Jozef Olašák [1], Štěpánka Horáčková [2], Milan Palko [3]
[1] Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave https://orcid.org/0009-0003-3374-5762
[2] Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně https://orcid.org/0009-0001-9827-0775
[3] Katedra konštrukcií pozemných stavieb, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava https://orcid.org/0000-0001-7567-9765

VODNÝ REŽIM VEGETAČNEJ VRSTVY STREŠNÉHO PLÁŠŤA PRI SÚBEHU SUCHA A HORÚČAV: VPLYV HRÚBKY SUBSTRÁTU A ZÁVLAHY

Abstrakt

Súbeh sucha a horúčav vystavuje vegetačné strechy nedostatku vody práve v období, keď rastie potreba jej výdaja na ochladzovanie. Dokáže tento nedostatok zmierniť hrubší substrát vegetačnej strechy a akú úlohu zohráva závlaha? Príspevok skúma tieto súvislosti pomocou modelovania vodného režimu na základe meteorologických údajov z Bratislavy. Výsledky ukazujú, že hrubší substrát podporuje celkový sezónny výpar, no sám osebe nezabezpečuje dostatok vody pre rastliny počas kritických období. Závlaha vodný stres výrazne zmierňuje, jej obmedzovanie v záujme úspory vody však môže oslabiť tento účinok. Zistenia tejto štúdie zdôrazňujú potrebu posudzovať hrúbku substrátu a spôsob dopĺňania vody spoločne, so zreteľom na miestne podmienky a načasovanie suchých a horúcich období.

1. Úvod

Retencia zrážkovej vody a ochladzovanie strešného povrchu prostredníctvom evapotranspirácie patria medzi významné hydrologické a tepelné funkcie vegetačných striech [1] [2]. Ochladzovanie však závisí od dostupnosti vody. Evapotranspirácia zahŕňa výpar zo substrátu a transpiráciu, pri ktorej rastliny odoberajú vodu koreňmi a uvoľňujú ju do ovzdušia. Pri vysychaní substrátu sa evapotranspirácia znižuje. Nedostatok vody preto môže oslabiť ochladzovací účinok strechy práve v období zvýšeného tepelného zaťaženia. Význam vlhkosti substrátu a vlastností vegetácie potvrdzujú aj terénne pozorovania [3].

Pri navrhovaní preto nestačí poznať sezónny úhrn zrážok. Dôležitá je aj dostupnosť vody počas horúcich dní. Väčšia hrúbka substrátu zväčšuje priestor na zadržiavanie vody, zatiaľ čo závlaha dopĺňa jej zásobu počas prevádzky. Modelovanie umožňuje porovnať účinok oboch opatrení pri rovnakom priebehu počasia. Na hodnotenie vplyvu hrúbky substrátu bol v tejto štúdii použitý program HYDRUS-1D [4].

Cieľom príspevku je porovnať vplyv hrúbky substrátu a závlahy na vodný režim vegetačných striech s využitím údajov meteorologickej stanice Bratislava - Koliba. Hodnotí sa obmedzenie transpirácie, celková evapotranspirácia a spotreba závlahovej vody, osobitne počas súbehu sucha a horúčav. Porovnanie rozlišuje medzi celkovým sezónnym výdajom vody a schopnosťou porastu udržať transpiráciu počas kritických dní. Prípadová štúdia zahŕňa roky 2020 – 2022 a neslúži na hodnotenie dlhodobého klimatického trendu.

2.1 Meteorologické údaje a vymedzenie súbehu

Použili sa údaje meteorologickej stanice Bratislava - Koliba s identifikačným číslom 11813 z hodinovej databázy Global Historical Climatology Network hourly (GHCNh), ktorú spravuje americký Národný úrad pre oceán a atmosféru (NOAA) [5]. Za obdobie od apríla do septembra rokov 2020–2022 bolo dostupných 549 denných zrážkových úhrnov. Apríl slúžil ako úvodné obdobie výpočtu. Výsledky sa hodnotili od mája do septembra, teda za 153 dní v každom roku.

Údaje o zrážkach a teplote sa priradili k rovnakým 24 - hodinovým intervalom končiacim o 06:00 koordinovaného svetového času (UTC). Každý interval obsahoval najmenej 20 platných hodinových hodnôt teploty. Všetky použité zrážkové úhrny mali zdrojový kód 220 a príznak kvality 1, ktorý označuje údaj dobrej kvality. Chýbajúce hodnoty sa nenahrádzali nulami a prekrývajúce sa zrážkové hlásenia sa nesčítavali. Dátumy v grafoch označujú začiatok intervalu.

Za horúci deň, označený H, sa považoval deň s najvyššou dostupnou hodinovou teplotou aspoň 30 °C. Táto hodnota len približuje skutočné denné maximum. Krátkodobé zrážkové sucho, označené D_7, sa uvažovalo od siedmeho po sebe nasledujúceho dňa s úhrnom pod 1 mm. Zrážkový prah vychádza z definície suchého dňa v klimatických indexoch Climdex [6], kým sedemdňové trvanie bolo zvolené pre túto štúdiu. Súbeh $H \cap D_7$ označuje splnenie oboch podmienok. Nejde o priamy ukazovateľ vlhkosti substrátu ani o štandardnú definíciu vlny horúčav.

