VLIV VEGETAČNÍ STŘECHY A KLASICKÉ PLOCHÉ STŘECHY NA TEPELNOU STABILITU OBJEKTU

THE EFFECT OF A GREEN ROOF VS. A CONVENTIONAL FLAT ROOF ON THERMAL STABILITY OF A BUILDING

Josef Polášek^{*,1}, David Průša¹, Stanislav Šťastník¹, Karel Šuhajda¹

* 146320@vutbr.cz

¹Fakulta stavební VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno

Abstrakt

Předložená práce se zabývá posouzením vlivu vegetační střechy na průběh teplot v jednotlivých místnostech dřevěné budovy tzv. dynamickou metodou numerického modelování, která je založena na principu nestacionární diferenční Schmidty metody. Jako okrajové podmínky potřebné pro výpočet byly využity klimatické údaje z meteorologické stanice na letišti Brno Tuřany.

Klíčová slova

Vegetační střecha, tepelná stabilita, vnitřní mikroklima, dřevostavba

Abstract

The presented work deals with assessing the influence of a green roof on the temperature course in individual rooms of a timber structure by the so-called dynamic numerical modelling method, which is based on the principle of non-stationary differential Schmidt method. Climatic data from the meteorological station at Brno Tuřany airport were used as boundary conditions for the calculation.

Key words

Green roof, thermal stability, indoor microclimate, timber structure

1 ÚVOD

Vegetační střecha, nebo také zelená střecha, je částečně až zcela pokrytá vegetací a půdou či pěstebním substrátem, které se pokládají nad hydroizolační vrstvu [1]. Mimo to, že se jedná o moderní architektonický prvek, spočívá hlavní výhoda takové střechy v tom, že vegetační prvky prodlužují životnost hydroizolace, kterou chrání před extrémními teplotami a klimatickými změnami, navíc dochází také k produkci kyslíku a zadržování nejen oxidu uhličitého, ale i různých škodlivých látek. Vegetace také filtruje prachové částice a zamezuje jejich víření. Nesporným pozitivem vegetačních střeš je jejich hydroakumulační vlastnost, čímž napomáhají k zadržování srážkových vod. Tato konkrétní vlastnost má pozitivní vliv i na okolní prostředí a při větších plochách napomáhá v letních měsících snižovat teploty interiéru i exteriéru. Zároveň střecha slouží jako zvuková a tepelná izolace, přičemž dokáže, oproti klasické ploché střeše, lépe korigovat teplotní výkyvy letních i zimních období. Tento typ střechy má bezpochyby také své estetické a ekologické klady, stává se domovem pro mnoho druhů hmyzu, ptactvo atd. Pro majitele je i skvělým relaxačním místem uprostřed města, navíc není výjimkou, že na ní lze pěstovat ovoce či zeleninu.

Mezi nevýhody se řadí potřeba kvalitně provedené hydroizolace, bez které by vlhkost mohla difundovat do střešního souvrství a dále do interiéru; navíc je nutné volit hydroizolaci s odolností proti prorůstání kořínků. Nosná konstrukce musí být dostatečně pevná, aby unesla přidanou hmotnost vegetační střechy, a jistá omezení se projevují i v nutnosti aplikace pouze do povoleného sklonu; bez přidaných stabilizačních konstrukcí ji lze instalovat pouze na ploché nebo mírně skloněné střechy. Z hlediska finančních nákladů se pak musí brát v úvahu zvýšené náklady na instalaci zelené střechy, které mohou dosahovat až dvojnásobné úrovně vůči nákladům na instalaci klasické střechy. Vegetační střechy jsou náročnější na údržbu, protože je třeba alespoň jednou do roka odstranit nežádoucí rostliny [2].

2 SKLADBA VEGETAČNÍ STŘECHY

Zelené střechy se zpravidla dělí na dva druhy, extenzivní a intenzivní. Takto to uvádí i norma ČSN 73 1901. V současné době je zejména ve větších městech trend pomocí vegetačních střech zlepšovat životní prostředí. Nejčastěji jsou navrhovány v administrativních, obchodních a zábavních centrech [3].

Souvrství vegetační střechy se dá v zásadě rozdělit na dvě základní části: vegetační část a nosný plášť. Tento článek se zabývá pouze částí vegetační neboli také pěstební. Ta se dělí na níže uvedené vrstvy:

- vegetační vrstva – vhodně zvolené rostliny,
- mulčovací vrstva – mulčovací kůra, štěpka, kamenná drť aj.,
- substrát zeminy,
- hydroakumulační vrstva (vrstva zadržující vodu) – například rašelina, hydrofilní desky, role z minerálních vláken nebo nehydrofobizovaná křemičitá vata,
- filtrační/separační vrstva – skelné rohože, sklotextilie, geotextilie, kamenivo či kamenná drť aj.,
- drenážní vrstva – nopové fólie, kamenná drť, strukturované rohože z plastu nebo pryže aj.

