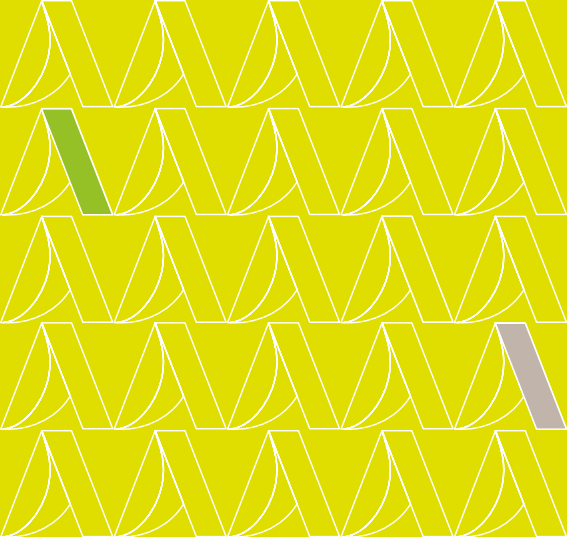




ASOCIACE
ZELENÝCH
STŘECH
A FASÁD



**BIOSOLÁRNÍ
ZELENÉ STŘECHY**



Biosolární zelené střechy

PRAKTICKÁ PŘÍRUČKA

HLAVNÍ AUTOR

Ing. Pavel Dostal – předseda Rady Asociace zelených střech a fasád, vicepresident European Federation of Green Roof and Living Wall Associations. Jednatel společnosti GreenVille service

KONZULTACE

členové Rady Asociace zelených střech a fasád:
Ing. Jiří Mrtko – jednatel společnosti EKROST s.r.o.
Ing. arch. Josef Hoffmann
Jan Kuchař – jednatel společnosti Zahrady Hanyz
Ing. Roman Pařava – ABEX Substráty

KAPITOLA VÝZNAM

A FUNKCE ZELENYCH STŘECH

Ing. Jan Macháček, Ph.D., Ing. Marek Hekrlé,
Ing. Jakub Mlejnek
Členové výzkumného týmu Institutu pro ekonomickou a ekologickou politiku působící při Univerzitě J. E. Purkyně v Ústí nad Labem

Vydala Asociace zelených střech a fasád při Svazu zakládání a údržby zeleně, z.s.,
Listopad 2024

Redakční úprava: Jana Šimečková / Fotografie:
archivy autorů, archiv soutěže Zelená střecha roku
Grafika: David Winter, dwgd.cz

Tisk: Tiskárna Didot, spol. s r.o.

© Svaz zakládání a údržby zeleně, 2024



Publikace vznikla v rámci projektu Zelené střechy – trendy a synergie, který byl finančně podpořen hlavním městem Prahou.

OBSAH

Předmluva	3
Zelené střechy – pojmy, význam, rozdělení	4
Pojmy a definice	4
Význam a funkce zelených střech	5
Ekonomické hodnocení zelených střech	7
Rozdělení zelených střech podle nároků na péči a míry autoregulace	7
Systémy pro výrobu energie ze slunce	10
Solární fotovoltaické systémy	10
Solární termické systémy	11
Hybridní fotovoltaicko-termické systémy	11
Způsoby kombinace solárních technologií a zeleně na budově	12
Uspořádání vedle sebe	12
Biosolární zelené střechy – základní informace	13
Zeleň a fotovoltaika na fasádě: výzvy a přínosy	15
Systémové a nesystémové provedení biosolárních střech	16
Kombinace zelených střech a solárních technologií	17
Proč zakládat biosolární střechy	18
Vliv zelených střech na solární FV panely	20
Vliv solárních FV panelů na zelené střechy	21
Vegetace	21
Biosolární střechy a voda	22
Stavebně-technické souvislosti	23
Navrhování biosolárních střech	23
Umístění budovy	24
Sklon panelů	24
Zastínění	25
Rozložení panelů	25
Rozestupy mezi řadami panelů a orientace	25
Odstup panelu od vegetace	26
Kotvení nebo přitížení konstrukce	27
Skladba střechy	27
Realizace biosolárních střech	28
Údržba biosolárních střech	30
Shrnutí doporučení od návrhu, přes realizaci až po údržbu	31
Dodatečná instalace FV systémů či zakládání zelené střechy	32
Následná instalace FV systémů na zelenou střechu	32
Následná realizace zelené střechy na střechu s FV	33
Závěr	34

O PŘEDMLUVA

Města jsou jedním z hlavních přispěvatelů ke klimatickým změnám, neboť produkují až 75 % celosvětových emisí skleníkových plynů. Spotřebují přibližně 76 % celkové energie, z toho zhruba polovinu na vytápění, chlazení a větrání budov. Urbanizace a růst populace navíc zvyšují poptávku po energiích, zatěžují koloběh látek a vedou ke ztrátě přírodních biotopů. Tváří v tvář těmto výzvám je klíčové, aby města hledala alternativní řešení, která podporují obnovitelné zdroje energie, snižují energetickou náročnost budov a přispívají k ekologické rovnováze.

Jedním z perspektivních přístupů je zakládání biosolárních střeš – systémů, které kombinují ekologické výhody zelených střeš s energetickým potenciá-

lem solárních technologií. Tyto střešy nejenže maximalizují využití městského prostoru, ale také nabízejí synergický efekt: vegetace podporuje efektivnější chlazení solárních panelů, zatímco panely vytvářejí mikroklimatické podmínky podporující biodiverzitu.

Biosolární střešy mají pozitivní vliv na snížení efektu městského tepelného ostrova, zadržování a zpomalení odtoku dešťové vody a redukci spotřeby energie z fosilních paliv. Jejich přínosy však nejsou jen ekologické – kombinace s vegetací je ekonomicky výhodná a může zkrátit návratnost investice díky zlepšení výkonu solárních panelů. Navíc prodlužují životnost hydroizolace střešy a minimalizují rizika spojená s běžnými instalacemi solárních panelů.

Při tvorbě této publikace jsme vycházeli z dostupných vědeckých výzkumů i praktických zkušeností, které přispěly k rozvoji biosolárních střeš ve světě. Bohužel je však třeba zmínit, že v České republice jsou podobné realizace zatím spíše výjimečné. Tato příručka přináší komplexní přehled o biosolárních střeších, včetně praktických doporučení pro jejich návrh, realizaci a údržbu. Je určena nejen odborníkům z oblasti architektury a stavebnictví, ale také všem, kdo se zajímají o udržitelný rozvoj sídel. Doufáme, že vás tento materiál inspiruje a poskytne potřebné informace k realizaci těchto inovativních systémů.

Administrativní budova pro berlínskou pobočku Spolkového úřadu pro životní prostředí (UBA), foto Bundesverband GebäudeGrün e.V.



ZELENÉ STŘECHY – POJMY, VÝZNAM, ROZDĚLENÍ

Terminologie v oboru zeleně na konstrukci se vyvinula a stále vyvíjí v důsledku přílivu nových poznatků ze zahraničí, a stejně tak na ni mají vliv technické pojmy ustálené v oboru stavebního inženýrství.

I proto je možné se setkat s názvy „zelená střecha“, „střešní zahrada“, „vegetační střecha“, „ozeleněná střecha“, „střešní zeleň“, „travnatá střecha“, zatravněná střecha“, „zeleň na konstrukci“ či popří-

padě s kombinací těchto slovních spojení. Všechny tyto názvy jsou rovnocenné a označují vegetační souvrství (viz dále), které tvoří pro rostliny funkční a trvale udržitelné prostředí.

POJMY A DEFINICE

Norma ČSN 73 1901-4 Navrhování střech – Část 4: Vegetační střechy uvádí následující definici:

Vegetační střecha – střecha nebo její část, kterou pokrývá vegetační souvrství s vegetací a případně další nezbytné prvky a konstrukce pro zajištění návrhové funkce vegetační střechy. Nezbytnými prvky a konstrukcemi se míní například pochůzná vrstva, ochranné vrstvy, prvky a konstrukce, stabilizační prvky apod.

Používají se také termíny střešní zahrada nebo zelená střecha.

Dokument „*Vegetační souvrství zelených střech – Standardy pro navrhování, provádění a údržbu*“, který je pro tuto kapitolu základním zdrojem, uvádí následující pojmy:

Zelená střecha / střešní zahrada / vegetační střecha – střecha, kterou pokrývá vegetační souvrství s vegetací. Všechny tři pojmy vyjadřují totéž, jsou

dovolené, rovnocenné a obecně zavedené.

Nosná střešní konstrukce – část střechy, která přenáší zatížení ze střešního pláště a vegetačního souvrství do ostatních nosných částí budovy.

Střešní plášť – část střechy bez nosné střešní konstrukce, která chrání budovu před vnějšími vlivy a na kterou bezprostředně navazuje vegetační souvrství.

Tabulka 1: Funkční vrstvy vegetačního souvrství

FUNKČNÍ VRSTVA	FUNKCE
Vegetace	je souborem rostlin, které tvoří pokryv zelené střechy
Vegetační vrstva	je základním prostředím pro kořenění a růst rostlin a svým fyzikálním, chemickým a biologickým složením a vlastnostmi je k tomu uzpůsobena
Filtrační vrstva	zabraňuje vyplavování drobných částic z vegetační vrstvy do vrstvy drenážní a trvale chrání drenážní vrstvu před zanesením
Hydroakumulační vrstva*	akumuluje srážkovou nebo závlahovou vodu pro potřeby rostlin
Drenážní vrstva	umožňuje dostatečně rychlý a efektivní odtok přebytečné vody k odvodňovacím zařízením
Ochranná vrstva	trvale chrání hydroizolaci střechy před mechanickým poškozením
Separáčn í vrstva*	navzájem od sebe odděluje sousední materiály nebo prvky, které by se mohly vzájemně negativně ovlivňovat
Kořenovzdorná vrstva**	ochranná vrstva proti prorůstání kořenů, chrání hydroizolaci střechy před poškozením kořeny rostlin

* Nemusí být součástí vegetačního souvrství, používá se v opodstatněných případech.

** Samostatná ochranná vrstva proti prorůstání kořenů rostlin se používá spíše výjimečně, a to v případech, kdy stávající hydroizolace střechy není odolná proti prorůstání. Stává se to převážně u vegetačních souvrství zřizovaných na stávajících střechách s původní hydroizolací. U nově zřizovaných zelených střech nebo u rekonstrukcí, na kterých se předpokládá zřízení vegetačního souvrství, se dnes již zpravidla používají hydroizolační výrobky (asfaltové pásy i fólie) s potřebnou odolností proti prorůstání kořenů rostlin a s příslušným atestem.

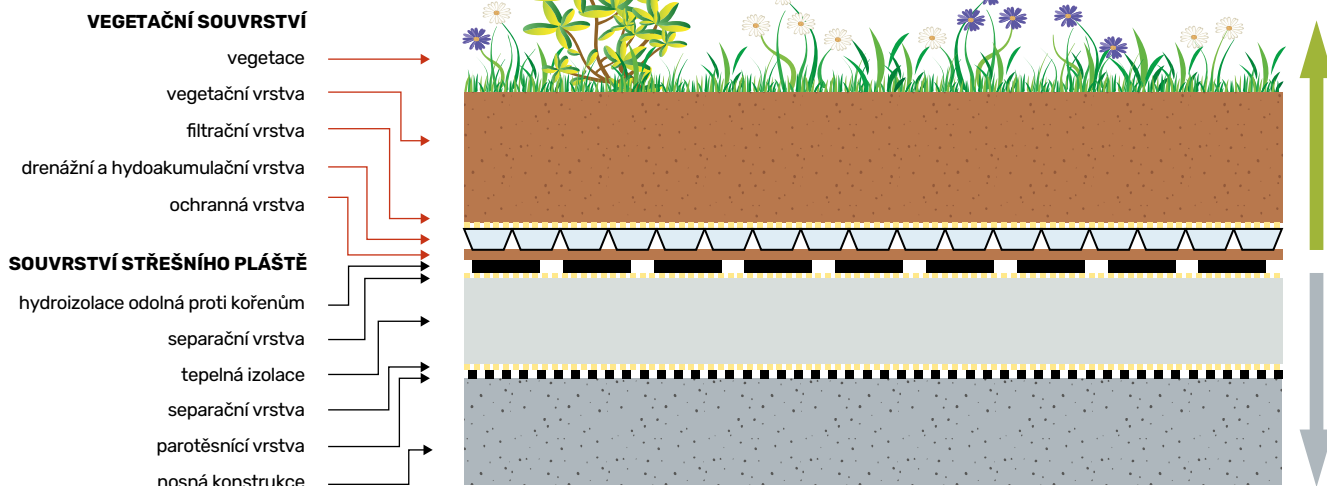


Vegetační souvrství – soubor funkčních vrstev, které svými vlastnostmi a společným působením tvoří vhodné a trvalé prostředí pro život a růst rostlin.

Funkční vrstva – vrstva vegetačního souvrství plnící konkrétní funkci nezbytnou pro bezproblémovou trvalou existenci vegetace na střeše (viz Tabulka 1:

Funkční vrstvy vegetačního souvrství). Vícefunkční (polyfunkční) vrstva plní několik funkcí současně (např. nopová fólie plní funkci drenážní i hydroakumulační).

Obr. 1: Funkční vrstvy vegetačního souvrství



VÝZNAM A FUNKCE ZELENÝCH STŘECH

Zelené střechy se řadí mezi významná adaptační opatření na změnu klimatu. Mají řadu funkcí, které mají pozitivní vliv nejen na vlastníky a uživatele dané nemovitosti, ale také na široké okolí. Zelené střechy patří mezi tzv. přírodě blízká opatření, využívající zelenou a modrou infrastrukturu. Svou nezastupitelnou roli mají především v hustě zastavěných územích měst, kde se nachází minimum zeleně. Chybějící zeleň dokážou vhodně nahradit. Vegetace zelené střechy mimo jiné zadržuje vodu, odhlučňuje budovu, má tepelně izolační funkci, čímž se snižují náklady na chlazení budov a v omezené míře i na jejich vytápění, ukládá CO₂ a také zachycuje škodlivé látky z ovzduší. Zeleň plní i estetickou funkci.

Kromě toho mají tyto střechy široké spektrum dalších funkcí a ekosystémových služeb, přispívají k dobrým životním podmínkám pro živočichy jako jsou hmyz a ptáci a v centrech měst na některých střechách dokonce najdeme i včelí úly. Výčet benefitů pak uzavírá prodloužení životnosti střešní izolace díky ochraně před slunečním zářením a mechanickým poškozením.

Poskytováním tohoto širšího spektra přínosů (vedlejších užitků, než je jejich primární účel) se zelené střechy liší od opatření založených na šedé infrastruktuře, které mají převážně technickou povahu a plní pouze základní funkci.

Výše uvedené užitky tak mají často povahu pozitivní externality, což v případě zelených střech jsou přínosy, které tyto střechy vytvářejí pro společnost jako celek, ačkoli náklady na jejich realizaci nese většinou majitel budov. Prospěch z nich má však široká veřejnost – například díky lepšímu ovzduší, příjemnějšímu prostředí nebo podpoře biodiverzity. Zelené střechy tak zvyšují kvalitu života ve městech a společnost jako celek tak profituje na jejich realizaci, aniž by se na jejich financování významně podílela. Zelené střechy zvyšují nejen hodnotu dané nemovitosti, ale dle ekonomických výzkumů i hodnoty okolních nemovitostí. Z výzkumů ze zahraničí vyplynulo, že nárůst hodnoty nemovitosti se pohybuje mezi 5-11 %. Tato hodnota ale plně závisí na dostupnosti zeleně v okolí. V případě, že je v okolí větší množství

zeleně, nebude mít zelená střecha na hodnotu nemovitostí významný vliv.

Zelené střechy jako přírodní klimatizace

Vedle estetické funkce a prostoru pro rekreaci má instalace zelené střechy pozitivní vliv na snížení energetické náročnosti při chlazení/vytápění objektů, čímž mohou majitelé objektů ušetřit. Výsledky ekonomických analýz založených na zkušenostech z okolních zemí prokázaly, že právě úspory energií za vytápění v zimních měsících a ochlazování budov v letních měsících mají významný podíl na návratnosti investice do zelených střech. Pro města jsou zelené střechy významné i tím, že snižují tepelný ostrov města, tedy jeho přehřívání vzhledem k množství zpevněných ploch.