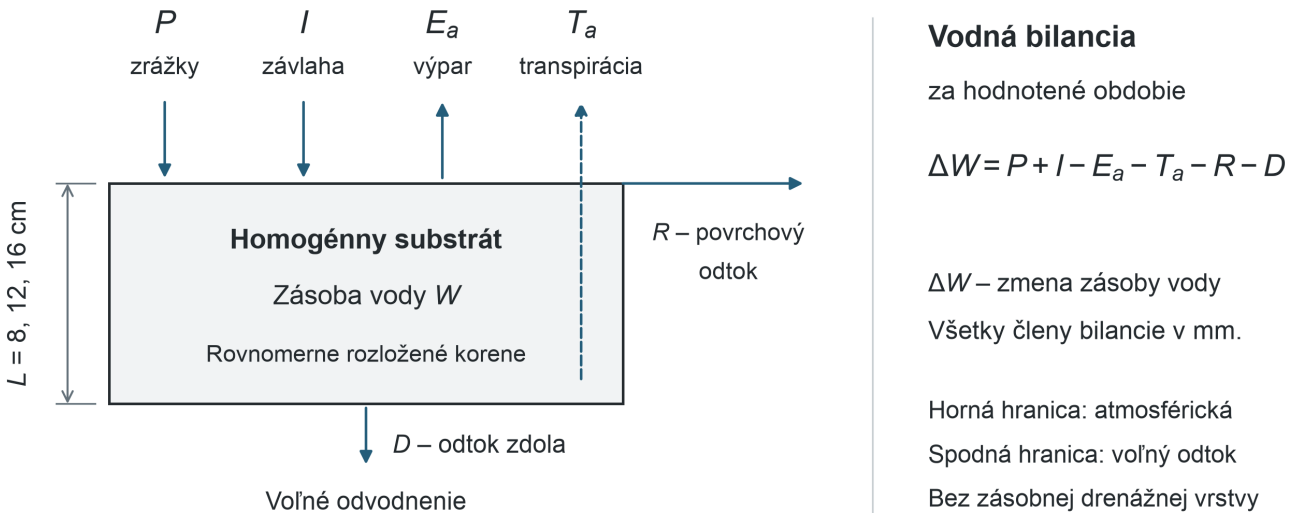
Porovnávali sa štyri skupiny dní: bez sucha a bez horúčavy, iba s horúčavou, iba so suchom a so súbehom oboch javov. Vodný stres sa môže vyskytnúť aj bez oboch javov. Súvislý úsek súbehu tvorili po sebe nasledujúce dni spĺňajúce obe podmienky. Skončil sa prvým dňom bez súbehu.

2.2 Model substrátu a vegetácie

Referenčná evapotranspirácia ET_0 vyjadruje výparový dopyt atmosféry nad referenčným trávnatým povrchom s dostatkom vody. Vyššia hodnota ET_0 znamená väčší potenciálny výdaj vody za daných meteorologických podmienok. Keďže chýbal súvislý rad meraní žiarenia, odhadla sa Hargreavesovou rovnicou z teplôt a mimoatmosférického žiarenia pre zemepisnú šírku stanice podľa metodiky FAO 56 [7]. Skratka FAO označuje Organizáciu Spojených národov pre výživu a poľnohospodárstvo. ET_0 slúži ako odhadovaný meteorologický vstup do modelu a nepredstavuje meranú stratu vody z vegetačnej strechy.

Vegetačnou vrstvou sa v tejto štúdii rozumie substrátová vrstva, v ktorej sa modeluje pohyb vody a jej odber koreňmi rastlín. Pohyb vody v substráte sa simuloval pomocou jednorozmerného programu HYDRUS-1D, ktorý rieši vertikálne prúdenie vody a jej odber koreňmi [8]. Model umožňuje sledovať zmeny vlhkosti substrátu v čase aj v jednotlivých hĺbkach. Použilo sa výpočtové jadro sprístupnené v projekte Phydrus [9]. Porovnalo sa 18 základných scenárov, ktoré kombinovali tri hrúbky substrátu, tri roky a dva režimy závlahy. Varianty v rámci rovnakého roka využívali zhodné meteorologické vstupy, čo umožnilo porovnať ich odozvu pri rovnakom priebehu počasia. Model tvorila jedna homogénna vrstva s prísunom vody zhora a voľným odvodnením na spodnej hranici. V celej hrúbke substrátu sa predpokladali rovnaké hydraulické vlastnosti, pričom jeho vlhkosť sa mohla meniť v závislosti od hĺbky a času. Samostatná zásobná drenážna vrstva

sa neuvažovala *(Obr. 1)*. Zásobu vody v substráte vegetačnej vrstvy dopĺňali zrážky a závlaha, zatiaľ čo evapotranspirácia a odtok ju znižovali.



Obr. 1 Výpočtová oblasť a vodná bilancia. Prerušovaná šípka označuje odber vody koreňmi. Schéma nezobrazuje konštrukčnú skladbu vegetačnej strechy. Zdroj: vlastné spracovanie.

Hydraulické vlastnosti substrátu Terra Mediterranea sa prevzali z publikovaných meraní [10]. Reziduálna a nasýtená objemová vlhkosť dosahovali 0,04 a 0,48 m³/m³. Retenčná krivka opisujúca vzťah medzi vlhkosťou a sacím tlakom mala parametre $\alpha = 0{,}04\ \text{cm}^{-1}$ a $n = 1{,}44$. Nasýtená hydraulická vodivosť K_s bola 38,64 cm/deň a parameter prepojenia pórov $l = 2{,}65$. Vlastnosti materiálu vychádzajú z literatúry, nie z merania konkrétneho slovenského výrobku na trhu.

Referenčný porast mal index listovej plochy LAI = 2, teda 2 m² listovej plochy na 1 m² strechy. Potenciálny výpar zo substrátu sa určil ako $ET_0 \times \exp(-0{,}5 \times LAI)$, kde exp označuje exponenciálnu funkciu. Zvyšná časť ET_0 pripadala na potenciálnu transpiráciu. Korene boli rozložené rovnomerne v celej hrúbke substrátu. Feddesova funkcia znižovala odber vody koreňmi pri premokrení aj vysychaní. Prahové hodnoty tlakovej výšky boli −10, −25, −200 až −800 a −8000 cm vodného stĺpca. Tretí prah závisel od potenciálnej transpirácie. Parametre porastu neboli kalibrované pre konkrétny rastlinný druh.