Výše uvedené pořadí vrstev má pouze orientační charakter; některé vrstvy mohou plnit více funkcí a jiné mohou být úplně vynechány, pořadí se může lišit. Stále ještě převládá názor, že na hydroizolaci musí být položena vrstva odolná vůči prorůstání kořenů rostlin. Ta se dnes však používá zcela výjimečně (v takovém případě se většinou jedná o speciální polyethylenovou fólii), a to při rekonstrukcích, kde se pokládá na původní vodotěsnou izolaci z asfaltových pásů. Jako hydroizolace zelených střech se dnes zpravidla používají asfaltové pásy, které jsou modifikované aditivami zabráňujícími prorůstání, nebo hydroizolační membrány, přičemž oba typy hydroizolace jsou již proti prorůstání kořenů rostlin testované [3].

Obr.1 Obecná skladba střešního pláště zelené střechy [3]. Popis vrstev: 1. vegetace, 2. substrát, 3. filtrační vrstva (geotextilie, kamenivo...), 4. drenážní a hydroakumulační vrstva (nopová fólie), 5. ochranná vrstva hydroizolace (textilie), 6. hydroizolace (splňující FLL test proti prorůstání), 7. tepelná izolace, 8. parozábrana, 9. nosná střešní konstrukce.

Extenzivní zelené střechy

U extenzivních zelených střech se pro plošné ozelenění využívají kombinace rostlin, které se vyskytují i na přirozených stanovištích. Vegetace se udržuje samovolně, a i na malé vrstvě substrátu vytváří trvalý a zapojený rostlinný porost. Výhodou extenzivního ozelenění je, že ho lze zakládat i na střechách s poměrně nízkou únosností. Potřebná tloušťka substrátu je velmi malá (50 až 150 mm), takže dochází k minimálnímu přitížení střešní nosné konstrukce. Na druhou stranu výběr rostlin pro extenzivní zazelenění je poměrně náročný. Musí to být rostliny, které se příliš nerozrostou a které nepotřebují žádnou péči, protože vodou a živinami jsou zásobovány pouze přirozenými procesy. Doporučuje se například pažitka, ostřice nízká, košťava nebo rozchodníky [4].

Intenzivní zelené střechy

Intenzivní zelení střechy se vyznačují tím, že vrstva substrátu je vyšší (pohybuje se v rozmezí 300 až 1000 mm), a proto je třeba únosnost střechy větší než $3 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$. Systém dokáže dobře zadržovat dešťovou vodu, což má význam při zavlažování v suchém období. I tak je ale nutné počítat s umělým zásobováním vodou a živinami. Díky vyšší vrstvě substrátu se zde mohou pěstovat i náročnější rostliny jako růže, nízké křovinaté rostliny a při odpovídajícím zvýšení vegetační vrstvy i střední a vyšší keře. Výška porostu může dosahovat až 250 cm. Intenzivní

zelená střecha většinou slouží i jako odpočinková zóna a předpokládá se tam pracovní nebo rekreační pohyb osob. Hodí se tak jako rozšíření užitého prostoru [4].

Obr. 2 Skladebné uspořádání vrstev střešního pláště u klasické ploché střechy.

Obr. 3 Skladebné uspořádání vrstev střešního pláště u intenzivní vegetační střechy.

3 POPIS VYBRANÉ MODELOVANÉ BUDOVY

Řešená stavba je dřevostavba rodinného domu o jednom nadzemním podlaží bez podsklepení. Obvodové konstrukce jsou zatepleny externím zateplovacím systémem s izolantem z minerální vlny o tloušťce 150 mm. V případě klasické ploché střechy je tepelná izolace střešní konstrukce z minerální vlny o tloušťce 150 mm a v případě intenzivní vegetační střechy je z EPS o stejné tloušťce. Přesnější skladby střešních konstrukcí jsou uvedeny výše.

Objekt je obdélníkového tvaru s půdorysnými rozměry 11×14 m. Světla výška místností je 2,6 m. Celkový obestavěný prostor činí přibližně 660 m^3 .

Obr. 4 Tvarové řešení objektu.

