání dotace SFŽP v období 2021–2023 bylo vhodnější, resp. nutné použít metodu VÚT, resp. sycení 25 ± 5 % hm. Toto sycení odpovídalo nastavení dotace. Celkový součinitel odtok (C_{peak}) vycházel přirozeně nižší než při sycení podle FLL.

Metoda FLL (počáteční nasycení na maximální vodní kapacitu, relativně dlouhý panel 5×1 m, simulovaný 15min. dešť 27 mm) dobře charakterizuje odtok srážek a jejich zpomalení v průběhu intenzivního deště. Při hodnocení součinitele odtoku u plně nasyceného souvrství je možné po ustálení odtoku, např. 2 hod po ukončení modelového deště stanovit vlastnosti souvrství při jeho maximálním nasycení: maximální vodní kapacitu vegetačního souvrství (MVK), hydroakumulační kapacitu (HK) a plošnou hmotnost (PH).

Metoda VÚT (panel $1,5 \times 1,5$ m, simulovaný 15min. dešť 27 mm) s počáteční vlhkostí měřeného vzorku 25 ± 5 % hm. má poměrně široký počáteční rozsah nasycení. Tento rozsah, na základě měření provedených v laboratoři VÚKOZ, u řady vegetačních souvrství nereprezentuje nasycení souvrství při období bez dlouhodobých intenzivních srážek.

Z pohledu pěstitelského je vhodné počáteční nasycení vegetačního souvrství před měřením uvádět v % objemových. Nasycení i další parametry maximální vodní kapacita (retenční schopnost) by měly být uváděny v % obj. a vztaheny na celý objem vegetačního souvrství nebo na objem strukturních vrstev schopných zadržet vodu při použití drenážní vrstvy bez akumulace vody.

Na základě provedených měření bylo navrženo nasycení vegetačního souvrství, které odpovídá stavu při delším období bez srážek. U plochých extenzivních zelených střech se sklonem do $8,7$ % (5°) je to nasycení na 40 % teoretické MVK vypočítané na základě vlastností jednotlivých vrstev vegetačního souvrství. U šikmých extenzivních zelených střech se sklonem 6 – 30° , resp. 45° je to nasycení na 20 %, resp. 15 % teoretické MVK vypočítané na základě vlastností jednotlivých vrstev vegetačního souvrství.

Při následném opakovaném sycení a hodnocení součinitele odtoku při maximálním nasycení podle FLL lze stanovit reálnou maximální vodní kapacita daného souvrství.

Stanovenou hodnotu MVK je také možné vzít za základ pro modelové nasycení vegetačního souvrství, které odpovídá stavu při delším období bez srážek. Ploché extenzivní zelené střechy se sklonem do 8,7 % (5°) pak sytit na 55 % stanovené MVK a šikmé extenzivní střechy se sklonem 6–45° sytit na 44 % MVK.

Přehled všech hodnocených souvrství, jejich základní vlastnosti – výška, hydroakumulační kapacita, maximální vodní kapacita a doporučené sycení odvozené od MVK je uvedeno v tabulce 11. V rámci porovnání vodní kapacity ($VK_{poč}$), objemové vlhkost na počátku měření sycení podle VÚT (počáteční vlhkost $w_{poč} = 25$ % hm.) a doporučeného sycení, které odpovídá období bez intenzivních srážek je patné pouze mírně vyšší sycení podle VÚT u skladeb plochých střech **VS½S**, **VS1** a **VS1K** plochých bez hydroakumulačních panelů a u skladby šikmé střechy (15°–45°) **VS4K**. U těchto skladeb nasycení na 25 % hm. přibližně odpovídá doporučenému sycení v % obj. odvozené od MVK.

Naopak u skladeb plochých střech **VSP/S**, **VS2** **VS2K** a skladeb šikmých střech (6°–12°) **VS3** a **VS3K** s hydroakumulačními panely se počáteční objemové nasycení podle VÚT pohybovalo v rozmezí 10–11 % obj., což je pouze 20 % stanovené MVK. U těchto skladeb byl při nasycení na 25 % hm. stanoven nulový součinitel odtoku do sklonu 6° včetně.