2.3 Závlaha a hodnotenie vodného stresu

Skutočná transpirácia vypočítaná modelom sa označuje T_a a potenciálna transpirácia pri dostatku vody T_p. Denný pomer T_a/T_p vyjadruje, aký podiel potenciálnej transpirácie porast dosiahol. Hodnota 0,5 napríklad znamená 50 % potenciálnej transpirácie. Deň s pomerom pod 0,5 sa považoval za deň silného modelového vodného stresu. Tento ukazovateľ priamo nevyjadruje odumieranie vegetácie ani teplotu povrchu.

Vo variante bez závlahy boli jediným prísunom vody zrážky. Základná závlaha dodala 5 mm vody, ak pomer T_a/T_p v predchádzajúcom dni klesol pod 0,7. Jeden milimeter vody zodpovedá jednému litru na meter štvorcový. Pravidlo sa uplatňovalo aj v úvodnom aprílovom období, no uvedená spotreba zahŕňa iba máj až september. Denné zrážky a dávky závlahy sa v základnom modeli rozdeľovali rovnomerne počas dňa.

Tri doplňujúce scenáre pre substrát s hrúbkou 12 cm testovali korekciu dávky podľa zrážok. Pri rovnakej podmienke spustenia sa dávka znížila o denný úhrn zrážok:

I = max(0; 5 − P), kde I je dávka závlahy a P úhrn zrážok v mm. Použili sa skutočné zrážky známe až spätne, nie ich predpoveď. Zistenú úsporu preto nemožno automaticky očakávať pri riadení závlahy v praxi.

Za celú sezónu aj za skupiny dní sa vypočítal pomer súčtu skutočnej a súčtu potenciálnej transpirácie, označený $\Sigma T_a/\Sigma T_p$. Znak Σ znamená súčet. Ukazovateľ sa odlišuje od jednoduchého priemeru denných pomerov. Hodnotila sa aj skutočná evapotranspirácia ET_a, teda súčet modelového výparu zo substrátu a transpirácie, a odtok zo spodnej hranice modelu vegetačnej strechy.

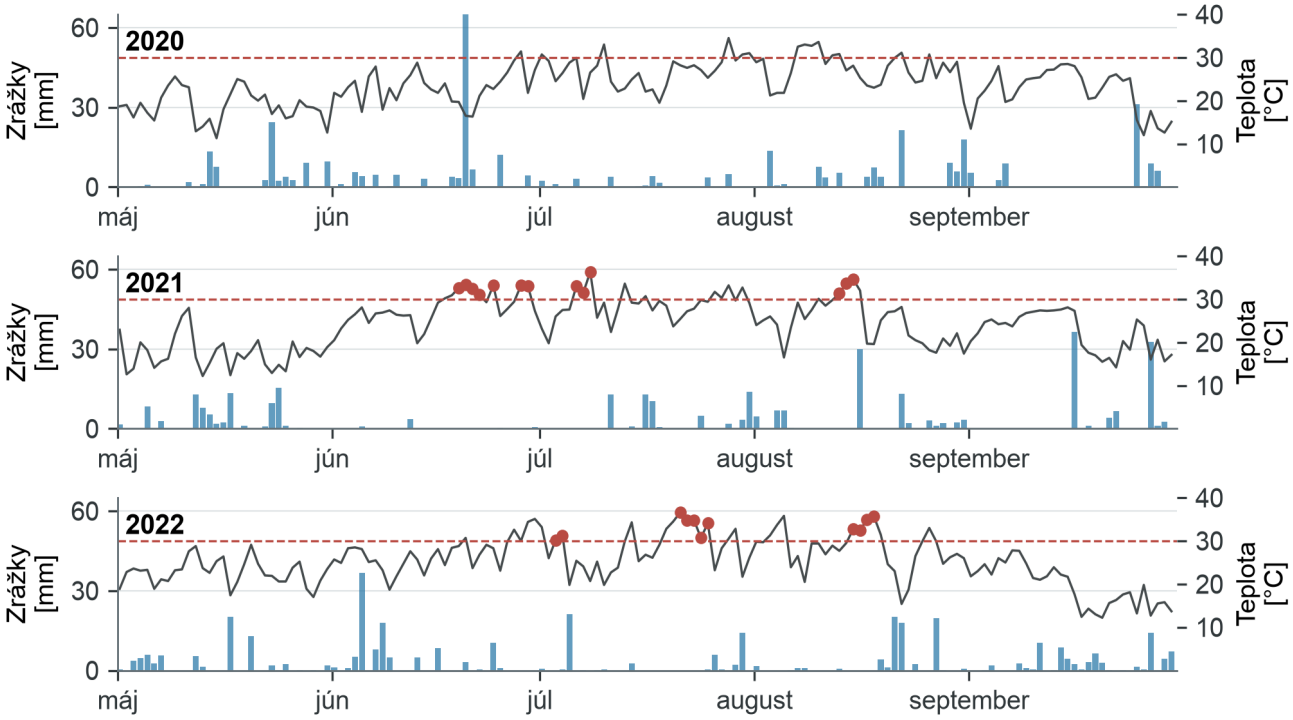
2.4 Kontrola výpočtov a citlivosť

Priestorový krok modelu bol 0,5 cm, maximálny časový krok 0,05 dňa a počiatočná tlaková výška −100 cm. Doplnilo sa 24 kontrolných a citlivostných scenárov. Vrátane troch testov korekcie závlahy sa hodnotilo 45 scenárov. Overil sa vplyv jemnejšej siete, časového kroku, denných reštartov, výparového dopytu, listovej plochy, koreňového odberu, počiatočného stavu, rozdelenia zrážok a vlastností substrátu. Vždy sa menil iba jeden faktor. Absolútna sezónna odchýlka vodnej bilancie v základných scenároch neprekročila 0,26 mm.