4 NESTACIONÁRNÍ VÝPOČET PRŮBĚHU TEPLOT VE STĚNÁCH

Průběh teplot lze stanovit pomocí softwaru *Stabil*, jak popsal S. Šťastník [5]. Výsledky výpočtů rozdělení teplotního pole se od skutečného stavu za reálných podmínek moc neliší, jelikož okrajové podmínky, které vstupují do výpočtu, jsou stejně proměnné jako ty ve skutečnosti. Za pomoci softwaru *Stabil* byl naprogramován výpočet průběhu teplot s časově proměnnými exteriérovými okrajovými podmínkami. V simulačním programu jsou zohledněny podmínky šíření tepla v celém stavebním objektu podle principu tepelného systému a je také zohledněn pohyb slunce po obloze. Jak je zmíněno výše, hodnoty exteriérových teplot byly poskytnuty meteorologickou stanicí z letiště Brno Tuřany. Data odpovídají jednomu referenčnímu klimatickému roku.

Pro potřeby této práce byla namodelována budova o jednom nadzemním podlaží a sedmi místnostech. V prvním výpočtu se uvažovala skladba ploché střechy z klasickým pořadím vrstev a do druhého výpočtu byla započítána i zemina, a to o mocnosti vrstvy 100 mm [5].

Software *Stabil* dále operuje s geometrií objektu tedy i se slunečním ozářením objektu, materiálovými vlastnostmi skladeb a teplotami vzduchu v okolí objektu.

Vztahy pro výpočet vazebného tepelného toku

Vazebným prvkem mezi jednotlivými místnostmi je tepelný tok, tedy vazebný tepelný tok. Při šíření tepla mezi místnostmi v budovu jej lze rozšířit na tyto složky:

- 1) přestup tepla mezi okolním vzduchem a povrchem stěny:

$$\dot{q}^{ij}(\tau) = h_s^{ij} \cdot S^{ij} \cdot (t_a^i(\tau) - t_s^{ij}(0, \tau))$$

- 2) šíření tepla stěnou. Jedná se o Fourierovu rovnici vedení tepla pro jednorozměrný případ:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad \tau \geq 0 \wedge 0 \leq x \leq d$$

Počáteční okrajové podmínky:

- počáteční teplota $(x, 0) = t_0 = \text{const}$

- okrajové $t(0, \tau) = q_s^i(\tau)$, resp. $t(d, \tau) = q_s^j(\tau)$

- 3) šíření mezi okolním vzduchem a povrchem stěny:

$$\dot{q}^{je}(\tau) = h_s^{ej} \cdot S^{je} \cdot (t_s^{je}(d, \tau) - t_e(\tau))$$

- 4) toky ventilačního vzduchu a spárové netěsnosti v místnosti:

$$\dot{q}_v^i(\tau) = V^i \cdot c_{air} \cdot (t_a^i(\tau) - t_e(\tau))$$

- 5) tepelná radiace mezi vnitřními povrchy v místnosti:

$$\dot{q}_r^i(\tau) = S^i \cdot c_b \cdot A \cdot \left[\left(\frac{T_s^{ij}(\tau)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s^{ik}(\tau)}{100} \right)^4 \right]$$

Průběh teplot vzduchu v místnostech se střechou s klasickým pořadím vrstev

Maximální vypočtená teplota vzduchu v místnosti byla 30,1 °C a minimální teplota byla vypočtena na 5,1 °C. Podrobnější průběh teplot je znázorněn níže v Obr. 6. Přičemž je jako teplota 1 označena vypočtená teplota v místnosti 101, teplota 2 označena vypočtená teplota v místnosti 102 atd.

Obr. 5 Průběh teplot v klasické ploché střeše.

Průběh teplot vzduchu v místnostech s intenzivní vegetační střechou

Maximální vypočtená teplota byla 28,4 °C a minimální teplota byla vypočtena na 5,1 °C. Podrobnější průběh teplot je znázorněn níže v Obr. 6.

Obr. 6 Průběh teplot v ploché vegetační střeše se 100 mm zeminy.

5 ZÁVĚR

Cílem tohoto příspěvku je poukázat na pozitivní vliv konstrukce vegetační střechy na teplotní průběh v místnostech, čímž se přispívá k zajištění potřebné tepelné pohody. K této skutečnosti dochází díky značné tepelné jímavosti zeminy a zde se ji podařilo výpočtově prokázat. Vypočtené hodnoty se ovšem mohou od reality trochu lišit, neboť teplotu na povrchu konstrukce ovlivní i volba vysazené zeleně, způsob zavlažování, míra zhuštění zeminy aj. V reálné situaci pohltí velké množství tepla i listy zeleně, to však ve výpočtu nešlo zohlednit.