Tab. 11 Základní vlastnosti modelových vegetačních souvrství (VS) stanovené při měření součinitele odtoku, návrh sycení – stav při delším období bez srážek: % T – procento teoretické MVK pro danou skladbu a sklon, % MVK – podíl nasycení v % obj. na MVK.

skladba	sklon	v	HK	MVK	MVK-T	M/T	$VK_{poč}$	sycení		
								mm	L/m ²	% obj.
VS½S	3 % (1,7°)	69	22,4	32,4	38,7	83,7	17,2	40	15,5	47,8
VSP/S	3 % (1,7°)	110	60,2	54,7	75,2	72,7	18,7	40	30,1	55,0
VS1	3 % (1,7°)	109	32,9	30,2	43,6	69,3	22,8	40	17,4	57,7
VS1K	3 % (1,7°)	119	36,8	30,9	41,2	75,0	20,7	40	16,5	53,3
VS2	3 % (1,7°)	109	54,1	49,6	65,6	75,6	10,9	40	26,2	52,9
VS2K	3 % (1,7°)	119	57,0	47,9	61,4	78,0	10,6	40	24,6	51,3
VS2	8 % (4,6°)	109	50,9	46,7	65,6	71,2	11,0	40	26,2	56,2
VS2K	8 % (4,6°)	119	57,0	47,9	61,4	78,0	10,8	40	24,6	51,3
VS3	6° (10,5 %)	88	33,9	38,5	76,1	50,6	10,2	20	15,2	39,5
VS3K	6° (10,5 %)	98	40,0	40,8	69,9	58,4	10,2	20	14,0	34,3
VS3	12° (21,3 %)	88	25,7	29,2	76,1	38,4	10,2	20	15,2	52,1
VS3K	12° (21,3 %)	98	30,2	30,8	69,9	44,1	10,2	20	14,0	45,4
VS4K	15°	113	34,0	30,1	66,9	45,0	15,7	20	13,4	44,5
VS4K	30°	113	31,2	27,6	66,9	41,3	15,7	20	13,4	48,5
VS4K	45°	113	24,0	21,2	66,9	31,7	14,5	15	10,0	47,3

v – výška souvrství, HK – hydroakumulační kapacita, MVK – maximální vodní kapacita, MVK-T – teoretická maximální vodní kapacita na základě hodnocení jednotlivých vrstev, M/T – podíl MVK a MVK-T, $VK_{poč}$ – vodní kapacita – objemová vlhkost na počátku měření sycení podle VÚT (počáteční vlhkost $w_{poč} = 25$ % hm.).

Příklad teoretického modelového sycení vegetačních souvrství **VS1K** na 16 % obj. a **VS2** na 26 % obj. (viz tab. 11) je uveden v tabulce 12. Minerální substrát dodaný od výrobce má přirozenou vlhkost 13,1 % hm. (13,7 % obj.), u rozchodníkového koberece byla stanovena vlhkost 33 % hm. (31,9 % obj., viz tab. 7). U minerální plsti jsou uvedeny 2 varianty sycení, při použití suchá plst d výrobce s minimální vlhkostí (1,5 % hm.) a při použití předem nasycené plsti s ustálenou vlhkostí na 37 % hm (8 % obj.). V případě vyšší počáteční vlhkosti některých komponentů (rozchodníkový koberec, předem nasycená minerální plst), je reálné sycení adekvátně poníženo.

Výsledky dvouletého měření z laboratoř VÚKOZ je možné použít jako podklady pro přípravu metodiky měření součinitele odtoku, která bude určena pro hodnocení souvrství extenzivních zelených střech z pěstitelského úhlu pohledu a bude charakterizovat součinitel odtoku při nasycení vegetačního souvrství, které odpovídá stavu při delším období bez srážek. Předpokládá se použití standardního simulovaného deště 27 mm/15 min. Pro eliminaci okrajových efektů je vhodný panel o rozměrech minimálně podle VÚT 1,5 × 1,5 m. Na toto měření by mělo navazovat sycení a měření podle FLL, které charakterizuje odtok vody z vegetačního souvrství při opakovaných intenzivních deštích a umožňuje stanovit maximální nasycení vegetačního souvrství.