3. Výsledky a diskusia

3.1 Načasovanie sucha a horúčav

V rokoch 2020, 2021 a 2022 sa zaznamenalo 14, 23 a 27 horúcich dní. Súbeh so suchom sa vyskytol v 0, 13 a 11 dňoch *(Obr. 2)*. Sezónne úhrny zrážok dosiahli 391,6 mm; 313,2 mm a 363,1 mm. Samotný úhrn však nevyjadruje, kedy sa nedostatok vody prejavil. V roku 2020 sa vyskytlo aj 27-dňové suché obdobie, ktoré sa pri zvolenom teplotnom prahu neprekrývalo s horúčavou. Vyšší počet horúcich dní teda neznamenal viac dní súbehu so suchom.

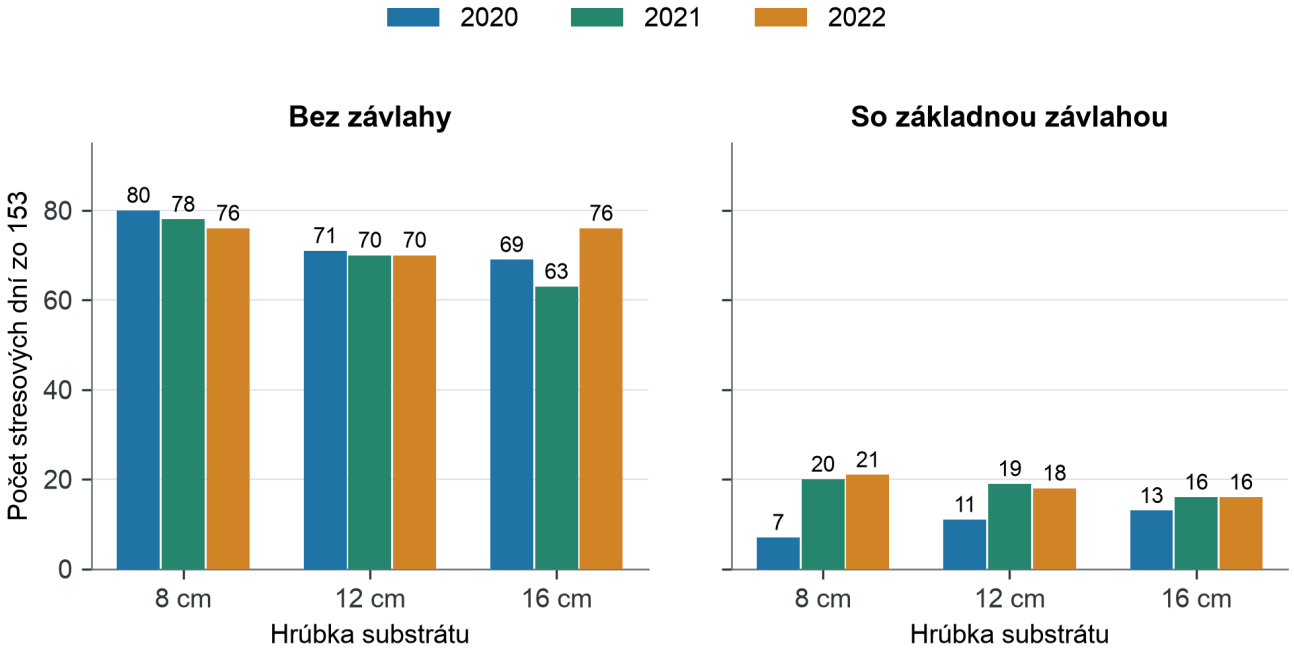


Obr. 2 Denné zrážky a maximum hodinových teplôt od mája do septembra. Prerušovaná čiara označuje 30 °C a červené body súbeh sucha a horúčavy. Zdroj: vlastné spracovanie údajov NOAA [5].

Súbeh sa vyskytol v piatich súvislých úsekoch v roku 2021 a v troch v roku 2022. Najdlhší trval od 21. júla do 25. júla 2022 s najvyššou hodinovou teplotou 36,6 °C. Štyri úseky v júni a júli 2021 patrili k jednému súvislému suchému obdobiu, preto nejde o nezávislé epizódy sucha. Pri predĺžení požadovaného trvania suchého obdobia z 5 dní na 10 dní klesol počet dní súbehu zo 16 dní na 8 dní v roku 2021 a z 15 dní na 6 dní v roku 2022. Výsledok teda závisí aj od definície sucha.

3.2 Hrúbka substrátu a základná závlaha

Bez závlahy sa silný vodný stres vyskytol počas 63 – 80 dní zo 153 dní sezóny. Zväčšenie hrúbky substrátu z 8 cm na 16 cm zvýšilo sezónnu skutočnú evapotranspiráciu o 32,8 mm v roku 2020, o 30,6 mm v roku 2021 a o 32,5 mm v roku 2022. Väčší objem substrátu tak umožnil vyšší celkový výdaj vody, no väčšia hrúbka neviedla vždy k nižšiemu počtu stresových dní *(Obr. 3)*.



Obr. 3 Dni s transpiráciou pod 50 % potenciálnej hodnoty pri troch hrúbkach substrátu. Obe časti grafu majú rovnakú mierku. Zdroj: vlastné modelové výpočty.