Měření potvrzují pozitivní vliv

Přínosy zelených střech jsou jedním z témat, které zkoumá tým odborníků z Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. Ti v rámci rekonstrukce jedné z budov univerzity vybudovali v roce 2020 ex-

Pohled na zelenou experimentální střechu v červnu 2022, Zdroj: Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku, Fakulta sociálně ekonomická, UJEP

tenzivní zelenou střechu, která slouží jako experimentální střecha. Jejím účelem je mimo jiné zkoumat vliv zelených střech v českém prostředí na teploty. Za tímto účelem je střecha osázena vedle rozhodníků také řadou senzorů, stejně jako vedlejší část střechy s běžně využívaným konvenčním povrchem tvořeným z PVC folie. V rámci výzkumu je tak možné v kteroukoliv denní dobu určit teplotní rozdíly mezi částí střechy se zelení a bez zeleně.

První dva roky měření přinesly řadu zajímavých výsledků. Měření potvrzují v rámci letních dnů významně nižší teplotu na povrchu zelené střechy oproti kontrolní střeše bez vegetace. Zajímavé je podívat se na údaje například z nejteplejšího dne roku 2022 – tj. 19. června 2022. Ve chvíli, kdy byla teplota vzduchu 40 °C, teplota na izolaci zelené střechy byla jen okolo 30 °C, zatímco teplota na izolaci střechy bez vegetace skokově narostla až na úroveň 71 °C. Část střechy s vegetačním souvrstvím se ohřívala (kumulovala teplo) pozvolněji a během noci docházelo k jejímu postupnému ochlazování. Naopak v zimě se ukázalo, že vegetační souvrství střechy eliminuje teplotní rozdíly a snižuje tak pokles teplot na izolaci. Rozdíl přes 40 °C pak nejenže snižuje přehřívání budovy, ale také přispívá k tomu, aby v okolí budovy a celém městě nedocházelo ke vzniku tzv. tepelného ostrova.

Obr. 2: Graf ukazující teplotu vzduchu, povrch zelené střechy a povrch střechy s PVC folií (referenční střechy) v den nejvyšší naměřené teploty za rok 2022.; Zdroj: IEEP, FSE UJEP

Kdy střechy chladí a kdy hřejí?

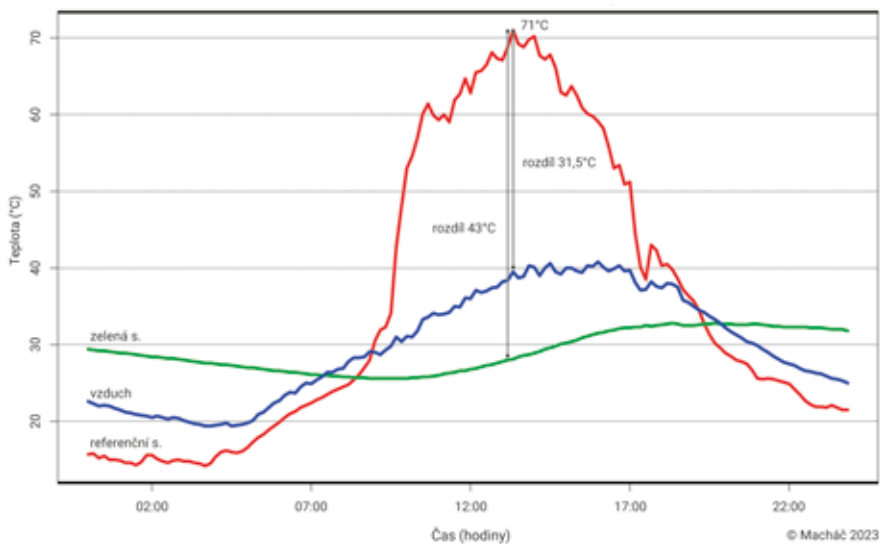
S ohledem na porovnání experimentální střechy s vegetačním souvrstvím a části bez ní je možné stanovit počty dní v roce, kdy má zelená střecha ochlazující a kdy naopak zateplující efekt. Na základě výsledků měření v rámci celého roku 2022 (365 dní) měla zelená střecha ochlazující efekt celkem 189 dnů (zejména v létě), zatímco ve 112 dnech bylo



Experimentální zelená střecha UJEP

Plochá střecha realizovaná na Nové budově Pedagogické fakulty Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. Původní povrch střechy v havarijním stavu tvořily asfaltové pásy. V rámci její rekonstrukce byla z projektu Smart City – Smart Region – Smart Community (č. projektu: CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_048/0007435) vybudována zelená střecha o ploše 125 m² s mocností substrátu 8 cm. Vegetaci tvoří převážně rozhodníky, dále pak hvozdíky a další drobné kvetoucí rostliny. Střecha je osázena řadou senzorů měřících teploty, vlhkost a další ukazatele. Mimo zelenou střechu došlo současně k umístění senzorů i na vedlejší část střechy, kde se nachází meteorostanice poskytující informace o teplotách, srážkách, směru větru, osvitu apod. Povrch této části tvoří hydroizolace z PVC.

Experimentální zelená střecha UJEP – teploty ze dne 16. 6. 2022



možné vliv zelené střechy považovat za zateplující (zejména v zimě). V rámci přechodových období (jaro, podzim) se teploty významně nelišily. Ize tedy v tomto období označovat vliv střech za neutrální (celkem 64 dnů ve sledovaném období). Z výsledků tak vyplývá, že potenciální dopad na úspory energií za vytápění nebo chlazení vnitřních prostor měla v roce 2022 střecha 301 dnů

(82,5 % roku). Jednalo se tak o přírodní klimatizační efekt pro obyvatele budovy a potažmo celé město, a to přímo na střeše budovy.

Zmíněná experimentální střecha přináší nová data o přínosnosti těchto opatření v českém prostředí, ale zároveň ukazuje, že zelené střechy lze aplikovat i na starších budovách s méně příznivými statickými podmínkami.

EKONOMICKÉ HODNOCENÍ ZELENÝCH STŘECH

Ekonomické hodnocení zelených střech lze provést dvěma základními způsoby: finančním a komplexním ekonomickým hodnocením. Finanční hodnocení zahrnuje porovnání všech finančních nákladů a přínosů, což umožňuje vypočítat finanční návratnost opatření neboli nákladů na realizaci zelené střechy. Tato návratnost může být z pohledu investora významně zkrácena díky využití dotací, které jsou dostupné na celostátní, regionální i městské úrovni. Dotace tak mohou výrazně snížit investiční náklady.

Pro posouzení celospolečenské přínosnosti je vhodné provést komplexní ekonomické hodnocení prostřednictvím analýzy nákladů a přínosů (cost-benefit analysis). Tato metoda zahrnuje nejen finanční přínosy, ale i nepeněžní dopady, které se často přehlíží. Do těchto přínosů se zahrnují ekosystémové služby zelených střech, jako je zadržování dešťové vody a zachytávání škodlivých látek. Tyto dopady mají hodnotu i mimo rámec samotného investora, neboť přináší užitek celé společnosti. V ekonomické teorii jsou tyto dopady známy jako pozitivní (přínosy) a negativní (náklady) externality.

Nefinanční přínosy se pomocí oceňovacích metod převádějí do peněžních hodnot. K tomuto účelu se využívají reálné ceny na výstavbu a údržbu střech spolu s metodami založenými na úspoře nákladů, jako jsou náklady



Univerzita Cambridge, Stavební fakulta, Velká Británie. Projekt je jedinečný díky tomu, že spojuje zelenou, modrou i solární střechu na ploše 1610 m². Udržitelnost byla klíčovým faktorem při návrhu i výstavbě budovy. Cílem bylo minimalizovat energetickou a uhlíkovou náročnost během životního cyklu budovy, která byla navržena jako flexibilní rámec umožňující snadnou adaptaci a maximální opětovné využití konstrukčních prvků. Vedoucí projektu: Neven Sidor; Projektový manažer: Peter Swallow; Architektonické řešení: Grimshaw; Technické a energetické poradenství: Max Fordham; Konstrukční inženýrství: Smith & Wallwork; Krajinářské řešení: Turkington Martin; Zdroj: www.grimshaw.global

na vytápění a chlazení budov nebo na čištění vod. Do hodnocení se mohou započítat i náklady na zamezení emisí (např. kolik by stálo snížení 1 kg emisí NO_x, SO_x, O₃ nebo CO₂). Kromě toho

lze pomocí tržních cen ocenit nárůst hodnoty nemovitosti a okolních nemovitostí, což posiluje argumentaci pro budování zelených střech.¹

¹ Více informací je k dispozici v publikaci Způsoby systémové podpory výstavby zelených střech, článek Zelené střechy z pohledu ekonomie, autoři: Ing. Jan Macháček, Ing. Lenka Dubová, Ing. Jiří Louda, Ph.D.

ROZDĚLENÍ ZELENÝCH STŘECH PODLE NÁROKŮ NA PÉČI A MÍRY AUTOREGULACE

Ačkoli můžeme zelené střechy rozdělit podle různých hledisek, setkáváme se v praxi nejčastěji s jejich dělením podle finálního vzhledu vegetace a náročnosti údržby. Vizuální dojem a nároky na péči jsou také nejběžnějšími kritérii investorů při rozhodování o typu zelené střechy. Obě tato kritéria spolu úzce souvisí.

Podle nároků na péči a míry autoregulace se zelené střechy rozdělují na:

- » extenzivní zelené střechy,
- » polointenzivní zelené střechy (jednoduché intenzivní),
- » intenzivní zelené střechy.

Každý druh ozelenění zahrnuje rozmanité formy vegetace, které mohou navzájem

plynule přecházet a lišit se od sebe podle podmínek stanoviště, přičemž podléhají dynamickým změnám. S ohledem na nároky rostlin můžeme tyto tři druhy zelených střech navzájem vymezit pomocí kritérií uvedených v tabulce 2.

Způsoby ozelenění a formy vegetace		Mocnost souvrství využitelná pro kořenění rostlin v cm	4	6	8	10	12	15	18	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	125	150	200
Extenzivní zelené střechy	Rozchodníky		■	■	■																			
	Rozchodníky – trvalky			■	■	■																		
	Rozchodníky – byliny – trávy					■	■	■																
	Trávy – byliny						■	■	■	■														
Polointenzivní zelené střechy	Trávy – byliny						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
	Trvalky						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
	Trvalky – dřeviny						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
	Dřeviny						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Intenzivní zelené střechy	Trávník						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
	Nízké trvalky a keře						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
	Středně vysoké trvalky a keře							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
	Vysoké trvalky a keře								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
	Velké keře a malé stromy									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
	Střední až vyšší stromy										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Velké stromy												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tabulka 2: Mocnost souvrství využitelná pro kořenění rostlin u různých způsobů ozelenění a forem vegetace.

Vysvětlivky a poznámky k tabulce:

Rozchodníky (*Sedum*) jsou reprezentanty sukulentních (tučnolistých) rostlin se specifickým metabolismem, který jim umožňuje přežít velmi dlouhá období sucha (fotosyntetická fáze, kdy je poután vzdušný oxid uhličitý a musí být otevřené průduchy, probíhá v noci potmě). Rozchodníky a další sukulentní rostliny (trvalky), pro výrazná specifika se ale v zahradnické praxi uvádějí jako samostatná skupina. Dalšími hojně používanými zástupci tučnolistých, jsou netřesky (*Sempervivum*).

Trvalky (*pereny*) – zahradnický výraz zahrnující pěstované druhy a odrůdy vytrvalých bylin, které jsou podle botanického členění široké vytrvalé byliny. Nepříznivé vegetační podmínky, např. zimu a sucho, velmi často přecházejí pouze podzemní orgány – kořeny, oddenky, hlízy, cibule. Pro výrazná specifika se v zahradnické praxi považují trávy, sukulentní a cibuloviny za samostatnou skupinu, i když také odpovídají definici „trvalky“.

Trávy a byliny – v tabulce je tímto zmíněna směs xerofytních (suchomilných) travin

a bylin. Odlišně od botanického pojetí se bylinami v tomto textu označují jen dvouděložné kvetoucí byliny rostoucí společně s travinami ve stepních formacích, obdoba přirozených stepních trávníků. Tyto porosty se sečou jen jednou nebo dvakrát ročně.

Trávník – travní porost bez příměsí dvouděložných rostlin, intenzivně zavlažovaný a hnojený, pravidelně kosený na malou výšku vícekrát ročně (v období bujného růstu každý týden). Posečená hmota je odstraňována.

Regionální klimatické poměry a specifické podmínky objektu (orientace ke světovým stranám, sklon apod.) se někdy mohou výrazně lišit, a proto je třeba zvolit přiměřeně větší nebo menší mocnost souvrství v daném rozpětí.

U extenzivní zelené střechy není vhodné zvyšovat mocnost vegetačního souvrství nad doporučenou mez, stupňuje se tím pravděpodobnost uchycení nežádoucí vegetace.

Extenzivní zelené střechy

Podstatou extenzivní zelené střechy je vegetace s maximální mírou autoregulace, schopná udržet se v odpovídající kvalitě bez pravidelné závlaky a jen s mi-

Základní škola Zdiměřice, extenzivní zelená střecha na všech pavilonech školy zaujímá plochu 6 500 m². 1. místo v soutěži Zelená střecha roku 2023.





Polointenzivní zelená střecha. Brno, DADA District. 1. místo v soutěži Zelená střecha roku 2022.

nimální péčí (obvykle 1–2krát ročně kontrola, odstranění nežádoucí vegetace, přihnojení podle typu substrátu a vývojové fáze porostu). Výběr použitých rostlinných druhů je nutné maximálně přizpůsobit stanovištním podmínkám. Vegetaci extenzivních zelených střech tvoří rostliny s vysokou regenerační schopností schopné přizpůsobit se extrémním podmínkám stanoviště. Rostliny musí být v daných podmínkách dostatečně konkurence schopné, aby potlačovaly rozvoj nežádoucích rostlin. Porost extenzivní střechy tvoří vegetace s předvídatelným sukcesním vývojem, který může zahrnovat i spontánní osídlení dalšími, při realizaci nepoužitými druhy. Mocnost vegetačního souvrství extenzivních zelených střech se obvykle pohybuje v rozmezí 60–150 mm. Pro vhodné zvolené druhy sukulentů může postačovat mocnost souvrství jen 60 mm, naopak pro stepní trávobylinné typy porostu může být použito souvrství o mocnosti až 200 mm. Extenzivní zelené střechy jsou obvykle nepochozí, tj. vstup na plochy s vegetací je dovolen poučeným osobám pouze pro kontrolu a technickou údržbu.

Polointenzivní zelené střechy

Polointenzivní zelené střechy (také nazývané jednoduché intenzivní) tvoří přechodný typ mezi extenzivními a intenzivními zelenými střechami.

Kromě vegetace vhodné pro extenzivní zelené střechy lze na polointenzivních zelených střechách využít i další rostlinné druhy jako trávy, trvalky, dřeviny, které mají vyšší nároky na skladbu vegetačního souvrství, zásobování vodou a živinami.

Vyšší intenzita péče spočívá zejména v nutnosti závlahy v sušších obdobích roku. Ostatní péstební zásahy výrazně nepřevyšují péči o extenzivní zelenou střechu (2krát ročně kontrola, odstranění nežádoucí vegetace, přihnojení podle typu substrátu a vývojové fáze porostu, případně posečení).

Mocnost vegetačního souvrství se u polointenzivních zelených střech obvykle pohybuje v rozmezí 150–350 mm. V příznivých klimatických podmínkách může postačovat mocnost souvrství jen 120 mm, naopak při použití trvalek a dřevin může být použito souvrství o mocnosti až 350 mm (někdy i více). Nejčastější typy porostů polointenzivních zelených střech jsou trávy a byliny, trvalky (pereny), výjimečně i keře. Typy porostů je možné kombinovat.

Intenzivní zelené střechy

Podstatou intenzivní zelené střechy je úprava podmínek pro zvolenou vegetaci včetně intenzivní pravidelné údržby (závlaha, přihnojování, kultivace a odstra-

ňování nežádoucích rostlin, pravidelné sečení trávníku včetně odstraňování posečené hmoty a další úkony péče o ze-leň). Výběr rostlin se podřizuje architektonickému záměru a (zpravidla) pobytové funkci. Podmínky a péče se maximálně přizpůsobují vegetaci.

Vegetaci intenzivních zelených střech tvoří rostliny s vysokou estetickou a užitnou hodnotou, výběr je omezen těmi faktory prostředí, které nelze dostupnými technickými prostředky upravit.

Mocnost vegetačního souvrství intenzivních zelených střech odpovídá velikosti a nárokům použitých rostlin a obvykle je vyšší než 300 mm, může dosáhnout až 1 m, výjimečně i více. Povrch vegetačního souvrství bývá často modelován a v některých částech pak může být mocnost i nižší. Intenzivní zelené střechy jsou obvykle pochozí nebo pobytové a bývají doplněné zpevněnými plochami a mobiliárem. Vyžadují samostatný zavlažovací systém.