Tab. 12 Modelové sycení vegetačních souvrství **VS1K** a **VS2** (viz tab. 4): PHS – plošná hmotnost suchého souvrství, v – výška souvrství, počáteční vlhkost jednotlivých vrstev a potřeba vody v L/m² na cílovou počáteční vlhkost 16 % obj. (**VS1K**), resp. 66 % obj. (**VS2**). Teoretický výpočet sycení (teor.) a reálné (real.) sycení před měřením součinitele odtoku.

souvrství jednotlivé vrstvy	PHS kg/m ²	v mm	počáteční vlhkost			potřeba vody L/m ²	cílový stav		sycení	
			% hm.	L/m ²	% obj.		% Obj.	% hm.	teor.	real.
VS1K										
Izolační geotextilie	0,534	5								
Kalíšková folie	1,0	23								
Separáční geotextilie	0,123	1								
Minerální substrát	59,2	65	0,131	8,92	13,7	13,8	21,2		4,8	2,1
Rozchodnkov koberec	16,2	25	0,33	7,98	31,9	5,3	21,2		-2,7	0
Cel souvrství	77,0	119		16,90	14,2	19,0	16,0	19,8	2,1	2,1
VS2 – such plst										
Izolační geotextilie	0,534	5								
Kalíšková folie	1,0	23								
Separáční geotextilie	0,123	1								
Minerální plst	6,8	50	0,015	0,10	0,2	17,7	35,4		17,6	17,6
Minerální substrát	27,3	30	0,131	4,12	13,7	10,6	35,4		6,5	6,5
Cel souvrství	35,8	109		4,22	3,9	28,3	26,0	44,2	24,1	24,1
VS2 – vlhk plst										
Izolační geotextilie	0,534	5								
Kalíšková folie	1,0	23								
Separáční geotextilie	0,123	1								
Minerální plst	6,8	50	0,37	3,99	8,0	17,7	35,4		13,7	13,7
Minerální substrát	27,3	30	0,131	4,12	13,7	10,6	35,4		6,5	6,5
Cel souvrství	35,8	109		8,11	7,4	28,3	26,0	44,2	20,2	20,2

Výsledky dvouletého měření z laboratoř VÚKOZ je možné použít jako podklady pro přípravu metodiky měření součinitele odtoku, která bude určena pro hodnocení souvrství extenzivních zelených střech z pěstitelského úhlu pohledu a bude charakterizovat součinitel odtoku při nasycení vegetačního souvrství, které odpovídá stavu při delším období bez intenzivních srážek. Předpokládá se použití standardního simulovaného deště 27 mm/15 min. Pro eliminaci okrajových efektů je vhodný panel o rozměrech minimálně podle VÚT 1,5 × 1,5 m. Na toto měření by mělo navazovat sycení a měření podle FLL, které charakterizuje odtok vody z vegetačního souvrství při opakovaných intenzivních deštích a umožňuje stanovit maximální nasycení vegetačního souvrství a hydroakumulační kapacitu.

Laboratoř VÚKOZ neplánuje další obdobná měření součinitele odtoku vegetačních souvrství extenzivních zelených střech. Při případném hodnocení nových typů vegetačních souvrství např. testování nových typů substrátů, nebo hydroakumulačních panelů a jejich porovnání se osvědčenými skladbami vegetačních souvrství by použila popsany maloplošný panel o rozměru 0,37 × 0,57 m, nebo by spolupracovala s laboratořemi vybavenými standardními testovanými panely.

Předložená technická dokumentace ověřované technologie „**Laboratorní hodnocení odtoku srážek z extenzivních zelených střech – stanovení součinitele odtoku**“ je učena pro pracovníky laboratoř zabývajících se hydrofyzikálními vlastnostmi minerálních substrátů a vegetačních souvrství zelených střech a pro realizátory zelených střech. Předložená dokumentace obsahuje všechny výstupy naměřené a zjištěné výsledky z ověřování v letech 2021 a 2022.