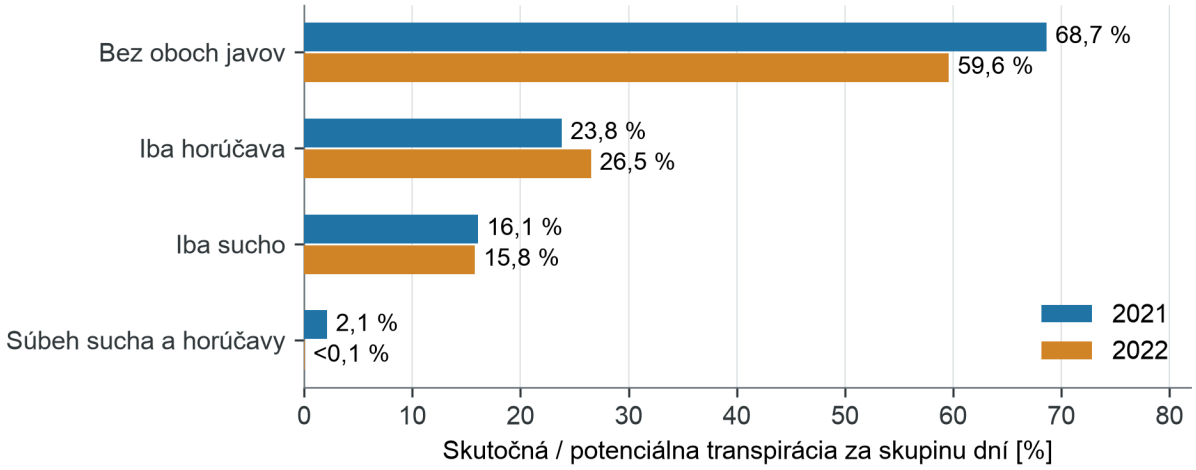
V roku 2022 mali varianty bez závlahy 76, 70 a 76 stresových dní pri hrúbkach 8, 12 a 16 cm. Sezónna evapotranspirácia pritom s hrúbkou rástla. Samotný počet stresových dní teda nevystihuje intenzitu ani celkový rozsah obmedzenia transpirácie. Ani jemnejšia sieť záver nezmenila, hoci pri hrúbke 16 cm počet klesol zo 76 na 74 dní.

Základná závlaha znížila počet stresových dní na 7–21 pri spotrebe 195–270 l/m² za sezónu. Pri hrúbke 12 cm v roku 2021 zvýšila evapotranspiráciu z 259,9 na 462,7 mm a odtok zo spodnej hranice z 30,6 na 52,9 mm. Hrubší substrát však neviedol vždy k nižšej spotrebe závlahy. V rokoch 2021 aj 2022 bola pri hrúbke 12 cm spotreba 225 l/m² a pri 16 cm dosiahla 230 l/m². Výsledok závisel aj od načasovania dávok.

3.3 Transpirácia počas súbehu

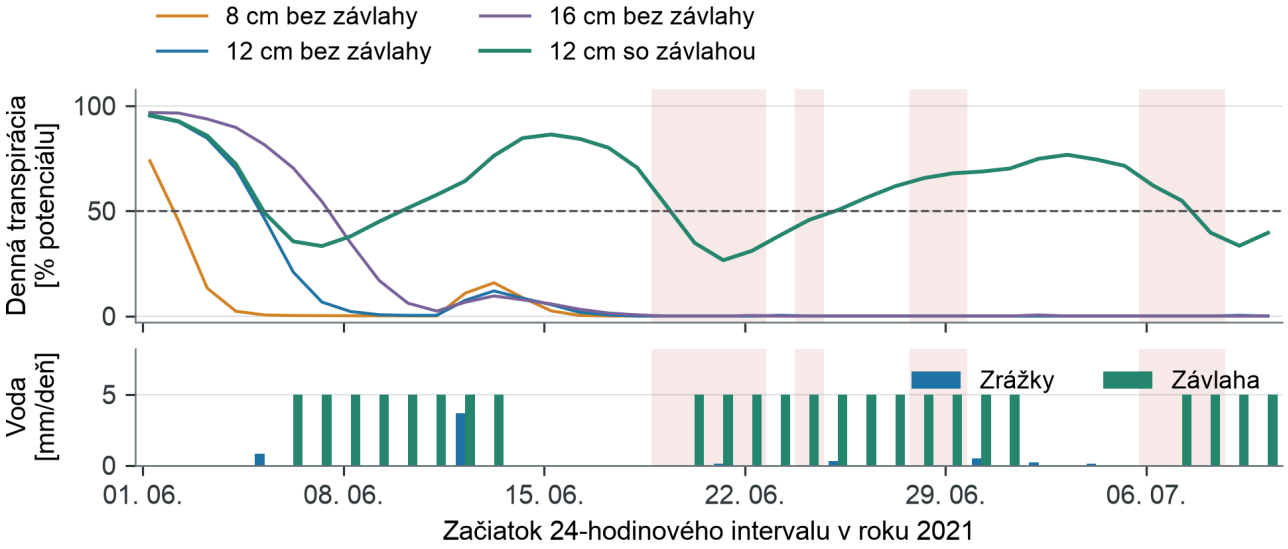
Najvýraznejšie obmedzenie transpirácie sa prejavilo počas súbehu sucha a horúčav *(Obr. 4)*. Pri hrúbke 12 cm bez závlahy dosiahol pomer ΣTa/ΣTp v roku 2021 iba 2,1 %, kým počas horúcich dní bez sucha (D7) dosiahol 23,8 %. V roku 2022 boli zodpovedajúce

hodnoty menej ako 0,1 % a 26,5 %. Bez závlahy sa silný vodný stres vyskytol počas všetkých 24 dní súbehu pri každej z troch hrúbok. Porovnanie s horúcimi dňami bez sucha tak poukazuje na význam dostupnosti vody pre udržanie vyššej úrovne transpirácie pri vysokých teplotách, pričom pretrvávanie silného vodného stresu pri všetkých troch hrúbkach naznačuje, že v hodnotených podmienkach samotné zväčšenie hrúbky substrátu bez závlahy nepostačovalo na jeho odvrátenie.



Obr. 4 Transpirácia v štyroch skupinách dní pri hrúbke 12 cm bez závlahy. Hodnoty sú pomerom súčtov skutočnej a potenciálnej transpirácie. Zdroj: vlastné modelové výpočty.

Tieto rozdiely odrážajú konkrétny časový priebeh počasia. Samy osebe však nepreukazujú samostatný účinok horúčavy ani dodatočný účinok jej súbehu so suchom, pretože skupiny sa líšia aj predchádzajúcou zásobou vody. Model nezahŕňa priame tepelné poškodenie rastlín. V roku 2020 sa súbeh nevyskytol, ale pri hrúbke 12 cm bez závlahy bolo stresových 8 zo 14 horúcich dní. Zrážkový úhrn aspoň 1 mm síce ukončí sled suchých dní, nemusí však obnoviť zásobu vody dostupnej koreňom. Vodný stres rastlín tak môže pretrvávať aj po prerušení sledu suchých dní.