Lze ale očekávat, že skutečné teploty by byly výrazně příznivější oproti výpočtové simulaci.

nestacionárně s využitím denního chodu reálných okrajových venkovních teplot. Použitím stacionárních nebo kvazistacionárních okrajových venkovních teplot, které se obvykle využívají pro stanovení energetické náročnosti budov, nelze uvedený účinek zachytit.

Náročný simulační výpočet, v němž se uplatní materiálové vlastnosti prvků skladby konstrukce (zejména součinitel tepelné vodivosti, objemová hmotnost a tepelná kapacita), však poskytuje reálnější obraz o teplotních pochodech probíhajících v celém stavebního objektu jakožto tepelném systému.

Zatímco u střechy s klasickým pořadím vrstev byla maximální teplota v letním období vypočtena jako hodnota 30,1 °C, u střechy vegetační to je (za předpokladu stejného typu budovy, zachování geometrie atd.) 28,4 °C. Tyto hodnoty teplot byly vypočteny pro místnost č. 107, obývací pokoj. Došlo zde tedy ke snížení teploty o 1,7 K. Minimální teplota byla vypočtena v obou případech stejná, a to 5,1 °C pro místnost č. 102, zádveří.

Jak již bylo zmíněno, vliv vegetační střechy bude v reálných podmínkách příznivější díky působení vegetace na povrchu vegetační střechy. Pro své mnohé klady mají zelené střechy v zemích s drsnějšími klimatickými podmínkami už dlouhou tradici [6].

Pro realizaci vegetační střechy je třeba stavební projekt a statický posudek objektu. Při malém sklonu střechy, tedy sklonu pod 5°, se doporučuje instalovat navíc systém vnitřního odvodnění střechy. Při sklonu vyšším než 30° se vegetační střecha nedoporučuje.

Vegetační střecha má příznivé tepelně izolační vlastnosti, umožňuje pěstování rostlin na ploše, kde to jinak není možné, a přitom zlepšuje mikroklima místností. Zelená střecha tedy za letních veder udržuje příjemnější klima v objektu, chrání dům před klimatickými vlivy, tepelnými úniky a přehříváním a rozšiřuje plochu zeleně na parcele. Voda, která se odpařuje, navíc ochlazuje střešní konstrukci, což v interiéru vytváří spolu s pomalejším prostupem tepla významně chladnější prostředí. Nejde tedy jen o zamezení přehřívání.

Z uvedených vypočtených hodnot můžeme vyvodit, že vliv vegetační střechy na tepelnou stabilitu se dá očekávat pouze v letních měsících, zatímco v zimních měsících energie potřebná na vytápění pro udržení minimální požadované teploty není významně ovlivněna.

Poděkování

Tento výzkum byl projektem specifického výzkumu Vysokého učení technického v Brně NO. FAST-J-21-7471.

Použité zdroje

- [1] ČERMÁKOVÁ, Barbora a Radka MUŽÍKOVÁ. Ozeleněné střechy. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-1802-6.
- [2] Plusy a mínusy zelené střechy pokryté živou vegetací. Bydlímeútulně.cz [online]. JJV Group, 25. 2. 2020 [cit. 2021-06-10]. Dostupné z: <https://bydlimeutulne.cz/plusy-a-minusy-zelene-strechy-pokryte-zivou-vegetaci/>.
- [3] Teorie zelených střech. Gazda: projekční a inženýrská činnost [online]. 3. 9. 2011 [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: [www:http://gazda.webpark.cz/gr/theory.htm](http://gazda.webpark.cz/gr/theory.htm).
- [4] Extenzivní a intenzivní ozelenění střech. Liapor [online]. Vintířov: Lias Vintířov [cit. 2021-06-10]. Dostupné z: <https://www.liapor.cz/produkty/kamenivo/liadrain/aplikace/ozeleneni-strech>.
- [5] PRŮŠA, David, Stanislav ŠTASTNÍK, Karel ŠUHAJDA a Tomáš ŽAJDLÍK. Numerické řešení vlivu vegetační vrstvy na teplotu v jednotlivých vrstvách vegetační ploché střechy. TZB-info [online]. Topinfo, 2021, 29. 3. 2021 [cit. 2021-06-10]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/22048-numericke-reseni-vlivu-vegetacni-vrstvy-na-teplotu-v-jednotlivych-vrstvach-vegetacni-ploche-strechy>.
- [6] MINKE, Gernot. Dächer begrünen: Planung, Ausführung, Praxistipps. Staufen bei Freiburg: Ökobuch, 2016. ISBN 978-3-936896-89-3.