Intenzivní zelené střechy mohou zahrnovat téměř neomezenou rozmanitost výběru rostlin a designu, podobně jako zahrady na přirozeném povrchu půdy. Případná omezení závisí na konkrétním objektu, lokalitě a stanovišti. Vegetaci intenzivních zelených střech tak mohou tvořit prakticky všechny typy porostů: trávník, trvalky, keře, stromy a výjimečně i užitkové rostliny.

Intenzivní zelená střecha na sídle ČSOB Radlická o ploše 4500 m² získala první místo v soutěži Zelená střecha roku 2021.



2

SYSTÉMY PRO VÝROBU ENERGIE ZE SLUNCE

Solární technologie se staly klíčovou součástí udržitelné výstavby a obnovitelných zdrojů energie. Kombinace solárních systémů se zelenými střechami otvírá nové možnosti pro efektivní využití městského prostoru. Tyto technologie si nejen vzájemně nekonkurují, ale mohou se dokonce podporovat a synergicky zvyšovat svou účinnost. Spojení

zelených střech a solárních systémů přináší řadu výhod, včetně zlepšení mikroklimatu, snížení energetických nároků budov a optimalizace výroby energie. Výběr a návrh vhodného řešení pro konkrétní budovu je však komplexní proces, který vyžaduje odborné znalosti a spolupráci s energetickým specialistou.

V této kapitole se zaměříme na jednotlivé typy solárních systémů – fotovoltaické, termické a hybridní fotovoltaicko-termické systémy – jejich vlastnosti, výhody a nevýhody. Současně prozkoumáme, jak tyto technologie mohou být efektivně kombinovány se zelenými střechami a jakým způsobem přispívají k udržitelné budoucnosti.

SOLÁRNÍ FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

Definice pojmu solární fotovoltaika pochází z odborného článku od Mundo-Hernández et al. (2014) publikovaného v časopise Renewable and Sustainable Energy Reviews. Autoři ji definují jako: „Zdroj energie, který přeměňuje světlo

přímo na elektřinu bez emisí plynů nebo hluku.“ Tato definice byla převzata z jejich přehledové studie zaměřené na využití solární fotovoltaiky v Mexiku a Německu. Fotovoltaické panely přeměňují sluneční energii na elektrickou energii. Výhodou

je, že při této formě výroby nevzniká oxid uhličitý ani jiný odpad, není hlučná a využívá čistě sluneční záření. Nevýhodou

Fotovoltaika na zelené střeše.
Foto: Pavel Dostal



může být závislost na počasí a na době dne, při výrobě panelů se mohou uvolňovat nebezpečné látky, je problém s jejich likvidací a při použití v krajině se zabírá volná půda.

Fotovoltaický systém se skládá ze čtyř prvků – fotovoltaický modul, regulátor nabíjení, střídač a popřípadě baterie. Fotovoltaický modul je tvořen fotovoltaickými články, které vyrábí elektřinu.

Přeměna solární energie na elektrickou se snižuje se zvyšující se teplotou. Při okolní teplotě nad 28 °C, kdy panel dosahuje 38 °C, se efektivita snižuje o 0,025 % s každým stupněm, což může být řešeno

ochlazováním vodou, které vede ke zlepšení o 15 %. Ke snížení účinnosti dochází také při pokrytí panelu prachem a pylem, je tedy vhodné ho čistit.

Solární energie z celkové globální produkce elektřiny tvoří pouze 3,6 %, ale v produkci z obnovitelných zdrojů tvoří téměř 31 %, což ji řadí na druhé místo po vodní energii. Nejvíce se v Evropě fotovoltaika instaluje v Německu, Itálii a Nizozemsku.

Střechy s fotovoltaickými (FV) panely mohou snížit tepelný tok mezi budovou a okolím tím, že zachytávají sluneční paprsky a vytváří stín, a to až o 63 %. Tato hodnota se snižuje, pokud je stře-

cha zateplená. Studie provedená ve Středomoří, kterou publikovali Abuseif a Gou (2018), srovnávala střechy bez fotovoltaických (FV) panelů a střechy osazené FV panely. Zjistila, že v zimě instalace panelů kvůli zastínění střechy způsobila nárůst potřeby vytápění o 6,7 %, zatímco v létě potřeba chlazení klesla o 17,8 %. Tyto hodnoty však závisí na konkrétních podmínkách budovy a okolního klimatu. Studie rovněž uvádí, že doba návratnosti investice do fotovoltaického systému se pohybuje mezi 4 až 11 lety v závislosti na faktorech ovlivňujících účinnost panelů.

SOLÁRNÍ TERMICKÉ SYSTÉMY

Solární termické (fototermické) panely (FT) přeměňují energii slunečního světla na teplo. Vyprodukované teplo lze následně využít různými způsoby, například pro výrobu elektřiny, ohřev vody nebo pohon motorů. Fototermické systémy disponují zpravidla vyšší účinností a životností panelů než systémy fotovoltaické, avšak možnosti využití vyrobené energie jsou užší než u fotovoltaických systémů. Pro dosažení maximálního výnosu se fototermické systémy obvykle montují pod úhlem 30° až 45°.

Fototermické panely na zelené střeše.
Foto: Pavel Dostal



HYBRIDNÍ FOTOVOLTAICKO-TERMICKÉ SYSTÉMY

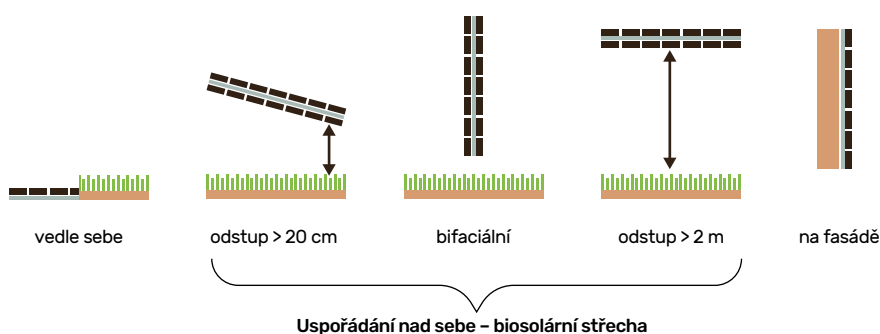


Hybridní fotovoltaicko-termické panely (FV/T) kombinují oba typy technologií na jedné ploše, což umožňuje současnou výrobu elektřiny i tepla. Tyto systémy mohou dosáhnout vyšší účinnosti než samostatné FV nebo FT systémy, protože využívají větší část dostupné solární energie. FV/T panely představují slibnou technologii pro situace, kde je současně potřeba elektřina i teplo, například pro vytápění a ohřev vody v domácnostech nebo v průmyslových zařízeních.

Fotovoltaicko-termický kolektor na zelené střeše. Foto: Tubesolar AG

3 ZPŮSOBY KOMBINACE SOLÁRNÍCH TECHNOLOGIÍ A ZELENĚ NA BUDOVĚ

Možností, jak kombinovat zelené střechy s fotovoltaickými nebo fototermickými systémy na budovách, existuje mnoho. Výběr konkrétního řešení závisí na plánovaném využití střechy a její funkci. Pro extenzivní zelené střechy se volí rostliny s vysokou regenerační schopností schopné přizpůsobit se extrémním podmínkám stanoviště, především suchu a nenáročné na péči. Naopak vegetaci intenzivní zelené střechy mohou tvořit prakticky všechny typy porostů: travník, trvalky, keře, stromy i užitkové rostliny (viz kapitola 1). Schéma znázorňuje přináší orientační přehled možných způsobů uspořádání těchto systémů na střeše, ukazující různé možnosti integrace solárních technologií s vegetací na střeše.



Solární systémy se nejčastěji instalují na extenzivně ozeleněné ploché střechy s nízkou rostoucími rostlinami, jako jsou rozchodníky a byliny. Má to jednoduchý důvod: vegetace nesmí stínit fotovoltaické moduly ani solární termické kolektory. Rostliny jsou také nenáročné na

Obr. 3 Schéma integrace solárních technologií s vegetací na střeše.

péči a přizpůsobují se různým světelným podmínkám na střeše. Následující kapitola pojednává o základních možnostech uspořádání solárních technologií a zelených střech.

USPOŘÁDÁNÍ VEDLE SEBE

Pokládka fotovoltaických panelů vedle plochy pokryté vegetací je technologicky jednoduchá, ale nevyužívá naplno potenciál střechy. Toto uspořádání je běžné, když se vegetační souvrství přidává na střechu s již nainstalovanými panely (viz kapitola Následná realizace zelené střechy na střechu s FV). Plocha střechy je tak rozdělena na část fotovoltaickou a část s vegetací. Funkce zelené střechy jsou tak poskytovány jen v omezené ploše a tím v omezené míře. Je vhodné oddělit panely od vegetační části například kačírkovým pásem, aby rostliny nemohly zastínit panely.

Vyložené špatnou možností je pokládka solárních panelů přímo na povrch zelené



Střecha rozdělená na fotovoltaickou část a zelenou střechu. Foto: Pavel Dostal



střechy (viz obrázek 5). I když jsou pořizovací náklady nižší, může toto řešení vést k nižší účinnosti fotovoltaiky a horší návratnosti investice kvůli zastínění panelů rostlinami. Funkce zelené střechy pod panely jsou v tomto případě zanedbatelné, jelikož na ploše pod panelem rostliny neporostou vzhledem k nedostatku světla a srážek. Údržba takové zelené střechy je náročnější a často znemožňuje péči o rostliny pod panely. Na jedné straně jsou tak potenciální nižší pořizovací náklady, ty jsou ale vykoupeny vyššími provozními náklady a potenciálními nízkými výnosy (až nefunkčností) fotovoltaiky a tím i nízkou návratností.

Příklad špatného uložení FV panelu položeného dodatečně přes zelenou střechu. Vegetace pod panelem nemá vodu ani světlo, tím pádem v těchto místech zelená střecha není funkční. Vegetace před panelem přerůstá spodní hranu panelu, stíní mu a snižuje jeho účinnost. Foto: Pavel Dostal

BIOSOLÁRNÍ ZELENÉ STŘECHY – ZÁKLADNÍ INFORMACE

Biosolární střechy představují inovativní spojení zelených střech a solárních technologií, které umožňuje efektivní využití střešního prostoru pro environmentální i energetické účely. Tento přístup kombinuje výhody vegetačního pokryvu, jako je zlepšení mikroklimatu a podpora biodiverzity, s produkcí obnovitelné energie prostřednictvím fotovoltaických nebo fototermických systémů. Výsledkem je funkční a udržitelné řešení, které reaguje na současné potřeby městského prostředí i energetiky.

Tato kapitola se zaměřuje na různé možnosti uspořádání solárních panelů na biosolárních střechách. Popisuje, jak tyto technologie mohou být integrovány do extenzivních i intenzivních zelených střech, a zohledňuje přitom faktory, jako je biodiverzita, efektivní využití energie, estetika a uživatelský komfort. Jednotlivé podkapitoly detailně rozebírají klasické uložení panelů, vertikální instalace bifaciálních panelů a možnosti kombinace s intenzivními zelenými střechami.

Klasické uložení panelů

Klasické uspořádání panelů označuje běžně používaný způsob instalace solárních panelů na střechách, při kterém jsou panely upevněny na konstrukci umožňující odstup od povrchu střechy.

Tento přístup se využívá jak na střechách bez vegetace, tak v kombinaci se zelenou střechou. V tomto uspořádání mohou

FV panely v orientaci východ-západ uložené do V (butterfly). Foto: Pavel Dostal



FV panely v orientaci východ-západ uložené do V (butterfly). Foto: Pavel Dostal

rostliny růst i pod panelem a zároveň je zajištěn dostatečný odstup panelu od vegetace. Minimální vzdálenost spodní hrany panelu od povrchu substrátu je 20 cm, může to však být i více v závislosti na použité vegetaci. Takové uspořádání je navíc přínosné z hlediska podpory biodiverzity, protože zastínění a pohyblivý stín, který panely vytvářejí, umožňují vznik různorodých mikrostanovišť na střeše. Tato variabilita poskytuje vhodné podmínky pro širší spektrum rostlinných i živočišných druhů, čímž přispívá k ekologické hodnotě celé střechy.

Panely je možné osadit na systémovou nosnou konstrukci integrovanou do vegetačního souvrství nebo použít atypické, nesystémové, nosiče. Obvyklý sklon panelů je 5–45°, nejčastěji 10–20° u fotovoltaiky a 30–45° u fototermiky.

Vertikální uložení panelů (sklon 90°)

Biosolární střechu lze také realizovat za použití bifaciálních (oboustranných) panelů, které jsou instalovány vertikálně, tedy kolmo k povrchu střechy. Panely je nutné umístit výš, aby nedocházelo k jejich zastínění rostoucí vegetací. Konstrukce, na které jsou panely upevněny, je integrována do vegetačního souvrství, podobně jako u klasických šikmých panelů.

Výhodou tohoto řešení je odlišný výkový profil panelů – místo jednoho ma-



Biosolární střecha s FV panely orientovanými na jih. Vegetaci tvoří regionální směs bylin a rozchodníky. Foto: Pavel Dostal

ximálního výkonu v poledních hodinách generují výkon ve dvou vrcholech, ráno a odpoledne. Tato vlastnost přispívá ke stabilnějšímu zatížení distribuční sítě, protože zmírňuje problémy s přebytky během poledního maxima. Systém bifaciálních panelů tak představuje zajímavou alternativu ke klasickým instalacím.

Vertikálně uložené bifaciální fotovoltaické panely na zelené střeše podporují biodiverzitu pomocí regionální směsi rostlin a dalších prvků. Zelená střecha je krátce po založení. Foto: Pavel Dostal





Vertikálně orientované bifaciální FV panely na modrozelené střeše z dílny Andrease Dreisiebnera. Vegetace je založena pomocí regionálních bylin. Foto: Pavel Dostal

Intenzivní biosolární zelená střecha na univerzitě BOKU ve Vídni. Zdroj: Livingroofs.org

Uspořádání na intenzivní zelené střeše

Biosolární střechy jsou nejčastěji realizovány jako extenzivní, avšak jejich kombinace s intenzivní zelenou střechou nabízí další zajímavé možnosti. Intenzivní zelená střecha je zpravidla pobytová a panely je tak možné umístit nad pobytové nebo pěšební části na vyvýšenou konstrukci. Panely tak plní dvojí funkci – kromě výroby energie poskytují zastínění, případně částečné zastřešení, čímž pomáhají vytvářet příjemné zóny pro relaxaci a trávení volného času.

Při tomto uspořádání je klíčové zachovat podchozí výšku alespoň 200 cm nad nášlapnou plochou, aby byla zajištěna pohodlná dostupnost prostoru. Další přidanou hodnotou je možnost akumu-



lace vody odváděné z povrchu panelů, která může být využita pro závlahu zelené střechy. Fotovoltaické panely mohou být také integrovány jako součást

zábradlí, což nejen maximalizuje využití dostupné plochy, ale zároveň přispívá k estetické hodnotě a multifunkčnosti střechy.

ZELEŇ A FOTOVOLTAIKA NA FASÁDĚ: VÝZVY A PŘÍNOSY

Zeleň na fasádách budov představuje inovativní způsob, jak integrovat přírodu do hustě zastavěných oblastí. Zelené fasády nejenže výrazně přispívají ke zlepšení mikroklimatu, ale také snižují teplotu budovy a jejího okolí, podporují biodiverzitu a zvyšují estetickou hodnotu městského prostředí. Fotovoltaika integrovaná do fasád pak poskytuje další rozměr udržitelnosti, zejména u výškových

budov, kde střešní prostor často není dostačující pro solární instalace. Fasády nabízejí velkou plochu pro výrobu energie a mohou se stát zároveň výrazným designovým prvkem.

Kombinace zeleně a fotovoltaiky na fasádě však přináší specifické výzvy, na které je třeba brát ohled. Vzhledem ke množství možností si níže uvedený seznam neklade nároky na úplnost.

Orientace fasády musí vyhovovat jak rostlinám, tak solárním technologiím. Zatímco pro fotovoltaiku je optimální orientace klíčová z hlediska výkonu, rostliny mohou mít odlišné nároky na světlo, což vyžaduje pečlivý výběr druhů rostlin a uspořádání panelů. U panelů orientovaných kolmo k zemi je třeba počítat s nižší účinností oproti optimálně nakloněným instalacím.



Chlazení panelů je zásadní, zejména u fotovoltaiky, kde proudění vzduchu za panely zvyšuje jejich účinnost. Fototermické kolektory tento požadavek nemají vždy, ale i u nich je odvětrání často žádoucí.