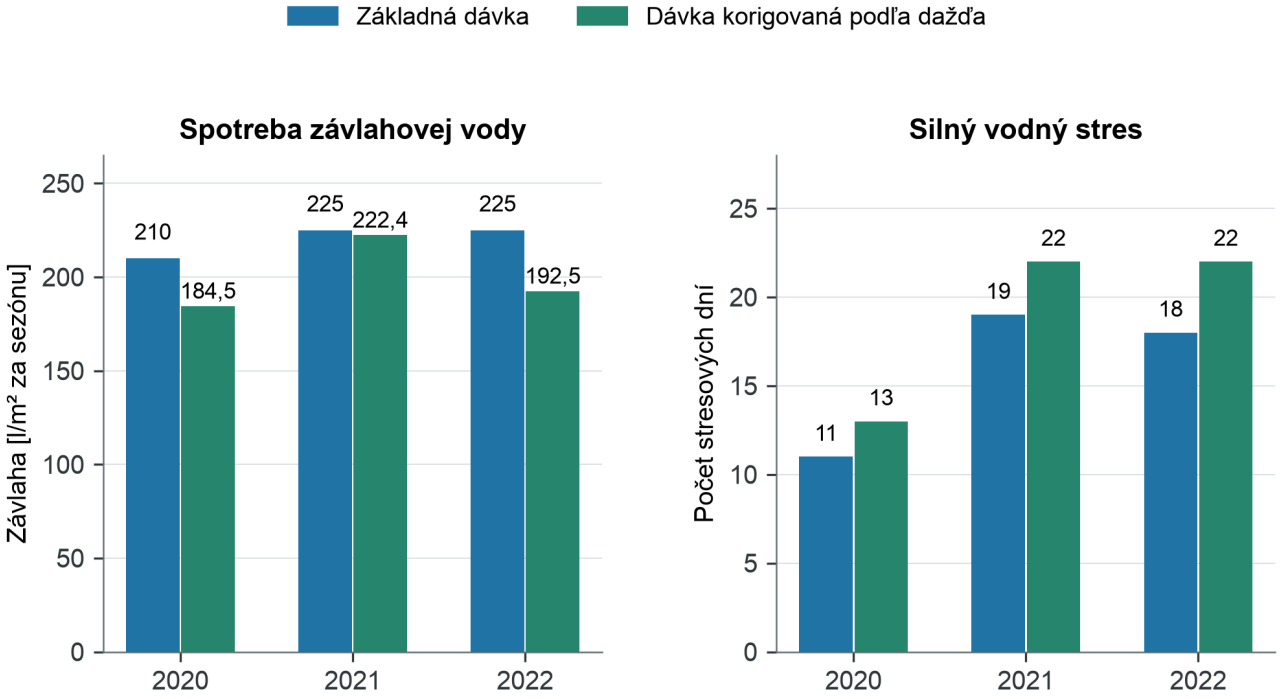


Obr. 5 Modelová odozva v júni a júli 2021. Červené pásy označujú súbeh a prerušovaná čiara hranicu silného vodného stresu. Dolná časť zobrazuje prísun vody pri hrúbke 12 cm. Zdroj: vlastné modelové výpočty.

Časový priebeh *(Obr. 5)* ukazuje význam predchádzajúcej zásoby vody. Počas dlhšieho vysychania klesala transpirácia aj pri hrubšom substráte. Závlaha ju zvyšovala, no spúšťala sa až podľa stavu z predchádzajúceho dňa. Pri hrúbke 12 cm v roku 2021 zvýšila pomer transpirácie za dni súbehu z 2,1 na 51,1 % a znížila počet stresových dní počas súbehu z 13 na 6. Použité pravidlo riadenia závlahy teda vodný stres zmiernilo, ale neodstránilo.

3.4 Korekcia závlahy podľa zrážok

Pri hrúbke 12 cm sa závlaha podľa základného pravidla aplikovala aj v dňoch s úhrnom zrážok aspoň 1 mm. V jednotlivých sezónach išlo o 11, 8 a 13 dní. Spätná korekcia dávky podľa zrážok znížila spotrebu o 25,5, 2,6 a 32,5 l/m², teda o 12,1 %, 1,2 % a 14,4 % *(Obr. 6)*. Súčasne pribudli 2, 3 a 4 stresové dni a evapotranspirácia klesla o 9,2, 3,1 a 12,3 mm.

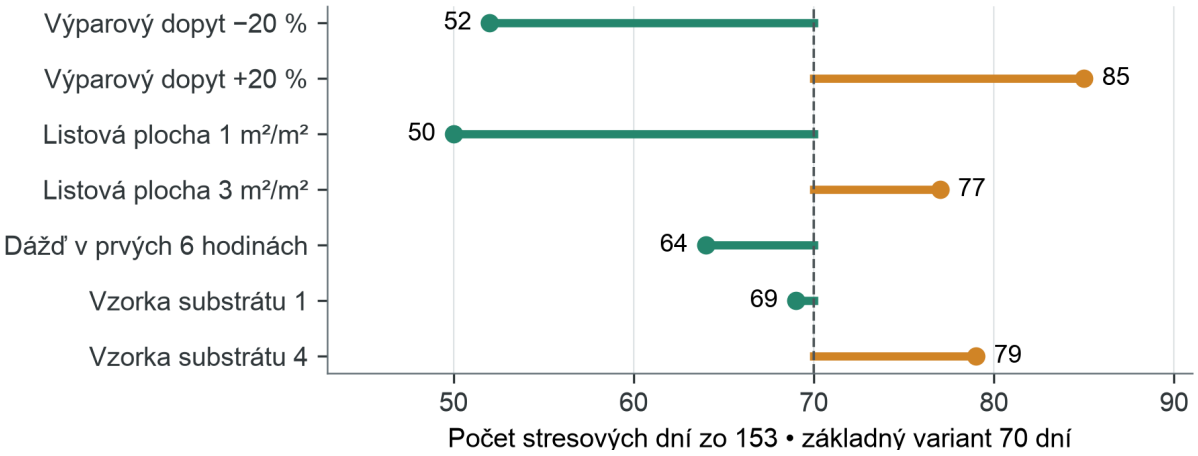


Obr. 6 Spotreba vody a stres pri hrúbke substrátu 12 cm.
Dávky sú korigované podľa spätne známych denných zrážok.
Zdroj: vlastné modelové výpočty.