5 Smlouva o uplatnění ověřené technologie

Smlouva o uplatnění ověřené technologie „**Laboratorní hodnocení odtoku srážek z extenzivních zelených střech – stanovení součinitele odtoku**“ byla uzavřena s firmou ACRE spol. s r. o., Střížkovská 2426/1, 180 00 Praha 8.

Firma ACRE spol. s r. o. využívala uveřejněné výsledky již v průběhu testování. Na svých webových stránkách (<https://www.acre.cz/dokumenty>) jsou uvedeny součinitele odtoku (odtokové koeficienty) u 4 typů vegetačních souvrství: sklon 3–8 % – bez hydrofilních substrátových desek, sklon 3–8 % – s hydrofilními substrátovými deskami, sklon 5–15° – s hydrofilními substrátovými deskami a sklon 15–45° – s hydrofilními substrátovými deskami. V souborech jsou uvedeny součinitele odtoku při sycení podle VÚT i parametry souvrství při hodnocení podle FLL (maximální vodní kapacita, hydroakumulační kapacita). V budoucnu firma ACRE spol. s r. o. může využít ověřenou technologii při hodnocení nových typů vegetačních souvrství.

6. Seznam použité literatury

ČSN 75 6760. *Vnitřní kanalizace.*

DUBSKÝ, M., VOKÁL, J. (2019): Hydrofilní minerální plst – vlastnosti a použití při výsadbě zeleně. *Zahradnictví* 18 (2): 68–72.

DUBSKÝ, M. (2020): Substráty pro střešní zahrady. *Zahradnictví* 19 (2): 46–49.

- DUBSKÝ, M. (2021): Součinitel odtoku vegetačního souvrství zelených střech. *Zahradnictví* 20 (11): 18–21.
- DUBSKÝ, M. ŠÍMOVÁ, H. (2022): Odtok srážek z extenzivních zelených střech. *Zahradnictví* 21 (8): 31–35.
- DUBSKÝ, M. ŠÍMOVÁ, H. (2023): Zadržení srážek na extenzivních zelených střechách. *Zahradnictví* 22 (2): 40–43.
- FLL (2018): Green Roof Guidelines. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL).
- MENTENS, J., RAES, D., HERMY, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217-226. doi: <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>
- SZÚZ (2019): Vegetační souvrství zelených střech – standardy pro navrhování, provádění a údržbu, SZÚZ Brno. (<http://www.zelenestrechy.info/cs/>).
- VILLARREAL, E. L., BENGTSSON, L. (2005): Response of a Sedum green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering*, 25(1), 1-7. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.11.008>
- VOKÁL, J., DUBSKÝ, M. (2016): Spongilitový minerální substrát pro sadovnické realizace. Užitný vzor č. 29486 131 (<https://upv.gov.cz> nebo <https://www.acre.cz/dokumenty>).
- VOKÁL, J., DUBSKÝ, M. (2019): Vegetační souvrství na bázi hydrofilní minerální plsti pro intenzivní zelené střechy a mobilní nádoby. Užitný vzor č. 33 131(<https://upv.gov.cz> nebo <https://www.acre.cz/dokumenty>).
- VÚT Brno (2021): Stanovení odtokových parametrů zelených střech. Certifikovaná metodika. (<https://www.vut.cz/vav/vysledky/detail/169916>).

7. Fotografická příloha



Foto 1 a 2: Extenzivní zelené střecha, modelová skladba **VS2**, sklon 3 %, realizace vegetačního souvrství (ochranná geotextilie, kalíšková folie, separační geotextilie, deska hydrofilní minerální plsti a spongilitový substrát) a zapojení porostu (leden 2022) 6 měsíců po založení vegetace řízky rozchodníků (foto ACRE a H. Šimová).



Foto 3 a 4: Založení šikmé extenzivní střechy, skladba **VS4K**, sklon 45°, pokládka minerální plsti a zádržného systému na strukturovanou geotextilii s drenážní a hydroakumulační funkcí a dokončená realizace šikmé střechy po doplnění spongilitového substrátu do zádržného systému a pokládce rozchodníkového koberce (foto ACRE).