Stínění panelů vegetací je nežádoucí, protože snižuje jejich výkon. Výběr vhodných rostlin, pravidelná údržba a případné instalace zábran proti přerůstání, zejména u samopnoucích popínavých druhů, mohou tento problém eliminovat. Jasně oddělení ploch pro vegetaci a solární technologie je proto nezbytné.

Bezpečnostní opatření jsou nutná, aby elektrické obvody solárních technologií nebyly v kontaktu s potrubím automatické závlahy, a to ani v případě poruchy závlahy.

Přístupnost pro údržbu musí být zajištěna jak pro fotovoltaiku, tak pro vegetaci. Dobře navržená fasáda umožní snadný přístup k panelům i rostlinám bez narušení jejich funkce.

Přes zmíněné výzvy nabízí kombinace zeleně a fotovoltaiky na fasádě velký potenciál jak z hlediska udržitelnosti, tak estetického přínosu. Tento pří-



stup ukazuje, jak lze inovativně využít prostor budov k dosažení energetické soběstačnosti a zároveň zlepšit kvalitu života ve městě.

Asociace zelených střech a fasád vydala k navrhování, realizaci a údržbě

Popínavé rostliny jsou odděleny od fotovoltaiky na fasádě. Budova Laure Gatet v Bordeaux. Foto: Pavel Dostal

zeleně na fasádách metodiku *Ozelenění fasád*, která je volně ke stažení na www.azsf.cz.

SYSTÉMOVÉ A NESYSTÉMOVÉ PROVEDENÍ BIOSOLÁRNÍCH STŘECH

Při realizaci biosolárních střech hraje důležitou roli volba konstrukce pro instalaci solárních technologií. Výhodné jsou systémové konstrukce, které jsou navrženy tak, aby byly kompatibilní s vegetačním

souvrstvím. Tyto konstrukce jsou přítěžovány vrstvami zelené střechy, což eliminuje potřebu kotvení do konstrukce střechy. Díky tomu se minimalizuje riziko vzniku problémů, jako je zatékání, tepelné mosty

nebo bodové zatížení, které by mohly negativně ovlivnit funkčnost střechy.

Systémové konstrukce jsou nejčastěji dostupné pro ploché střechy se sklonem do 5°. Pokud je nutné instalovat solární technologie na střechy s větším sklonem, je obvykle třeba použít nesystémové konstrukce, které se kotví přímo do střechy. Tento přístup je sice technicky možný, ale přináší vyšší nároky na řešení detailů, aby bylo zajištěno dlouhodobé zachování vodotěsnosti a dalších funkcí střechy.

Volba správného typu konstrukce je klíčová pro zajištění efektivního propojení vegetační části střechy s fotovoltaickými nebo fototermickými panely, a tím i pro optimalizaci celkové funkčnosti biosolárních střechy.

Nesystémová konstrukce sestávající z traverz uložených na betonových kvádrech. Nevýhodou může být problematickejší údržba prostoru mezi panely. Foto: Pavel Dostal



4

KOMBINACE ZELENÝCH STŘECH A SOLÁRNÍCH TECHNOLOGIÍ

Tato kapitola se zaměřuje na nejčastější způsoby kombinace zelených střech a solárních technologií, které jsou označovány jako tzv. biosolární (zelené) střechy. Biosolární střechy představují spojení biologicky rozmanitých zelených střech s fotovoltaickými a termickými panely, které vyrábějí obnovitelnou energii ze slunce.

Termín **biosolární střechy** (angl. *biosolar roof*) byl poprvé představen v rámci mezinárodního výzkumného projektu financovaného z programu EU Celoživotní vzdělávání Leonardo v letech 2011–2015. Projekt vedla Curyšská univerzita aplikovaných věd (ZHAW) ve spolupráci s partnery z Rakouska (BOKU), Skandinávie (SGRI), Velké Británie (Onsite Training), Francie (INIT), Španělska (Link) a Maďarska (Sound Garden). Cílem projektu bylo nabídnout řešení v situaci, kdy nastupující trend využívání střech k výrobě obnovitelné energie ze slunce byl zdánlivě v rozporu s vývojově starším trendem ozeleňování střech. Tato kombinace je však vzájemně prospěšná jak pro solární technologie, tak pro zelenou střechu a má mnoho dalších výhod, jak dokazují mnohé vědecké studie ([Catalano, Baumann, 2017, Schindler et al., 2016]) Původní definice pojmu biosolární střecha ze zmíněného výzkumného projektu obsahovala následující návrhové prvky biosolárních střech. Tyto prvky byly navrženy tak, aby optimalizovaly kombinaci zelených střech s fotovoltaickými či fototermickými panely a zároveň podporovaly biodiverzitu a ekologické funkce střechy. Mezi tyto návrhové prvky patří:

1. Prostorová heterogenita: Biosolární střechy, stejně jako biodiverzitní zelené střechy, využívají různorodou



tloušťku substrátu, která vytváří pestré mikroklimatické podmínky. Před solárními panely se mocnost substrátu obvykle pohybuje v rozmezí 5–7 cm, zatímco za panely, kde je vlhčí a stinnější prostředí, dosahuje tloušťka substrátu 15–20 cm. Tato prostorová variabilita podporuje rozmanitost rostlinných a živočišných druhů.

2. Výběr rostlinných druhů: Různé podmínky substrátu a stínění umožňují vysadit na střechu rostliny s odlišnými ekologickými nároky. Druhy odolné vůči suchu a stresu se umísťují před panely, zatímco pro druhy odolné vůči zastínění je vhodné prostředí za panely, kde jsou podmínky stinné a vlhké. Rostlinné druhy mají pocházet z místního biogeografického regionu s druhovou bohatostí 6–10 druhů na metr čtvereční.

Ilustrační příklad kombinace fotovoltaických panelů s vegetací. Foto Andreas Dreisiebner

3. Další návrhové prvky: Podobně jako u biodiverzitních zelených střech mohou i biosolární střechy obsahovat prvky, které podporují životní podmínky pro různé druhy organismů. Dočasné tůňky poskytují zdroj vody, kameny slouží jako útočiště pro drobné živočichy a větve mohou být využity jako skryše nebo hnízdní materiál. Tyto prvky pomáhají obyvatelům střechy překonávat období sucha a zvyšují ekologickou hodnotu střechy.

4. Údržba: Údržba biosolárních zelených střech zahrnuje několik základních činností, které zajišťují dlouhodobou funkčnost vegetace i solárních panelů.

Mezi hlavní úkoly patří odstraňování náletů dřevin a plevelů, které by mohly narušit vegetační souvrství nebo zastínit solární panely. Sečení obvykle není nutné. Pokud se však sečení provádí, doporučuje se frekvence přibližně jednou ročně. Klíčovým pravidlem při této činnosti je odstranění biomasy, aby nedocházelo k nadměrnému hromadění živin v substrátu, což by mohlo ovlivnit složení vegetace.

Od doby realizace mezinárodního výzkumného projektu Biosolar Roof, vedeného Chiarou Catalano a Nathalie Baumann v rámci programu EU *Celoživotní vzdělávání Leonardo* (2011–2015), uplynulo již mnoho let a pojetí biosolární střechy je nyní i díky většímu spektru řešení na trhu volnější. Biosolární střechy je tak možné definovat jako střechy, kde jsou solární technologie (FV, FT, FVT) vhodně kombinovány se zelenou střechou s vegetací tak, aby nedocházelo ke snížení výkonnosti jednoho nebo druhého systému. Klíčovým požadavkem je uložení panelů na vyvýšené konstrukci nad zelenou střechou tak, aby rostliny nepřerostly panel a nesnižovaly jeho účinnost, a zároveň aby nebyla snížena účinnost vegetačního souvrství pod panelem. Rostliny v takovém provedení mohou růst v celé ploše i pod panely. Kde je to možné, je vhodné používat druhově pestré směsi rostlin a další prvky, které zvyšují biodiverzitu a ekologickou hodnotu střechy.

Tento posun odráží rostoucí flexibilitu biosolárních střech a jejich přizpůsobitelnost současným potřebám a technologiím.



Biosolární a zároveň biodiverzitní zelená střecha. Fotovoltaika je řešena v klasické jižní orientaci blíže k zábradlí (požadavek památkářů na nižší uložení) a pomocí bifaciálních panelů v zadní řadě. Biodiverzitu podporují prvky jako písek, mrtvé dřevo a kameny. Zelená střecha je focena krátce po založení. Foto: Pavel Dostal

PROČ ZAKLÁDAT BIOSOLÁRNÍ STŘECHY

Města jsou celosvětově významnými přispěvateli k produkci skleníkových plynů, jak uvádí autoři článku publikovaného v časopise *Building and Environment* v roce 2022 (Fleck a další). Spotřebují až 76 % energie, přičemž přibližně 50 % této energie je využito na vytápění, větrání a chlazení. Zároveň města produkují přibližně 75 % uhlíkových emisí. Článek dále zdůrazňuje rostoucí popularitu využívání solárních panelů na veřejných

budovách pro vlastní potřebu a snahu snižovat energetickou náročnost budov. Již zmínění vědci Catalano a Baumann (2017) upozorňují, že do roku 2050 se předpokládá nárůst světové populace na 10 miliard lidí, přičemž více než 80 % evropské populace bude žít ve městech. Urbanizace výrazně ovlivňuje koloběh látek, jako jsou uhlík a voda, přispívá ke změnám klimatu (např. fenomén městského tepelného ostrova), mění využití

půdy a způsobuje ztrátu a degradaci přírodních biotopů. Tyto procesy jsou navíc provázány rostoucí poptávkou po energiích, tvorbou odpadu a přebytkem tepla.

Autoři zdůrazňují, že je nezbytné přetvořit města tak, aby byla schopna na tyto výzvy odpovědět. Klíčovým cílem je přechod na obnovitelné zdroje energie a obnovení koloběhu látek. Vzhledem k omezenému prostoru v městských oblastech

je třeba hledat alternativní řešení. Jedním z takových řešení by mohlo být zakládání **biosolárních střech**, které kombinují obnovitelnou energii se zelenými střechami a poskytují prostor pro ekologicky funkční a energeticky efektivní technologie.

Jak již bylo uvedeno, fotovoltaické a fototermické panely představují zdroj obnovitelné energie, zatímco zelené střechy přispívají k adaptaci měst na klimatické změny. Zelené střechy pomáhají například snížením efektu městského tepelného ostrova, redukcí spotřeby energie z fosilních paliv na vytápění a chlazení budov nebo zachytem a zpomalením odtoku dešťové vody.

Kombinace těchto dvou technologií nabízí významné ekologické přínosy. Spojením zelených střech a solárních panelů je možné zdvojnásobit využití střešního prostoru – střecha funguje jako ochranná krytina, plocha pro růst rostlin i prostor pro výrobu elektrické energie. Kromě toho mezi panelem a vegetací vzniká komplementární vztah: zelená střecha zvyšuje účinnost solárních panelů díky svému chladicímu efektu, zatímco panely poskytují stín, který vytváří různé mikroklimatické podmínky podporující biodiverzitu. Tato synergie činí biosolární střechy atraktivním řešením pro městské prostředí.

V časopisu *Energies* byl v roce 2018 publikován článek, který se zabývá výhodami biosolárních střech. Podle tohoto článku mohou biosolární střechy zvýšit produkci elektřiny fotovoltaickými panely o 1,2–5,3 %, přičemž největší efekt se projevuje při nižších okolních teplotách. Při teplotách vyšších než 25 °C je toto zlepšení minimální. Z pohledu energie-

tické účinnosti jsou biosolární střechy schopny snížit citelný tepelný tok až o 50 %, což přispívá ke snížení energetické náročnosti budovy. Ekonomická návratnost investice do biosolární střechy se odhaduje přibližně na 8 let (Abuseif, Gou, 2018).

O potřebě kombinovat zelené střechy s fotovoltaikou hovoří i aktuální evropská směrnice o energetické náročnosti budov (tzv. EPBD 4). „*Za účelem účinného využití potenciálu zařízení na výrobu solární energie na budovách by členské státy měly stanovit kritéria pro zavádění zařízení na výrobu solární energie na budovách a možné výjimky z jejich zavádění ... s přihlédnutím k zásadě technologické neutrality a kombinaci solárních zařízení s jinými způsoby využití střech, jako jsou zelené střechy nebo jiné instalace technických zařízení budov*“ (Evropská komise, 2024, str. 20) a dále v Článku 10 (Solární energie v budovách), odst. 4: „*Členské státy rovněž zohlední celistvost konstrukce, zelené střechy a izolaci podkroví a střechy, je-li to vhodné (str. 85).*“

Brno a Praha od 1. 7. 2024 nařizují ve svých stavebních předpisech ozelenění střech pro střechy do sklonu 20° a větší než 20 m². V odůvodnění dále uvádí: „*Povinnost umístit vegetační souvrství však nemůže být obcházena tím, že bude střecha pouze označena pro jiné vhodné a účelné využití bez toho, aby byla reálně způsobilá tomuto účelu sloužit. Za jiné vhodné a účelné využití se nedá považovat například umístění solárních termických nebo fotovoltaických panelů, jejichž umístění není v rozporu s primárním cílem tohoto ustanovení.*“ Dá se tedy očekávat, že trend instalace solárních

technologií na střechy a nové nařízení ve stavebních předpisech přinese biosolárním střechám větší pozornost.

Pro úplnost je třeba zmínit i další praktické výhody biosolárních střech. Velkou výhodou je fakt, že odpadá kotvení nosné konstrukce panelů skrze hydroizolaci, což eliminuje riziko vzniku problematických detailů, jako jsou tepelné mosty nebo potenciální místa zatékání. Systémové nosné konstrukce využívají tíhu vegetačního souvrství pro fixaci panelů, čímž zajišťují rovnoměrnější rozložení zátěže oproti běžným fotovoltaickým střechám. Z hlediska životnosti hydroizolace je důležité, že je v celé ploše střechy chráněna vegetačním souvrstvím. Toto souvrství poskytuje ochranu proti povětrnostním vlivům, jako je UV záření, vítr nebo kroupy, které by jinak urychlovaly stárnutí a degradaci hydroizolace. Navíc vegetační souvrství chrání povrch střechy před mechanickým poškozením, například při pohybu pracovníků provádějících údržbu. Solární panely jsou na biosolární střeše vyvýšené nad vegetační souvrství a vegetace tak může růst v celé ploše střechy i pod panely (viz dále). Při údržbě je zachován přístup k rostlinám pod panely, panely mají mezi sebou větší rozestupy a snazší je přístup jak k panelům samotným, tak i k jejich příslušenství. Zároveň je zachována velká variabilita pro použití různých typů panelů.

Biosolární zelená střecha na rodinném domě ve Zlíně je unikátním skloubením přírody a technologií. Na ploše 237 m² a třech střechách je umístěno 24 fotovoltaických panelů na systémových nosičích vyvýšených nad zelenou střechu. Projekt a realizace: Greenville service s.r.o.