Úspora vody sa medzi rokmi líšila. V roku 2021 sa veľká časť vody ušetrenej počas daždivých dní doplnila neskôr, keď sa pri ďalšom vysychaní substrátu opäť splnila podmienka spustenia závlahy. Korekcia dávok tak zmenila aj časové rozdelenie závlahy počas sezóny. Samotné odpočítanie dávok vynechaných počas dažďa by preto sezónnu úsporu nadhodnotilo. Výsledky ukazujú, že nižšiu spotrebu vody treba posudzovať spolu s mierou obmedzenia transpirácie. Nepreukazujú však optimálnosť použitého riadenia.

3.5 Citlivosť výsledkov

Pri hrúbke 12 cm bez závlahy v roku 2021 zníženie a zvýšenie ET_0 o 20 % zmenili počet stresových dní zo základných 70 na 52 a 85. Pri indexe listovej plochy 1 a 3 m²/m² sa vyskytlo 50 a 77 stresových dní *(Obr. 7)*. Počty teda závisia od odhadu výparového dopytu aj od parametrov vegetácie. Testované rozsahy nie sú intervalmi spoľahlivosti.



Obr. 7 Citlivosť výsledkov pri hrúbke 12 cm bez závlahy v roku 2021. Každý scenár mení jeden faktor. Čiara označuje základnú hodnotu 70 stresových dní. Zdroj: vlastné výpočty. Parametre substrátov podľa [10].

Poradie hrúbok podľa počtu stresových dní sa v roku 2021 zachovalo pri oboch zmenách ET_0. Variant s hrúbkou 8 cm mal najviac a variant s hrúbkou 16 cm najmenej stresových dní. Vo všetkých 18 doplňujúcich kontrolných a citlivostných scenároch pre hrúbku 12 cm a rok 2021 zostala transpirácia počas súbehu nižšia než pri samotnej horúčave aj pri samotnom suchu. Výsledné porovnanie sa teda zachovalo aj pri zmenách predpokladov, čo však nenahrádza overenie absolútnych hodnôt na reálnej streche.

4. Význam pre navrhovanie a obmedzenia

Výsledky ukazujú, že pri návrhu vegetačnej strechy treba hodnotiť nielen celkovú zásobu vody v substráte, ale aj jej dostupnosť počas suchých a horúcich období. Hrubší substrát v skúmaných sezónach zvýšil celkovú evapotranspiráciu, počas súbehu sucha a horúčav však bez závlahy nezabránil výraznému obmedzeniu transpirácie. Vyšší sezónny výdaj vody preto sám osebe nevypovedá o schopnosti porastu udržať transpiráciu v kritických dňoch. Hrúbku substrátu je potrebné posudzovať spolu s vlastnosťami vegetácie, miestnym priebehom počasia a spôsobom dopĺňania vody.

Závlaha v modelových variantoch zmiernila vodný stres výraznejšie než samotné zväčšenie hrúbky substrátu, vyžadovala však dodatočný prísun vody. Pri návrhu preto treba zohľadniť dostupnosť závlahového zdroja, možnosti akumulácie vody a spôsob riadenia jej dodávky. Znižovanie spotreby je potrebné posudzovať aj podľa toho, do akej miery obmedzuje transpiráciu porastu. Uvedené závlahové dávky nemožno priamo prevziať ako návrhové odporúčanie, pretože vychádzajú z konkrétnych modelových predpokladov. V praxi sa musia prispôsobiť vlastnostiam substrátu, vegetácii a meranej vlhkosti. Pri zväčšení hrúbky substrátu treba zároveň posúdiť jeho hmotnosť pri nasýtení vodou, nosnosť strechy a jej odvodnenie.

Príspevok dopĺňa poznatky o evapotranspiračných a retenčných funkciách vegetačných striech [1] [2] o hodnotenie toho, kedy a v akom rozsahu nedostatok vody obmedzuje transpiráciu. Výsledky však predstavujú modelové porovnanie založené na údajoch jednej meteorologickej stanice za tri sezóny. Model nebol kalibrovaný podľa terénnych meraní, parametre porastu boli referenčné a odhad referenčnej evapotranspirácie ET_0 nebol overený pre miestne podmienky. Údaje stanice Bratislava - Koliba navyše

nevystihujú mikroklímu každej strechy. Teplota povrchu, ochladenie vzduchu ani energetická úspora budovy sa nevypočítavali, preto ich nemožno z uvedených výsledkov priamo vyčísliť. Uplatnenie poznatkov pri návrhu konkrétnej strechy vyžaduje overenie vlastností substrátu a porastu a meranie vlhkosti a odtoku.

5. Záver

Štúdia kvantifikovala vplyv hrúbky substrátu a závlahy na vodný režim vegetačných striech pri meteorologických podmienkach stanice Bratislava - Koliba od mája do septembra rokov 2020 – 2022. Jej hlavným prínosom je porovnanie celosezónnych výsledkov s odozvou porastu počas súbehu sucha a horúčav. Toto rozlíšenie ukázalo, že opatrenie, ktoré zvyšuje celkovú sezónnu evapotranspiráciu, nemusí zároveň zabezpečiť dostatok vody na transpiráciu počas kritických dní.