VLIV ZELENÝCH STŘECH NA SOLÁRNÍ FV PANELY

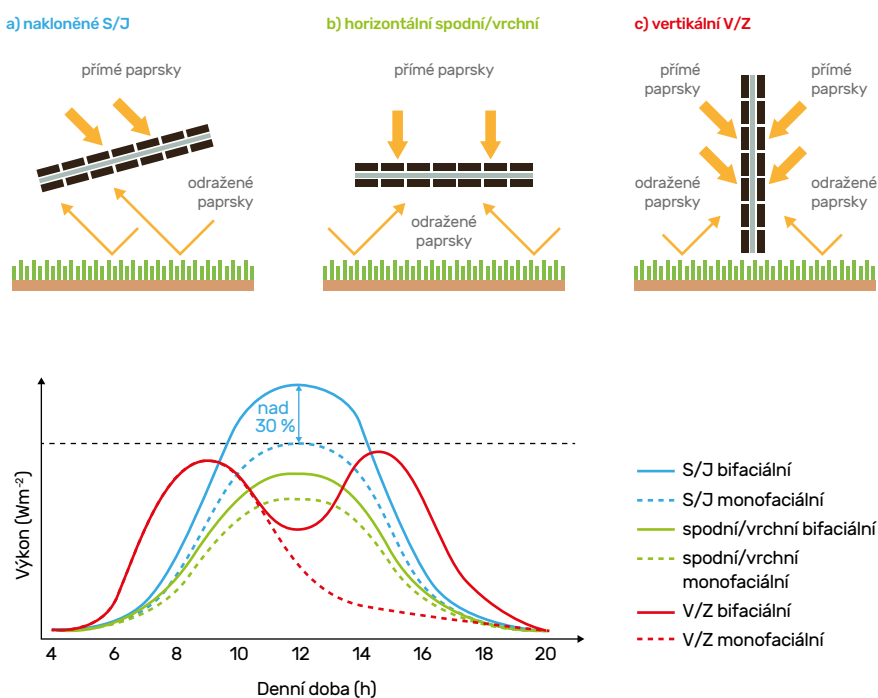
Jak bylo zmíněno výše, teplota ovlivňuje účinnost fotovoltaických panelů. Čím vyšší teplota, tím horší je přeměna solární energie na elektrickou. Vegetace, díky evapotranspiraci, ochlazuje panely, které při vysoké teplotě ztrácí účinnost. Zlepšení se podle zahraničních výzkumů pohybuje od desetin procent do několika jednotek procent. Důležitá je také odrazivost rostlin. S tím souvisí index listové plochy (LAI – Leaf Area Index), což je velikost listové plochy vyskytující se nad určitou jednotku povrchu, zde střechy. Ovlivňuje, jak dobře bude porost odrážet elektromagnetické záření, schopnost usměrnit rychlost větru a jeho turbulenci a bilanci toku energie ze slunečního záření. Čím vyšší je LAI, tím vlhčí je vzduch. Skupina vědců (Shafique, Luo a Zuo, 2020) zveřejnila v časopise Solar Energy studii, která se zabývala vlivem různých druhů rostlin na účinnost biosolárních střech. Výsledky ukázaly, že různé druhy vegetace mají odlišný vliv na produkci energie. Například při porovnání biosolární střechy osázené rozchodníky (*Sedum*) a biosolární střechy s gazánií (*Gazania rigens*) se střechou se štěrkovým pokryvem, byly zjištěny zlepšení produkce energie o 3,33 % u střechy s rozchodníky a o 1,29 % u střechy s gazánií oproti variantě se štěrkem. To zdůrazňuje důležitost správného výběru vegetace přizpůsobené konkrétním klimatickým podmínkám. Výkon biosolárních střech ovlivňuje také sklon a orientace panelů, nosná konstrukce a zastínění. Dále místní klima, druh rostlin (větší LAI, suchovzdorné, nízké), vzdálenost panelu od povrchu substrátu a pravděpodobně i zavlažování vegetace. Vliv má také znečištění vzduchu. Aerosolové znečištění rozptyluje a absorbuje sluneční záření, což způsobuje menší ozáření panelů a může tak snížit produkci až o 1,5 kWh/m²/den. Dalším vlivem je vítr. Při malém pohybu vzduchu nedochází k tak efektivní výměně tepla mezi plochou panelu a okolním prostředím a panel se tak hůře ochlazuje (Wang, Yang, Xiang, 2023). Zvýšení účinnosti fotovoltaiky pomocí zelené střechy může být ekonomickým argumentem pro větší rozšíření biosolár-

AUTOR, ROK	MÍSTO	PŘEDMĚT VÝZKUMU	ZPŮSOB	% ZVÝŠENÍ VÝKONU FV
Köhler et al., 2007	Berlín (DE)	Zelená střecha vs. asfaltové pásy	Experiment	6,5 %
ZinCo GmbH, 2010	Nürtingen (DE)	Zelená střecha vs. asfaltové pásy	Experiment	4 %
Baumann et al., 2016	Winterthur (CH)	Zelená střecha vs. kačírek	Experiment	0,7 %
Perez et al., 2012	New York (USA)	Zelená střecha vs. kačírek	Teoreticky a experiment	2,4 %
Chemnisana & Iamnatou, 2014	Lleida (ESP)	Zelená střecha vs. kačírek	Experiment	1,29–3,33 %
Witmer, 2010	Různé regiony USA	Zelená střecha vs. bílý podklad	Teoreticky	0,55 %

ních střech. Vyšší účinnost vstupuje do výpočtu ekonomické návratnosti a má přímý vliv na rozhodování o investici do fotovoltaické elektrárny. Tabulka uvádí přehled relevantního výzkumu srovnávajícího výkon fotovoltaických panelů na zelených a nezelených střechách. Výzkumu v této oblasti nebylo provedeno mnoho a procentuální zvýšení účinnosti FV zelenou střechou jsou od desetin procenta po nižší jednotky procent. Je tedy možné říct, že zelená střecha mírně zvyšuje účinnost FV panelů. Průběh výkonu u biosolární střechy při různém uložení FV panelu znázorňuje obrázek 4.

Tabulka 3: Srovnání výkonnosti fotovoltaiky na zelených a nezelených střechách dle relevantního výzkumu v mírném klimatu (BuGG, 2022).

Obr. 4: Srovnání výkonu fotovoltaických panelů v různých orientacích a při použití jednostranného nebo bifaciálního panelu. Zdroj: Kopecek & Libal, Bifacial Photovoltaics 2021: Status, Opportunities and Challenges, Energies 14(8):2076



VLIV SOLÁRNÍCH FV PANELŮ NA ZELENÉ STŘECHY

Ekosystém biosolární střechy představuje jedinečné prostředí s vyšší biodiverzitou, která vzniká díky kombinaci vegetace a fotovoltaických panelů. Panely vytvářejí plovoucí stín, jenž ovlivňuje světelné a vlhkostní podmínky na střeše. Tento stín je specifický tím, že panely zachytí až 100 % slunečního záření, což výrazně odlišuje jejich vliv od stínu vytvořeného rostlinami. Na střeše se tak vytváří různé mikroklimatické zóny – některé oblasti jsou neustále zastíněné, jiné jen několik hodin denně, a některé zůstávají zcela osluněné. Tato variabilita umožňuje koexistenci konkurenčních druhů rostlin, které by se za běžných podmínek těžko vyskytovaly pohromadě.

V zastíněných místech pod panely se daří rostlinám preferujícím nepřímé světlo a dobře snášejícím stín. Naopak mezi řadami panelů, kde je větší přísun vody, prosperují druhy náročnější na vlhkost. Kapky rosy, které se tvoří na povrchu panelů a stékají do substrátu, poskytují přirozenou zálivku, čímž FV panely nepřímo podporují růst rostlin. Na těchto místech se často objevují specifické druhy, které nejsou na ostatních částech střechy přítomny.

Kromě vlhkostních podmínek mají panely i další pozitivní vliv na vegetaci. Chrání rostliny před silnými větry, které by mohly poškodit vegetaci nebo odnést semena, a tím přispívají k lepším podmínkám pro šíření rostlin. Díky tomu je vegetace v lepší kondici, což zvyšuje celkovou funkčnost zelené střechy. Panely mohou také ovlivnit početnost a druhové

složení členovců na střeše, což dále posiluje biodiverzitu tohoto ekosystému (Schindler et al., 2016).

Rostliny rostou pod panely i mezi nimi. Vegetace byla založena z řízků rozhodníků a výsevem suchomilných travin a bylin, tudíž je druhově rozmanitá. Nosiče fotovoltaiky jsou integrované do vegetačního souvrství a jsou jím přitíženy.



VEGETACE

Díky rozmanitosti stanovištních podmínek, které na biosolárních střeších vznikají, lze dosáhnout vysoké variability rostlinných druhů. Suchomilné a odolné rostliny se mohou umístit do slunných částí před panely, zatímco do zastíněných prostor za panely jsou vhodné konkurenčně silné druhy. Tato kombinace umožňuje efektivní využití dostupného prostoru a zajišťuje pestré a stabilní vegetační pokrytí.

Na ploše střechy by se mělo vyskytovat minimálně 6–10 druhů rostlin, optimálně více. Vysoká druhová pestrost přispívá k vyšší hodnotě pro biodiverzitu hmyzu a stabilitě celého ekosystému střechy. Při výběru rostlin je nutné dbát na to, aby nepřerůstaly a nezakrývaly fotovoltaické panely, což by mohlo negativně ovlivnit

jejich výkon. Z tohoto důvodu se doporučuje volit především poléhavé a plazivé druhy, či nízké kobercové rostliny.

Biosolární střechy vytvářejí unikátní prostředí, kde se díky odlišným podmínkám mohou uplatnit různé druhy rostlin. Na střeše vznikají různá stanoviště, která se liší podle své polohy vůči solárním panelům:

Otevřené plochy: Tato místa nejsou ovlivněna přítomností panelů, a proto zde dominují suchomilné rostliny, které snášejí přímé slunce a sušší podmínky.

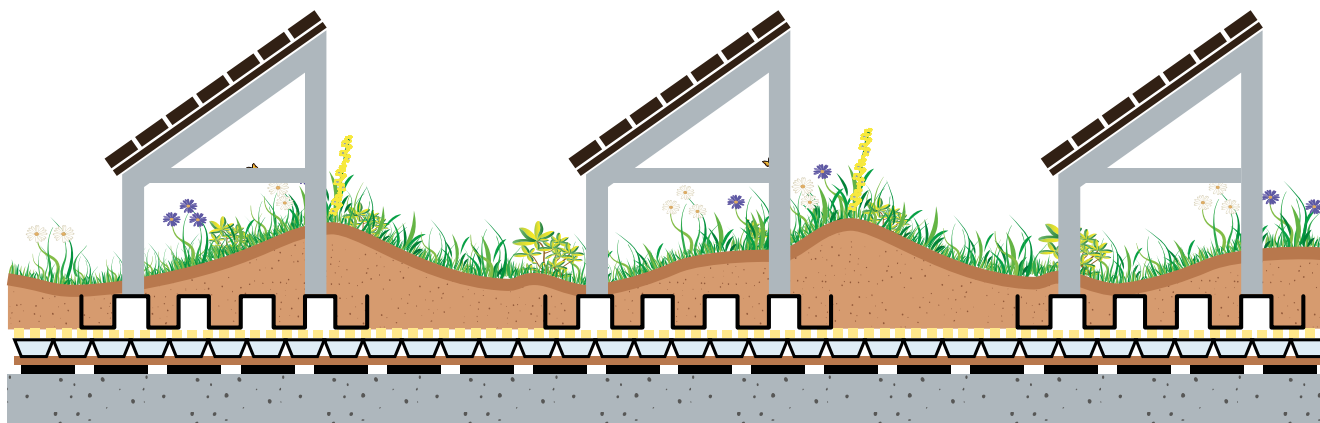
Plochy před panely: Díky stékající vodě z panelů je zde více vláhy, což umožňuje růst druhů středně náročných na vláhu.

Plochy pod panely: Zastíněná místa, kam dopadá méně slunečního světla

i srážek. Vegetace zde bývá řidší, a daří se zde především suchomilným druhům.

Plochy za panely: Převážně zastíněné části, na které dopadá dostatek srážek. Tyto podmínky podporují růst vyšších rostlin, které se přizpůsobí stínu.

Rostliny na biosolárních střeších musí být vybírány s ohledem na to, aby nepřerůstaly spodní hranu solárních panelů, protože by mohly způsobit zastínění a tím snížení výkonu panelů. Vegetace by měla být zároveň hustá a odolná, aby efektivně omezila šíření nežádoucích druhů. Speciálně u bifaciálních panelů, které využívají světlo odražené od povrchu, mají pozitivní vliv na zvýšení produkce elektriny stříbrolisté rostliny díky lepším odrazovým vlastnostem.



Pro další zvýšení heterogenity lze využít modelování substrátu, pokud to umožňuje statická únosnost střechy. Tímto způsobem lze vytvořit rozdílné vrstvy substrátu, například pod spodní hranou

panelu použít nižší vrstvu (např. 60 mm), zatímco za panely, kde bývá více vlhkosti, lze aplikovat vyšší vrstvu substrátu (150 mm). Tomuto řešení je samozřejmě nutné přizpůsobit i zvolenou vegetaci.

Obr. 5: Výškově modelovaný substrát na biosolární střeše. Zdroj (BuGG, 2020)

BIOSOLÁRNÍ STŘECHY A VODA

Odtok vody ze střech je určen sklonem střechy, mocností substrátu, hydroakumulačními parametry střechy, drenážní vrstvou a konstrukčními prvky střechy. Vliv má samozřejmě i intenzita a rozložení srážek v čase. Zelené střechy mají různou retenční kapacitu. Pro intenzivní střechy se uvádí schopnost zadržet až 90 % ročních srážek, pro extenzivní je to

v lokálních podmínkách obvykle kolem 50 %. Voda může být ve skladbě vegetačního souvrství zachycena několika způsoby, přičemž největší množství obvykle zachytí střešní substrát a hydroakumulační vrstva (pokud je součástí souvrství). Voda může být absorbována pletivou rostlin nebo se může zachytit na povrchu listů. Experimentální měření německé

asociace BuGG došla k závěrům, že při správném provedení extenzivní biosolární střechy se součinitel odtoku nezmění. Studie z roku 2012 se zabývala vlivem různých typů vegetace na množství odtoku vody z extenzivních zelených střech. Autoři zkoumali, jak různé rostlinné druhy, jejich diverzita a struktura ovlivňují schopnost střech zadržovat dešťovou vodu. Dospěli k závěru, že hospodaření rostlin s vodou ovlivňuje jejich způsob fixace oxidu uhličitého. Rozlišujeme tři typy fotosyntézy – C3, C4 a CAM. Každý typ je přizpůsoben jiným podmínkám a je tedy nutné vybrat vhodné druhy podle lokality. Z rostlin pro extenzivní střechy jsou k zadržení vody nejúčinnější travní porosty, byliny a poté rozhodníky, přičemž záleží také na vzrůstu rostlin, listové biomase a charakteru kořenového systému. Vícedruhové směsi rostlin mohou lépe zadržovat vodu oproti monokulturním porostům, jsou odolnější v suchých obdobích a mají atraktivnější vzhled (Nagase, Dunnett, 2012).



Biosolární střecha v londýnském Queen Elizabeth Olympic Park, Velká Británie. Návrh řešení, který spojuje biodiverzitní zelenou střechu s fotovoltaickými panely, čímž nabízí multifunkční řešení podporující tvorbu přírodních stanovišť a udržitelný rozvoj. © UELSRI



NAVRHOVÁNÍ BIOSOLÁRNÍCH STŘECH

Navrhování biosolárních střech je komplexní proces, který vyžaduje pečlivé zvážení technických, ekologických i provozních aspektů. Při návrhu je důležité

brát v úvahu nejen základní stavebně-technické požadavky, ale také specifické potřeby spojené s integrací vegetace a fotovoltaických systémů. Cílem této

kapitoly je poskytnout přehled klíčových faktorů, které je třeba zohlednit při navrhování biosolárních střech, ať už se jedná o novostavbu nebo dodatečnou instalaci.

STAVEBNĚ-TECHNICKÉ SOUVISLOSTI

Předpoklady pro úspěšnou realizaci zelené střechy jsou uvedeny ve Standardech pro navrhování, provádění a údržbu zelených střech (SZÚZ, 2019) a také v ČSN 73 1901-4: Navrhování střech – Část 4: Vegetační střechy. Pro biosolární zelené střechy platí tyto základní předpoklady také. Speciálně pro biosolární střechy je vhodné vyzdvihnout několik bodů. Integrované nosiče fotovoltaiky přitížené vegetačním souvrstvím je zpravidla možné realizovat na střechách, kde **sklon** nepřevyší 5°. Vývoj nových systémů však jde rychle kupředu a někteří výrobci mohou nabízet i systémy vhodné pro střechy s větším sklonem. U střech se sklonem nad 5° je zpravidla potřeba nosnou konstrukci solárních panelů kotvit přímo do konstrukce střechy. Biosolární střechy je rovněž možné realizovat na tzv. modrozelených střechách s nulovým spádem, což přináší ještě vyšší retenci srážkové vody na střeše. Důležitým předpokladem, který je stejný i pro zelené střechy bez fotovoltaiky, je **hydroizolace** odolná proti prorůstání kořenů. Důraz na kvalitu provedení a dlouhodobost zvoleného hydroizolačního materiálu by měl být u biosolárních střech ještě větší vzhledem k případným důsledkům netěsnosti střechy a složitosti řešení tohoto problému. Před realizací zelené střechy je vhodné nechat provést zkoušku těsnosti hydroizolace a jako další

úroveň ochrany mohou posloužit systémy aktivní i pasivní detekce zatékání instalované pod hydroizolační vrstvou ve skladbě střešního pláště.

Tepelná izolace musí být dostatečně odolná vůči tlaku a málo stlačitelná. Obvykle se doporučuje pro vrchní vrstvy skladby minimální pevnost v tlaku 100 kPa. U obrácených střech musí skladba zůstat difúzně otevřená. Fotovoltaický systém (nosiče + FV panely) představuje pro střešní konstrukci dodatečné **zatížení** cca 20–30 kg/m², u fototerminického systému je to cca 20–60 kg/m². Vegetační souvrství extenzivní zelené střechy v závislosti na typu a mocnosti vegetačního souvrství představuje zatížení 90–180 kg/m² při nasycení vodou.

Pokud se střeška nachází ve výšce větší než 1,5 metru a obsluha se pohybuje méně než 1,5 metru od okraje, je potřeba zajistit **bezpečnost pracovníků** pomocí kolektivního nebo osobního jištění, např. zábradlí, kolejnice či kotvící body, ke kterým se pracovníci zajistí. **Záchytný systém** nesmí kolidovat se solárními technologiemi umístěnými na střeše.

Z hlediska pravidel pro **ochranu proti bleskům** se zelená střecha s fotovoltaikou neliší od „nezelené“ střechy s fotovoltaikou. Při instalaci solárních panelů na střechu je nutné dodržet dostatečnou

vzdálenost mezi prvky spojenými s jímací soustavou hromosvodu (svody, okapy či oplechování) a konstrukcí solárních panelů, aby se předešlo poškození elektrárny. Nejčastěji se v praxi hovoří o minimální odstupové vzdálenosti fotovoltaiky 0,5 m od vedení hromosvodu. Tato vzdálenost se přesně zjistí výpočtem dle ČSN EN 62305 ed. 2 a její hodnota se může lišit v závislosti na konkrétních podmínkách. Pokud není možné odstupovou vzdálenost dodržet, solární konstrukce se propojí s hromosvodem a použijí se odpovídající stínící opatření. Vhodné řešení musí určit k tomu kvalifikovaný odborník. Z hlediska **požární bezpečnosti** je důležitá vyhláška č. 268/2011 Sb., kterou se mění vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, a která upřesňuje technické podmínky požární ochrany pro navrhování, provádění a užívání stavby. Vyhláška stanoví, že „*střešní plášť musí být klasifikován podle české technické normy uvedené v příloze č. 1 části 6 bodu 3 (ČSN EN 13 501-5 +A1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 5: Klasifikace podle výsledků zkoušek střech vystavených vnějšímu požáru, pozn. redakce)*. Střešní plášť, který se nachází v požárně nebezpečném prostoru, musí být navržen s klasifikací $B_{ROOF}(t3)$. Střešní plášť, který

se nenachází v požárně nebezpečném prostoru, musí být navržen s klasifikací $B_{ROOF}(t1)$. Při navrhování střešního pláště se vychází z požadovaného sklonu podle české technické normy uvedené v příloze č. 1 části 6 bodu 3. (MV ČR, 2011).“ K umístění fotovoltaických systémů na střeše se vyjadřuje také nová předběžná norma ČSN P 73 0847 s názvem „Požární bezpečnost staveb – fotovoltaické (PV) systémy“ z května 2024. Pro fotovoltaické (FV) systémy s omezeným vývinem tepla je instalace na různých typech střech povolena, pokud střešní krytina splňuje klasifikaci $B_{ROOF}(t1)$ nebo $B_{ROOF}(t3)$, a to bez specifických požadavků na požární odolnost. Je nutné dodržet normou stanovené odstupky kolem střešních výlezů, podél okrajů střech, mezi FV poli a od světlíků. Kabely by měly být uloženy v ocelových žlabech třídy A1/A2, pokud střešní krytina není této třídy, a otevřené žlaby jsou povoleny, pokud jsou kabely klasifikovány jako B2ca a krytina splňuje

$B_{ROOF}(t3)$. Naopak, FV systémy bez omezeného vývinu tepla vyžadují, aby střešní krytina splňovala $B_{ROOF}(t3)$, a musí mít zvýšené odstupky kolem střešních výlezů, okrajů střech, mezi FV poli a od otvorů náchylných k požáru. Odstupové vzdálenosti pro tyto systémy se pak stanoví jako pro požárně otevřené oblasti střech. *Standards pro navrhování, provádění a údržbu zelených střech* a ČSN 73 1901-4 předepisují kačírkové pásy (nebo obdobný materiál) podél okrajů střechy a prostupů v šířce nejméně 500 mm o tloušťce nejméně 50 mm.

V době vydání této příručky střešní pláště s vegetací musí být zkoušeny v akreditované laboratoři a nezávisle klasifikaci $B_{ROOF}(t3)$ automaticky². Již několik požárních zkoušek různých soukromých firem a jejich skladeb ukázalo, že pro extenzivní zelené střechy není problém vyhovět požadavku na $B_{ROOF}(t3)$. Na trhu je tak k dispozici množství skladeb zelených střech, které vyhovují klasifikaci $B_{ROOF}(t3)$ i s pří-

padnými dovolenými záměnami uvedenými ve vyhodnocení požární zkoušky. Při instalaci fotovoltaických systémů na střeše je klíčové věnovat pozornost správnému osazení kabelových prostupů a protipožárních ucpávek. Tyto komponenty nejen chrání kabeláž před mechanickým poškozením a vniknutím vody, ale také plní zásadní funkci v prevenci šíření požáru v případě, že by došlo k závadě či přehřátí systému. Kvalitně instalované protipožární ucpávky omezují riziko, že se případný požár rozšíří na další části objektu.

Po vyjasnění projektu zelené střechy je možné sestavit rozpočet pro realizaci, který bude odrážet rozsah dodávek jednotlivých profesí (viz Kapitola 6). U systémových konstrukcí biosolárních střech, které používají nosiče panelů integrované do vegetačního souvrství, obsahuje rozpočet dodavatele zelené střechy i tyto nosiče zvolené dle projektu fotovoltaiky.

² Pro srovnání, rakouská praxe je následující: Všechny typy normovaných intenzivních i extenzivních střešních ozelenění s rozchodníkově-mechovo-bylinnou vegetací jsou podle německé směrnice FLL z roku 2018, rakouské normy ÖNORM L 1131 a mezinárodní praxe, při odborném plánování, provedení a údržbě, klasifikovány jako tvrdá střešní krytina. Jsou považovány za odolné vůči létajícím jiskrákům a sálavému teplu a v běžných testovacích postupech jsou klasifikovány jako $B_{ROOF}(t1)$. Substrát musí obsahovat maximálně 20 % složek organického původu a jeho vrstva musí být ≥ 3 cm. Z hlediska požární ochrany tedy nestojí kombinaci se solárními systémy nic v cestě (MA 20, 2021).

UMÍSTĚNÍ BUDOVY

Z hlediska potenciálního výkonu fotovoltaického nebo fototermického systému hraje roli délka oslunění v průběhu roku, tedy průměrný počet slunných hodin v dané lokalitě. Tato hodnota pak velkou měrou vstupuje i do návratnosti investice do solárních technologií. Solární specialista je schopen na základě zadaných údajů o stavbě a specifikaci fotovoltaického systému spočítat po-

tenciální výkon v dané lokalitě a doporučit nejvhodnější řešení.

Důležitou roli při návrhu biosolární střechy hraje charakter terénu a s tím související větrné zatížení. U integrovaných systémů přitížených vegetačním souvrstvím je nutné vždy přitížení dimenzovat na staticky nejméně výhodný stav, který nastává, pokud je vegetační souvrství v nejlehčím stavu, tedy zcela vysušené.

Umístění solárních technologií na střechu může mít negativní vliv i na okolí budovy skrze odraz slunečního světla z panelů. Ve fázi plánování je vhodné simulací prověřit, že nevzniknou žádné nežádoucí světelné imise do okolí. Tento bod vyžaduje zvláštní pozornost v hustě zastavěném území, v památkové zóně nebo v blízkosti leteckých koridorů.

SKLON PANELŮ

Sklon panelu má velký vliv na jeho výkon. Panely je možné instalovat ve sklonu 5–45°, přičemž u integrovaných biosolárních systémů se nejčastěji používá sklon 10°, 15° nebo 20°. Zajímavou možností je použití bifaciálních

(oboustranných) panelů orientovaných kolmo k povrchu ve sklonu 90°. Bifaciální panely dosahují na rozdíl od klasických jednostranných panelů dvou vrcholů výkonu (viz kapitola Výkon biosolárních střech), což může být v některých si-

tuacích energeticky výhodné řešení. Také platí, že čím větší sklon, tím lepší samočištění panelů a menší vliv sněhu. Solární termické kolektory se obvykle instalují ve sklonu 30–45°.



ZASTÍNĚNÍ

U fotovoltaických systémů je třeba se vyhnout i částečnému zastínění panelů, které bez dalších úprav výrazně sníží výkonnost systému. Fototermické systémy jsou oproti fotovoltaice na částečné zastínění méně citlivé. S potenciálním stíněním souvisí i sklon panelů a vzdálenosti mezi nimi, která je u systémových řešení již předem správně zvolena a u nesystémových řešení je třeba ji správně vypočítat. Při menším sklonu lze dát panely blíže k sobě.

Stínit mohou i okolní budovy, stromy, zábradlí, komíny, vysoké rostliny a další objekty. Solární články jsou v panelu propojeny sériově. Pokud je jeden zastíněn, je v něm omezený průtok elektřiny, a to omezuje i ostatní články (celý řetězec). Stejný princip platí i pro celé panely. Tomuto efektu lze zabránit využitím optimizéru výkonu, který optimalizuje výkon každého panelu zvlášť, toto řešení však zvyšuje nákladnost instalace.

Proto je důležité fotovoltaiku na střeše rozmístit tak, aby se eliminoval vliv jakéhokoli zastínění. Zároveň je nutné dbát na udržovací péči, aby přebujelé rostliny nezastíňovaly panely. Vzdálenost mezi panely při klasické orientaci našikmo je obvykle 80 cm a více (čím severněji se instalace nachází, tím dále od sebe), u vertikálních bifaciálních systémů záleží na rozměrech panelu a charakteristikách konkrétního systému.

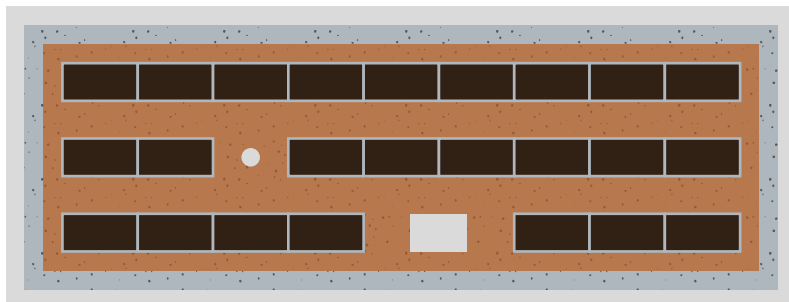
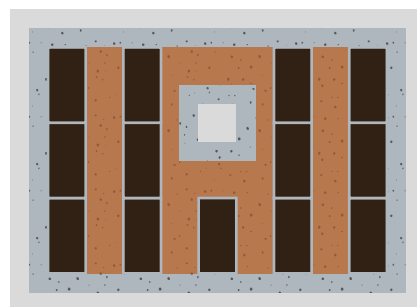
ROZLOŽENÍ PANELŮ

Správné rozložení panelů je zásadní. Panely si nesmí navzájem stínit a je třeba se vyhnout světlíkům, komínům, dodržovat předepsané odstupové vzdálenosti, uličky pro údržbu a protipožární předpisy. Všechny tyto faktory je vhodné zohlednit při návrhu střechy tak, aby si jednotlivé prvky vzájemně nepřekážely. Ilustrativní rozložení panelů a dalších prvků na střeše ukazuje obrázek 6.

Při návrhu energetického systému budovy je klíčové přesně stanovit výkon solární elektrárny, který lze na biosolární střechu instalovat. Tento výkon závisí na několika faktorech, jako jsou tvar a rozměry střechy, její nosnost, rozmístění vystupujících prvků (například komíny, světlíky či jiné konstrukce) a instalované technologie na střeše.

Pro maximální využití střešní plochy je vhodné soustředit všechny prvky vystupující nad rovinu střechy co nejvíce k sobě, aby zůstala co největší souvislá plocha pro biosolární systém. Zároveň je třeba počítat se zvýšeným větrným

Obr. 6 Ilustrativní obrázek rozložení FV panelů na zelené střeše. Horní obrázek je jižní orientace FV, spodní je orientace východ-západ. Rozložení je závislé na daném systému a je třeba ho vždy specifikovat pro každý objekt.



zatížením v okrajových částech střechy, které může ovlivnit stabilitu a výkon fotovoltaických panelů.

Pokud je u biosolární střechy možné 30-40 % plochy střechy pokrýt fotovoltaikou, na střeše o výměře 200 m² to bude představovat cca 60-80 m², což odpovídá 30-40 ks panelů. Poten-

ciální výkon by tak mohl být v rozmezí 12-22 kWp v závislosti na zvoleném typu panelu a cca 0,6-1,1 kWp/10 m² střechy. Návrh rozložení fotovoltaických panelů na biosolární střeše může vyhotovit výrobce systému pro biosolární střechy, kvalifikovaný realizátor zelené střechy anebo solární expert.

ROZESTUPY MEZI ŘADAMI PANELŮ A ORIENTACE

Panely je možné orientovat na výšku i na šířku. Z hlediska světových stran jsou fotovoltaické panely v našich podmínkách orientovány zpravidla na jih, východ nebo západ. Fototermické panely se orientují zpravidla na jih. Orientace panelů určuje množství vyrobené energie a také část

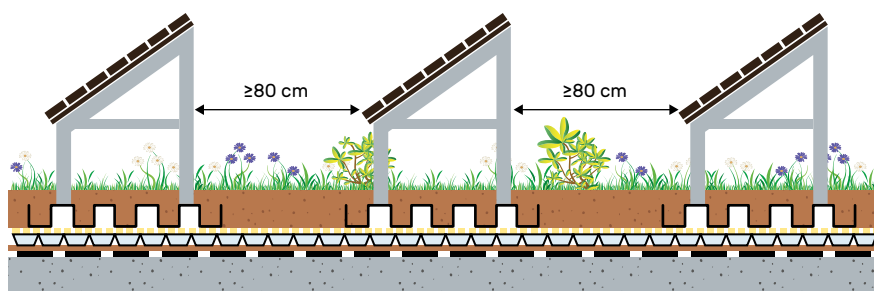
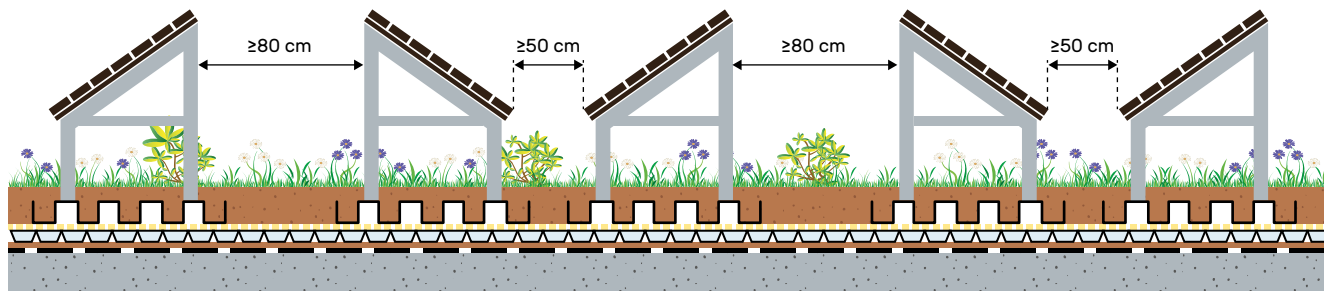
dne, ve které bude panel energii vyrábět. Největšího výkonu dosáhne panel při jižní orientaci, ale vyrobenou energii nemusí být možné v danou chvíli spotřebovat nebo dostatečně akumulovat. V období poledního maxima výroby elektřiny dochází u panelů orientovaných na

jih k výraznému zatížení přenosové sítě. To může vést k poklesu cen elektřiny a zároveň zvyšuje náklady na stabilizaci sítě, aby se předešlo riziku přetížení nebo výpadku. Stále častěji se proto volí orientace panelů východ-západ, která umožňuje výrobu největšího množství energie

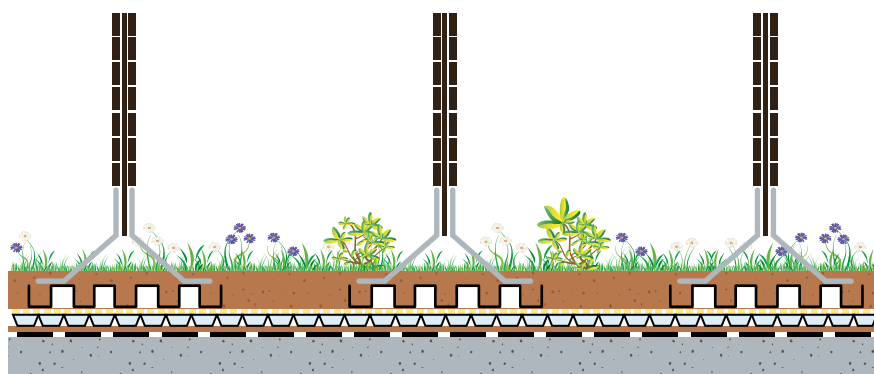
v dopoledních a odpoledních hodinách, čímž se předejde přetížení sítě během poledního maxima.