Zväčšenie hrúbky substrátu z 8 cm na 16 cm zvýšilo sezónnu evapotranspiráciu o 30,6–32,8 mm. Väčší objem substrátu teda umožnil vyšší celkový výdaj vody, samotné zväčšenie hrúbky však neodstránilo silný vodný stres počas súbehu sucha a horúčav. Základná závlaha znížila počet stresových dní zo 63–80 na 7–21 dní pri spotrebe 195–270 l/m² za sezónu. V skúmaných podmienkach tak dopĺňanie vody zmiernilo obmedzenie transpirácie výraznejšie než samotná zmena hrúbky substrátu, hoci ani použitý závlahový režim neodstránil všetky stresové dni.

Pri substráte s hrúbkou 12 cm priniesla spätná korekcia závlahovej dávky podľa zrážok úsporu vody 1,2–14,4 %, súčasne však pribudli 2–4 stresové dni. Štúdia tým vyčíslila nielen možnú úsporu v skúmaných scenároch, ale aj jej dôsledok pre vodný stres porastu. Keďže korekcia využívala skutočné zrážky známe až spätne, dosiahnuté úspory nemožno automaticky očakávať pri riadení závlahy v reálnom čase. Výsledky zároveň nepreukazujú, že použitý spôsob korekcie je optimálny.

Praktickým prínosom tejto štúdie je podklad na spoločné posudzovanie hrúbky substrátu a spôsobu dopĺňania vody. Porovnanie umožnilo identifikovať obdobia, v ktorých sa zásoba vody stáva limitujúcou, a posúdiť, ako na tieto podmienky reagujú jednotlivé varianty. Pri návrhu preto treba sledovať sezónnu spotrebu vody aj schopnosť vegetačnej vrstvy vegetačnej strechy udržať transpiráciu počas sucha a horúčav. Zistenia poskytujú východisko na výber variantov a kritických období pre následné overenie na skutočnej streche, pričom neurčujú univerzálne optimálnu skladbu ani závlahový režim.

Výsledky tejto štúdie môžu taktiež podporiť návrh vegetačných striech ako súčasti adaptačných opatrení na sucho a horúčavy v mestskom prostredí, pričom dostupnosť závlahovej vody a možnosti jej akumulácie predstavujú dôležité návrhové podmienky.

Zdroje

[1] OLAŠÁK, Jozef a PALKO, Milan. *Green Roofs as a Passive Physico-Ecological Tool for Sustainable Urban Development.* Online. In: NAGY, Balázs a SZALAY, Zsuzsa (ed.). Proceedings of CESBP 2025 – 6th Central European Symposium on Building Physics. Lecture Notes in Civil Engineering, zv. 795. Cham: Springer, 2026, s. 857–875. ISBN 978-3-032-14011-1. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14011-1_68 [plný text s obmedzeným prístupom]. [citované 2026-11-01].

[2] OLAŠÁK, Jozef a PALKO, Milan. *Hydrological Performance of Green Roofs in Urban Areas Exposed to Extreme Rainfall Events.* Online. Proceedings of the International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism-ICCAUA. 2026, roč. 9, č. 1, článok 2610250. ISSN 3023-7009. Dostupné z: https://doi.org/10.38027/ICCAUA2026EN0250 [citované 2026-11-01].

[3] BERRETTA, Christian; POË, Simon a STOVIN, Virginia. *Moisture content behaviour in extensive green roofs during dry periods: The influence of vegetation and substrate characteristics.* Online. Journal of Hydrology. 2014, roč. 511, s. 374–386. ISSN 0022-1694. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.036 [plný text vydavateľa s obmedzeným prístupom]. [citované 2026-11-01].

[4] PALERMO, Stefania Anna; TURCO, Michele; PRINCIPATO, Francesca a PIRO, Patrizia. *Hydrological Effectiveness of an Extensive Green Roof in Mediterranean Climate.* Online. Water. 2019, roč. 11, č. 7, článok 1378. ISSN 2073-4441. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/w11071378 [citované 2026-11-01].

[5] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION. *Global Historical Climatology Network hourly (GHCNh).* Online. Dokumentácia, verzia 1.1.0. Aktualizované 10. 3. 2026. Dostupné z: https://www.ncei.noaa.gov/oa/global-historical-climatology-network/hourly/doc/ghcnh_DOCUMENTATION.pdf [citované 2026-11-01].

[6] CLIMDEX. *Indices.* Online. [Bez dátumu]. Dostupné z: https://www.climdex.org/learn/indices/ [citované 2026-11-02].

[7] ALLEN, Richard G.; PEREIRA, Luis S.; RAES, Dirk a SMITH, Martin. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.* Online. FAO Irrigation and Drainage Paper, č. 56. Rome: FAO, 1998. ISBN 92-5-104219-5. Dostupné z: https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm [citované 2026-11-02].

[8] ŠIMŮNEK, Jiří; ŠEJNA, Miroslav; SAITO, Hirotaka; SAKAI, Masaru a VAN GENUCHTEN, Martinus Th. *The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media.* Online. Verzia 4.08. Riverside: University of California, Riverside, 2009. Dostupné z: https://github.com/phydrus/source_code/blob/main/HYDRUS1D-4.08.pdf [citované 2026-11-02].

[9] PHYDRUS. *Fortran Source Code.* Online. Zdrojový kód modelu HYDRUS-1D. GitHub, [bez dátumu]. Výpočtová kópia prevzatá 31. 10. 2026. Dostupné z: https://github.com/phydrus/source_code [citované 2026-11-02].

[10] AUTOVINO, Dario; ALAGNA, Vincenzo; BONDÌ, Cristina a IOVINO, Massimo. *Hydraulic Characterization of Green Roof Substrates by Evaporation Experiments.* Online. Applied Sciences. 2024, roč. 14, č. 4, článok 1617. ISSN 2076-3417. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/app14041617 [citované 2026-11-02].