Doporučení Německé asociace pro ozeleňování budov Bundesverband GebäudeGrün (BuGG, 2022) udává vzdálenosti,

Obr 7 Doporučené minimální odstupové vzdálenosti mezi řadami fotovoltaických panelů na biosolární střeše. Orientace východ-západ (BuGG, 2022)



Obr. 8 Doporučené minimální odstupové vzdálenosti mezi řadami fotovoltaických panelů na biosolární střeše. Orientace jih (BuGG, 2022)



Obr. 9 Minimální odstupové vzdálenosti mezi řadami fotovoltaických panelů na biosolární střeše s bifaciálními panely se liší v závislosti na zvoleném systému. (RWA Berlin, 2024)

které je třeba dodržet mezi řadami modulů nebo kolektorů, viz obrázek 7 a 8:

- » Pokud jsou moduly orientovány střídavě na východ a západ, mělo by být mezi spodními okraji minimálně 50 cm a mezi horními okraji řad modulů minimálně 80 cm pro údržbu a péči. Pokud jsou moduly takto umístěny proti sobě, srážky na spodních okrajích stékají na stejné místo ze dvou stran, což může vést k tomu, že zde vegetace poroste intenzivněji a bude vyžadovat intenzivnější údržbu. Mezi moduly je proto třeba zajistit dostatečný prostor pro údržbu. Mezi moduly, které jsou příliš blízko u sebe, také snadno sklouzává sníh a hromadí se zde.
- » Mezi řadami modulů nebo kolektorů s orientací na jih by měl být prostor alespoň 80 cm, aby bylo možné solární systém a zelenou střechu udržovat. Aby si moduly navzájem nestínily, doporučuje se ještě větší vzdálenost (v závislosti na zeměpisné šířce, výšce modulů a úhlu montáže).

ODSTUP PANELU OD VEGETACE

Vzdálenost spodního okraje panelu musí být dostatečná, aby se pod panel dostalo světlo a vláh a vegetace nemohla přerůst panel, tím ho zastínit a snižovat jeho výkon. Dostatečná vzdálenost mezi vegetací a solárním

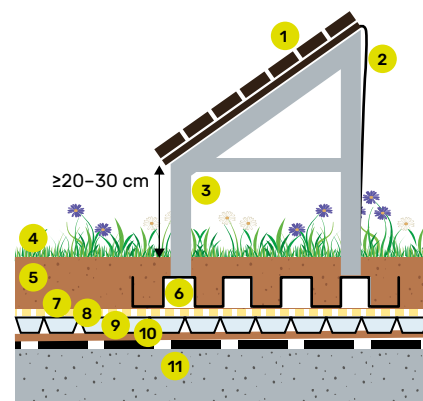
Biosolární střecha s FV panely orientovanými na jih. Vegetaci tvoří regionální směs bylin a rozchodníky. Odstup spodní hrany panelu musí být v souladu s navrženou vegetací. Foto: Pavel Dostal



systémem je klíčová také pro účinné chlazení panelů. Rostliny odpařují vodu ze svých listů a voda se odpařuje také ze substrátu, což ochlazuje okolí i samotné panely. (viz kapitola 4.)

S ohledem na navrženou vegetaci je nutné zvolit odpovídající odstup panelu od vegetace. Nízké druhy rozchodníků dorostou výšky cca 5–20 cm, nízké traviny a byliny 20–40 cm. *Standardy pro navrhování, provádění a údržbu zelených střech* doporučují u s ohledem na vegetaci minimální vzdálenost spodní hrany panelu a substrátu 20 cm. U vyšší vegetace je třeba uvažovat větší odstup.

- 1 Solární panel
- 2 Napájení a kabeláž
- 3 Nosná konstrukce pro uchycení panelů
- 4 Vegetace
- 5 Substrát
- 6 Základna nosné konstrukce
- 7 Filtrační vrstva
- 8 Drenážní a hydroakumulační vrstva
- 9 Ochranná vrstva
- 10 Hydroizolace odolná proti prorůstání kořenů
- 11 Nosná konstrukce



Obř. 10 Vzdálenost spodní hrany panelu od povrchu substrátu musí být v závislosti na zvolené vegetaci min. 20 cm (BuGG, 2022)

KOTVENÍ NEBO PŘITÍŽENÍ KONSTRUKCE

Konstrukce nesoucí fotovoltaické panely musí být dostatečně zajištěna proti působení větru. To lze zajistit dvěma způsoby:

a) U plochých střech do sklonu 5° se využívá nosičů integrovaných do vegetačního souvrství střechy a přitížených tíhou vegetačního souvrství. Substrát, který tvoří hlavní balastní součást systému, může být stejné mocnosti na celé střeše, nebo, dovolí-li to statika, různé mocnosti. U extenzivních střech je možné substrát modelovat výškově od 6–15 cm, přičemž je důležité, aby před solárními moduly bylo méně substrátu než pod nimi a za nimi,

jinak by je mohly zastínit vyšší rostliny. Potřebné přitížení je třeba uvažovat ve staticky nejméně výhodném stavu – zcela vysušené souvrství. Rovněž je třeba vzít v potaz odlišnou potřebu přitížení v různých částech střechy – sání větru působí nejsilněji v okrajových oblastech střechy. Je zodpovědností dodavatele biosolární zelené střechy s přitěžovanou konstrukcí, aby byly nosiče bezpečně přitíženy a vyhovely větrnému zatížení všude na střeše.

b) Druhou možností je kotvení nosičů panelů do konstrukce střechy. Tento postup vyžaduje samostatný návrh

a přesný výpočet. Kotvení však znamená perforaci hydroizolace, což může vést ke vzniku obtížně řešitelných izolačních detailů. Navíc může přispět k vytvoření tepelných mostů. Kotvení je zpravidla nutné u šikmých střech nebo u atypických konstrukcí a je předmětem samostatného návrhu, resp. výpočtu.

Možností u atypických konstrukcí je i bodové přitížení konstrukce. Vzhledem k účinkům na konstrukci střechy i střešní plášť to však může být problematické a takové řešení by mělo být používáno jen po důkladném zvážení.

SKLADBA STŘECHY

Skladba biosolární zelené střechy se neliší od obecné skladby extenzivní zelené střechy. Systémová řešení biosolárních střech s integrovanou nosnou konstrukcí panelů obsahují navíc jen prvky nezbytné pro solární panely:

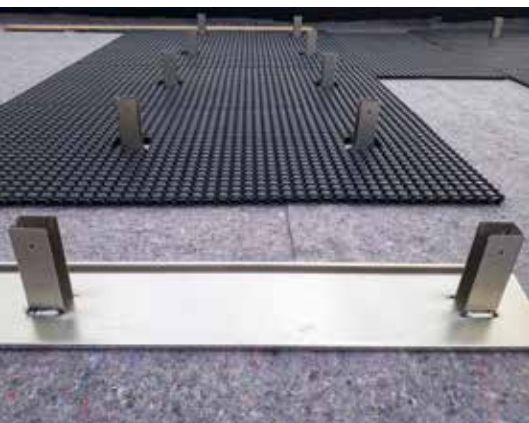
- » **Vegetace** – vhodně zvolená vegetace (viz Kapitola 4);
- » **Substrát** – slouží k zatížení, potřebné množství se vypočítá;
- » **Vedení kabelů** – kabely musí být vedeny tak, aby nepřekážely a byly chráněny;

- » **Základy pro uchycení panelů** – zajišťují upevnění panelů a jsou zpravidla uloženy v nopové fólii;
- » **Filtrační vrstva** – používá se u většiny systémů;
- » **Drenážní a hydroakumulační vrstva** – slouží k akumulaci vody a k odvodnění;
- » **Ochranná vrstva** – chrání hydroizolaci před mechanickým poškozením. Vrstva substrátu může být po celé ploše střechy stejná (levnější řešení, snadněj-

ší instalace a údržba), nebo může mít různou mocnost (druhá rozmanitost vegetace). Hloubka substrátu zásadně ovlivňuje podmínky pro růst rostlin – příliš velká hloubka substrátu napomáhá v růstu nežádoucím rostlinám, které mohou negativně ovlivnit výkon solárních technologií. Vzdálenost spodní hrany panelu a způsobení nosné konstrukce solárních technologií musí být vždy v souladu se zvolenými rostlinami, aby nedošlo k nežádoucímu zastínění.

REALIZACE BIOSOLÁRNÍCH STŘECH

Realizace biosolárních střech je specifická pro každý systém. Před samotnou realizací se doporučuje provést na dokončené hydroizolaci zkoušku těsnosti, aby měly zúčastněné strany jistotu, že je hydroizolace v dobrém stavu, kvalitně provedena a předešlo se tak potenciálním budoucím problémům. Případné zjištěné závady je třeba uvést v protokolu o provedení zkoušky a opravit, dokud je střecha odkrytá.



Základna pro nosnou konstrukci FV panelů . Foto EKROST s.r.o.

Samotnou realizaci vegetačního souvrství biosolární zelené střechy provádí firma specializovaná na realizaci zelených střech. Realizace probíhá v technické i časové koordinaci se solárními specialisty dle projektu biosolární střechy odsouhlaseného všemi stranami. Vegetační souvrství jako celek slouží rostlinám k růstu a je tedy nezbytné, aby bylo realizováno firmou, která se v problematice rostlin a jejich nároků dobře orientuje. Toto rozdělení odpovědnosti je rovněž potřeba vzhledem ke skladbě vegetačního souvrství biosolární střechy,

kdy nosiče jsou často integrovány do vegetačního souvrství.

Pro zajištění hladkého průběhu realizace biosolární střechy je optimální rozdělit odpovědnost mezi jednotlivé dodavatele následujícím způsobem:

1. Stavební/izolační firma dokončí hydroizolaci střechy, včetně pečlivého opracování všech detailů.
2. Zkouška těsnosti hydroizolace je provedena ideálně ve spolupráci s nezávislou specializovanou firmou. Případné nedostatky jsou identifikovány a opraveny, aby byla zajištěna dokonalá těsnost střechy.

Panely jsou namontovány na hliníkové konstrukci se sklonem 15°, která je přitížena hmotností vegetačního souvrství, aniž by bylo nutné provádět dodatečné kotvení do střešního pláště.

Nosiče jsou přitíženy tíhou vegetačního souvrství. Foto EKROST s.r.o.





Vzdálenost spodní hrany panelu a uzpůsobení nosné konstrukce solárních technologií musí být vždy v souladu se zvolenými rostlinami, aby nedošlo k nežádoucímu zastínění.



3. Firma specializovaná na realizaci zelených střech instaluje vegetační souvrství biosolární zelené střechy, včetně nosičů fotovoltaiky v případech, kdy jsou tyto nosiče integrovány do vegetační vrstvy a přitíženy substrátem.

Fotografie zachycují realizaci biosolární střechy o výměře 178 m². Realizace a foto EKROST s.r.o.

4. Dodavatel fotovoltaických (FV) nebo fototermických (FT) systémů provede osazení a připojení solárních panelů, dokončí elektroinstalaci a provede závěrečnou revizi systému.

Toto rozdělení odpovědnosti mezi odborníky zajišťuje kvalitu a efektivitu práce v každé fázi projektu a minimalizuje riziko problémů při realizaci a následném provozu biosolární střechy.

Vegetace roste mezi panely i pod panely. Zde byla použita směs 8 druhů řízků rozchodníků.



Realizace je třeba provádět s kvalitními materiály a bezpečně pro pracovníky i pro budovu. Asociace zelených střech a fasád (AZSF) při Svazu zakládání a údržby zeleně sdružuje kvalifikované realizační firmy, dodavatele materiálů a další odborné organizace profesně se zabývající zelenými střechami. Na stránkách www.azsf.cz je k dispozici databáze odborných členských firem, na které je možné se obrátit s poptávkou. AZSF je také garantem certifikačního programu „Certifikovaný realizátor zelených střech“, do nějž se mohou přihlásit realizační firmy a po složení zkoušek získat certifikaci. Nositelé certifikace prokazatelně disponují teoretickými znalostmi i praktickými zkušenostmi s realizacemi zelených střech.

7 ÚDRŽBA BIOSOLÁRNÍCH STŘECH

Fotovoltaické a solární tepelné systémy jsou nenáročné na údržbu. K odhalení případných problémů obvykle stačí každoroční kontrola, po bouřce nebo vichřici je vhodné systém a spodní konstrukci blíže ohledat. Mimo to je třeba dbát na dodržování předepsaných revizí zařízení. Z hlediska výkonu fotovoltaiky některé společnosti již nabízejí elektronické dálkové monitorování modulů a každých 4 až 5 let by měla být provedena podrobnější kontrola solárního systému specializovanou firmou. Pokud jsou panely špinavé (prach, pyl, ptáčí výkaly, ...), je třeba je očistit, jinak se snižuje jejich výkon. Je také třeba odstranit zbytky sněhu, aby systém mohl nadále vyrábět elektřinu. U modulů se sklonem 12 stupňů a více se nečistoty obvykle smyjí deštěm a sníh sklouzne. (RWA Berlin, 2024). Životnost panelů je 20–30 let. Také o vegetaci je třeba pečovat a udržovat ji. Po realizaci nastává fáze rozvojové péče, kdy je třeba rostliny zalévat, aby

zakořenily. Po skončení rozvojové péče musí být vegetace rovnoměrně uchycena v celé ploše bez větších výpadků. Následuje fáze následné péče (údržby), která se liší v závislosti na použitých rostlinách. Pro tuto fázi se doporučuje sjednávat servisní smlouvy s odborným dodavatelem. Biosolární střechy jsou většinou extenzivního typu, což znamená, že vyžadují minimální údržbu – obvykle 1–2krát ročně. Tato údržba zahrnuje odstranění nežádoucích náletových rostlin, sestřih vegetace a likvidaci posečené nebo ostříhané hmoty. K dalším základním úkonům patří kontrola funkčnosti odvodňovacích prvků, případné přihnojení a další nenáročná činnosti. Naopak intenzivní střechy, například střešní zahrady, které využívají solární panely jako zastřešení nebo jiné funkční prvky, vyžadují pravidelnou a častou péči. Náročnost údržby se odvíjí od požadavků jednotlivých druhů rostlin, které zde rostou.

Podrobné pokyny pro údržbu obou typů zelených střech lze najít ve *Standardech pro navrhování, provádění a údržbu zelených střech*.

Snadný přístup na střechu a dostatečný prostor mezi řadami solárních panelů hrají zásadní roli při zajištění efektivní a bezpečné údržby solárních technologií i vegetačního souvrství. Při návrhu rozložení panelů je proto nutné již od počátku zohlednit potřeby pravidelné údržby obou systémů. Dostatečné mezery mezi řadami panelů umožňují pohodlný a bezpečný pohyb pracovníků, čímž se minimalizuje riziko poškození panelů i vegetace (podrobněji viz kapitola Rozestupy mezi řadami panelů a orientace). Tímto způsobem lze zajistit dlouhodobou funkčnost a spolehlivost biosolární střechy.

Biosolární střechy jsou většinou extenzivního typu, což znamená, že vyžadují minimální údržbu, obvykle 1–2krát ročně.



8

SHRNUTÍ DOPORUČENÍ OD NÁVRHU, PŘES REALIZACI AŽ PO ÚDRŽBU

Už v počátečních fázích plánování biosolární střechy je klíčové zapojit všechny relevantní odborníky, jako jsou krajinářští a stavební architekti, realizátoři zelených střech, specialisté na solární technologie, výrobci systémů zelených střech, statikové a případně i památkáři. Tato interdisciplinární spolupráce je nezbytná pro sladění stavebních postupů a zajištění, že kombinace solárních panelů a zelené střechy bude funkční, udržitelná a dlouhodobě úspěšná.

Během samotné realizace projektu je stejně důležité, aby všechny zúčastněné strany efektivně spolupracovaly. Dobrá koordinace mezi odborníky minimalizuje riziko komplikací a zpoždění. Ideálním řešením je, když celkovou koordinaci plánování zajišťuje projekční kancelář, která propojuje jednotlivé disciplíny. U menších

STÁDIUM PROJEKTU	FAKTORY KE ZVÁŽENÍ
Architektura	Vizuální aspekt biosolární střechy Vhodnost řešení do dané lokality
Projekt	Stavebně-technické řešení: rozložení a volba systému, dostatečná únosnost i přetížení, kvalitní hydroizolace
Realizace	Před realizací provést zkoušku těsnosti hydroizolace Realizace odbornou, příp. certifikovanou firmou
Rozvojová péče	Závlaha po realizaci dle pokynů realizátora
Následná údržba	Pravidelná údržba, příp. servisní smlouvy

projektů mohou být prvním kontaktním místem specializované firmy zaměřené na realizaci zelených střech, které často dokážou zprostředkovat i další potřebné odborníky. Tato komplexní spolupráce zaručuje hladký průběh projektu a optimální výsledek jak z hlediska funkčnosti, tak estetiky.

Tabulka 4: Souhrn faktorů ke zvážení pro optimální výsledek na biosolární zelené střeše

Mezi řadami panelů **přilíší blízko** sebe je velmi obtížné provádět údržbu. Foto: Pavel Dostal



DODATEČNÁ INSTALACE FV SYSTÉMŮ ČI ZAKLÁDÁNÍ ZELENÉ STŘECHY

Dodatečná instalace solárních technologií na zelené střechy a fasády nebo naopak pozdější ozelenění střech a fasád se solárními panely představuje specifickou výzvu. Tyto dodatečné úpravy vyžadují pečlivé plánování a úzkou spolupráci odborníků z oblasti solární ener-

getiky a zelených střech. Obě technologie mají svá specifika a požadavky, které je nutné sladit tak, aby nedocházelo k negativnímu ovlivnění funkčnosti žádné z nich. Při realizaci je nutné zohlednit technické parametry střechy, jako jsou její nosnost, hydroizolace, skladba vrs-

tev, a také stanovištní podmínky, které mohou instalace solárních panelů nebo vegetace ovlivnit. Nesprávně provedené úpravy mohou vést k poškození vegetace, snížení výkonu solárních panelů nebo dokonce k nutnosti odstranění stávající střechy.

NÁSLEDNÁ INSTALACE FV SYSTÉMŮ NA ZELENOU STŘECHU

Pokud např. z finančních důvodů není možné realizovat zelenou střechu a fotovoltaiku současně, existuje možnost připravit se na pozdější instalaci solárních panelů již při zakládání zelené střechy. V takovém případě lze instalovat nosiče pro solární technologie integrované do vegetačního souvrství a jím přitížené. Tato řešení minimalizují riziko poškození stávající vegetace nebo jiných

vrstev střechy během následné instalace fotovoltaických modulů. Jestliže zelená střecha nebyla původně navržena s ohledem na budoucí instalaci solárních panelů, je nezbytné nejprve ověřit, zda střešní konstrukce unese dodatečné zatížení. Kromě nosnosti hraje roli i stávající skladba střechy, včetně dimenzování vegetačních vrstev, která ovlivňuje druhové složení vegetace a výšku

rostlin. Instalace solárních panelů může rovněž změnit stanovištní podmínky na střeše, například množství dostupné vlhkosti nebo intenzitu oslunění, což může vést ke změně podmínek pro vegetaci. Častou chybou je narušení rovnoměrného vodního režimu zelené střechy, pokud je solární zařízení instalováno bez dostatečných rozestupů, bez výškového odstupu od vegetace a bez přizpůsobení podkladních vrstev zelené střechy. V takových případech dochází k nadměrnému zvlhčení oblasti podél okrajů solárních modulů, což vede ke změnám ve složení vegetace. Rostliny přímo pod solárními panely trpí nedostatkem vody a vysychají, zatímco rostliny pod spodní hranou solárního panelu mají k dispozici více vláhy a dorůstají tak větší výšky. To vede k zastínění panelu, poklesu účinnosti a může vést i k poškození solární technologie viz foto vlevo.



Nefunkční dodatečná instalace fotovoltaiky přes zelenou střechu. Nižší pořizovací náklady jsou vykoupeny vysokými náklady na údržbu a nízkým nebo nulovým výkonem fotovoltaiky.
Foto: Dusty Gedge

U stávající zelené střechy s nepřipraveným a nevhodným podkladem je třeba instalaci solární technologie vždy plánovat s opatrností a za účasti odborníků z obou oborů. Pokud je nutné umístit solární zařízení s odstupem menším než 20 cm od povrchu substrátu, nebo dokonce přímo na něj, může být nezbytné částečné či úplné odstranění zelené střechy. To však může odporovat městským předpisům, stavebnímu povolení nebo dotačním pravidlům. Vhodnější alternativou je přestavba části nebo celé zelené střechy a přizpůsobení podkladních vrstev, aby byl zachován odstup spodní hrany panelů min. 20 cm od povrchu substrátu.

Takový postup zachovává plnou funkčnost zelené střechy a využívá nosičů přitížených skladbou zelené střechy. Je možné také využít alternativní systémy pro dodatečnou instalaci FV na existující zelené střechy s nízkými bifaciálními panely kolmo orientovanými k povrchu. I zde je však třeba mít na paměti riziko zastínění.

Možnost a provedení dodatečné instalace solárních technologií na zelené střeše závisí na specifikách daného objektu. Klíčovým faktorem je stav hydroizolace střechy – její zbytková životnost by měla být alespoň 15 let, protože opravy hydroizolace na již osazené střeše jsou

náročné a nákladné. Dalším důležitým aspektem je statika budovy, která musí unést dodatečné zatížení způsobené instalací solárních panelů.

Při návrhu je nutné zajistit dostatečné vzdálenosti mezi panely, aby nedocházelo k negativnímu ovlivnění vegetace ani funkčnosti systému. Důležité je také zachovat plnou přístupnost a funkčnost odvodňovacích prvků.

Z hlediska bezpečnosti musí být respektován zachytňový systém střechy a vedení hromosvodu. Pokud stávající uspořádání hromosvodu není kompatibilní s instalací solárních technologií, může být nezbytné jeho přizpůsobení.

NÁSLEDNÁ REALIZACE ZELENÉ STŘECHY NA STŘECHU S FV

Při zvažování následné instalace zelené střechy na střechu s fotovoltaikou je třeba věnovat pozornost několika klíčovým aspektům. Prvním z klíčových faktorů je hydroizolace střechy, která musí být v dobrém stavu, zejména pokud jde o její odolnost vůči UV záření. U často používaných PVC fólií hrozí zvýšená degradace působením slunečního záření, což může vést k jejich oslabení a tím i k pronikání vody do konstrukce mikroskopickými netěsnostmi. Zároveň je nezbytné, aby hydroizolační vrstva byla odolná proti prorůstání kořenů, což zamezí riziku poškození hydroizolace rostlinami.

Druhým podstatným aspektem je statika budovy. Střešní konstrukce musí mít dostatečnou rezervu pro stálé zatížení, které zelená střecha přináší. Před realizací je proto nutné prověřit, zda konstrukce takové zatížení unese a případně provést statické posouzení. Kromě statiky a hydroizolace je třeba zajistit, aby byly splněny další stavebně-technické požadavky (viz *Standardy pro navrhování, provádění a údržbu zelených střech*) a postupuje se obdobně jako při zakládání nové zelené střechy.

Při dodatečné realizaci zelené střechy na střeše se solárními panely je klíčové dodržet minimální odstupové vzdálenosti mezi

vegetací a solárními panely. Vegetace by neměla mít možnost panely zastínit, protože by to vedlo k poklesu výkonu elektrárny. Jednou z možných variant jsou modulární systémy zelených střech, které využívají předpěstovanou vegetaci v plastových kazetách, za předpokladu, že splňují požadavky na navrhování, provádění a údržbu dle standardů pro zelené střechy.

Takto je možné dodatečně realizovat zelenou střechu na střechu s fotovoltaikou. Fotovoltaika a zelená střecha leží vedle sebe a jsou oddělené perforovanou kačírkovou lištou a pásem kačírku.
Foto: Pavel Dostal



10

ZÁVĚR

Příručka „Biosolární zelené střechy“ si klade za cíl nabídnout komplexní pohled na jeden z inovativních přístupů k řešení klimatických výzev a udržitelného urbanismu. Její struktura čtenářům umožňuje snadnou orientaci v tématu, od základních pojmů zelených střech a solárních technologií až po detailní doporučení pro jejich praktickou kombinaci. Tento materiál vychází z aktuálních poznatků, příkladů dobré praxe i reálných zkušeností z realizací v českém prostředí a v zahraničí.

Biosolární střechy v příručce nejsou prezentovány pouze jako technický či ekologický prvek. Jsou vnímány jako klíčová součást moderní městské infrastruktury, která propojuje estetiku, biodiverzitu, energetickou efektivitu a odpovědnost vůči budoucím generacím. V textu naleznou čtenáři podrobné informace o různých typech zelených střech, mož-

nostech jejich kombinace se solárními technologiemi a benefitech, které tato symbióza přináší.

Jedním z hlavních přínosů této příručky je její praktický přístup. Nabízí konkrétní doporučení pro návrh, realizaci i údržbu biosolárních střech. Čtenáři zde mohou najít odpovědi na otázky týkající se výběru vegetace, optimálního rozložení panelů, řešení konstrukčních detailů či efektivního využití vody na střeše. Důraz je kladen na proveditelnost návrhů, které mohou být aplikovány na různé typy budov a městských prostředí, od novostaveb po rekonstrukce stávajících objektů.

Důležitou součástí příručky je také přehled o širších dopadech biosolárních střech, včetně jejich ekonomických a ekologických výhod. Tyto střechy představují řešení, které jde nad rámec jednotlivých budov a ovlivňuje celé městské

prostředí. Pomáhají snižovat energetickou náročnost, zlepšovat kvalitu života ve městech a přispívat k naplňování globálních cílů udržitelnosti.

Příručka byla napsána nejen jako zdroj informací, ale také jako nástroj pro inspiraci. Věříme, že poskytne podporu odborníkům i laikům při rozhodování o využití biosolárních střech a pomůže rozšířit povědomí o jejich přínosech. Klíčovým poselstvím této publikace je, že i drobné kroky, jako je zakládání zelených střech a instalace solárních technologií, mohou mít významný dopad na naši planetu i společnost.

Doufáme, že příručka bude sloužit jako průvodce pro všechny, kdo hledají praktická, inovativní a udržitelná řešení pro své projekty, protože biosolární střechy představují příležitost, jak efektivně využít střešní prostor a přispět k harmonickému spojení technologie s přírodou.



SEZNAM LITERATURY

- ABUSEIF, Majed a GOU, Zhonghua. A Review of Roofing Methods: Construction Features, Heat Reduction, Payback Period and Climatic Responsiveness. Online. *Energies*. 2018, roč. 11, č. 11. ISSN 1996-1073.
- Biosolar green roofs – combining solar panels and green roofs*. Online. In: Livingroofs.org. 2002.
- BURIAN a kol. (2019). Vegetační souvrství zelených střech: Standardy pro navrhování, provádění a údržbu. Sekce zelené střechy při Svazu zakládání a údržby zeleně, 2019
- BUSKER, Tim; DE MOEL, Hans; HAER, Toon; SCHMEITS, Maurice; VAN DEN HURK, Bart et al. Blue-green roofs with forecast-based operation to reduce the impact of weather extremes. Online. *Journal of Environmental Management*. 2022, roč. 301. ISSN 03014797.
- CATALANO, Chiara; BAUMANN, Nathalie. Biosolar roofs: a symbiosis between biodiverse green roofs and renewable energy. *CityGreen*, 2017, 2017:15: 42-49.
- DOSTAL, P., MACHAČ, J., Dubová, L., LOUDA J. Způsoby systémové podpory výstavby zelených střech. Brno: Odborná sekce Zelené střechy při Svazu zakládání a údržby zeleně.
- DOSTALOVÁ, Jitka et al. 2021. *Zelené střechy: souhra architektury s přírodou*. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-1326-2.
- Evropská komise, 2024. *Směrnice evropského parlamentu a rady o energetické náročnosti budov* (přepřacované znění), Brusel: Evropská komise.
- FLECK, R.; GILL, R.; PETTIT, T.J.; TORPY, F.R. a IRGA, P.J. Bio-solar green roofs increase solar energy output: The sunny side of integrating sustainable technologies. Online. *Building and Environment*. 2022, roč. 226. ISSN 03601323.
- JAMEI, E.; CHAU, H.W.; SEYEDMAHMOUDIAN, M.; MEKHILEF, Saad a HAFEZ, Fatma S. Green roof and energy – role of climate and design elements in hot and temperate climates. Online. *Heliyon*. 2023, roč. 9, č. 5. ISSN 24058440.
- MĚSTO VÍDEŇ, 2022. *Solar Energy Handbook – Guidance on Combining Solar Technology with Green Roofs & Vertical Greening Systems*, Vídeň: Municipal Department 20 – Energy Planning.
- MACHÁČ, Jan; HEKRL, Marek; MLEJNEK, Jakub. 2024. Zelené střechy jako účinná řešení pro města. *Inspirace*. 20(1/2024), 24_25. ISSN 2464-5893.
- MIHALAKAKOU, Giouli; SOULIOTIS, Manolis; PAPADAKI, Maria; MENOUNOU, Penelope; DIMOPOULOS, Panayotis et al. Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023, roč. 180. ISSN 13640321.
- MUNDO-HERNÁNDEZ, Julia; DE CELIS ALONSO, Benito; HERNÁNDEZ-ÁLVAREZ, Julia a DE CELIS-CARRILLO, Benito. An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014, roč. 31, s. 639-649. ISSN 13640321.
- NAGASE, Ayako a DUNNETT, Nigel. Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. Online. *Landscape and Urban Planning*. 2012, roč. 104, č. 3-4, s. 356-363. ISSN 01692046.
- POURASL, Hamed H.; BARENJI, Reza Vatankeh a KHOJASTEHNEZHAD, Vahid M. Solar energy status in the world: A comprehensive review. Online. *Energy Reports*. 2023, roč. 10, s. 3474-3493. ISSN 23524847.
- SAMPAIO, Priscila Gonçalves Vasconcelos a GONZÁLEZ, Mario Orestes Aguirre. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, roč. 74, s. 590-601. ISSN 13640321.
- SCHINDLER, Bracha Y.; BLANK, Lior; LEVY, Shay; KADAS, Gyongyver; PEARLMUTTER, David et al. Integration of photovoltaic panels and green roofs: review and predictions of effects on electricity production and plant communities. Online. *Israel Journal of Ecology and Evolution*. 2016, roč. 62, č. 1-2, s. 68-73. ISSN 1565-9801. SHAFIQUE, Muhammad; LUO, Xiaowei a ZUO, Jian. Photovoltaic-green roofs: A review of benefits, limitations, and trends. Online. *Solar Energy*. 2020, roč. 202, s. 485-497. ISSN 0038092X.
- VINAYAGAMOORTHY, R.; BHARGAV, P. Balaji; AHMED, Nafis; BALAJI, C.; ARAVINTH, K. et al. Recycling of end of life photovoltaic solar panels and recovery of valuable components: A comprehensive review and experimental validation. Online. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2024, roč. 12, č. 1. ISSN 22133437.
- WANG, WanTing; YANG, Hongxing a XIANG, ChangYing. Green roofs and facades with integrated photovoltaic system for zero energy eco-friendly building – A review. Online. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2023, roč. 60. ISSN 22131388.
- BERG, Agnieszka Boas; HURAJOVÁ, Erika; ČERNÝ, Martin a WINKLER, Jan. Anthropogenic ecosystem of green roofs from the perspective of rainwater management. Online. *Acta Scientiarum Polonorum – Architectura Budownictwo*. 2022, roč. 21, č. 1. ISSN 2544-1760.
- AIRPORT SCHIPHOL, AMSTERDAM. Online. ZinCo Green Roof Systems.
- Cambridge University, Department of Civil Engineering BauderBLUE STORMcell with BauderSOLAR G Light. Online. Bauder.cz.
- Kolik elektřiny vyrobí vaše FVE? Roli hraje nejen lokalita, sklon či orientace panelů. Online. Silektró. cz. Dostupné z: <https://www.silektró.cz/kolik-elektřiny-vyrobí-váše-fve-rolí-hraje-nejen-lokalita-sklon-ci-orientace-panelu/>.
- MANN, Gunter a MOLLENHAUER, Felix. *BuGG-Fachinformation „Solar-Gründach“ Basisinformationen, Planungshinweise, Praxisbeispiele*. Online. 2020.
- MUNICH TECHNOLOGY CENTRE, MUNICH. Online. ZinCo Green Roof Systems.
- The biggest and best biosolar roofs from around the globe. Online. Pritchard & Pritchard. 2014.





PRA HA
PRA GUE
PRA GA
PRA G