



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

VLIV VEGETAČNÍ STŘECHY NA TEPELNOU STABILITU V OBJEKTU

THE EFFECTS OF VEGETATIVE ROOFS ONTO THE THERMAL STABILITY OF A
BUILDING OBJECT

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

SHORT VERSION OF DISSERTATION

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Michal Majsniar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník,
CSc.

BRNO 2017

KLÍČOVÁ SLOVA

Vegetační střecha, tepelná stabilita, strojový program, teplota interiéru, klimatické podmínky, objekt.

KEY WORDS

Vegetation roof, thermal stability, machine programme, interior temperature, outer climatic conditions, building object.

MÍSTO ULOŽENÍ RUKOPISU DISERTAČNÍ PRÁCE

Rukopis disertační práce je uložen v archivu pedagogicko-vědeckého oddělení Fakulty stavební VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Obsah

1.	Úvod	3
2.	Současný stav problematiky	4
2.1	Pojem „tepelná pohoda“	5
2.2	Tepelná stabilita v zimním období	5
2.3	Tepelná stabilita v letním období	8
3.	Cíle disertační práce	10
4.	Charakteristika strojového programu	11
4.1	Popis modelu objektu	11
4.2	Přenos tepla v konstrukci	11
4.3	Formální popis vazebného tepelného toku v budově	12
5.	Doplnění simulačního modelu o vnitřní tepelné zdroje	15
5.1	Tepelné zisky od osob	15
5.2	Tepelné zisky od svítidel	15
6.	Experimentální dům	16
6.1	Výpočet v sestaveném strojovém programu	17
7.	Experimentální měření	19
7.1	Výsledky měření	20
7.2	Analýza shody vypočtených a naměřených hodnot	20
8.	Závěr práce	22
9.	Seznam použitých zdrojů	23
10.	Publikace autora	24
	Představení autora	25
	Abstract	27

1. ÚVOD

Předmětem mé disertační práce je studium vegetační střechy a jejího vlivu na tepelnou stabilitu objektu. Tepelná stabilita objektu má totiž velký vliv na dosažení stavu tepelné pohody a tak i míry spokojenosti člověka.

Zajištění požadavku tepelné pohody obytných prostor vyžaduje po delší část roku dodávku tepelné energie na vytápění. Stav tepelné pohody vnitřního prostředí se vymezuje vztahem teploty vzduchu a teploty okolních povrchů, ovlivňuje ji také rychlost proudění vzduchu. Souhrnný stav uvedených parametrů vystihuje tzv. operativní teplotu. Optimálního stavu tepelné pohody lze dosáhnout ve smyslu kombinace příznivé teploty vzduchu a teploty povrchů místnosti. Teplota obvodové konstrukce souvisí s rozdílem teploty vzduchu v exteriéru a v interiéru, tepelném odporu konstrukce, podmínkách proudění vzduchu a také na přenosu tepla sáláním. Zejména u méně izolovaných konstrukcí, především u domů starší zástavby, bývá povrchová teplota vnitřní strany obvodových stěn až o několik Kelvinů nižší než teplota vnitřního vzduchu. V takovém případě bude operativní teplota rovněž snížena, a to i o několik stupňů v závislosti na dispozici místnosti. Zároveň se může projevat nepříjemná asymetrie v tepelném sálání.

Z hlediska popisu zelených vegetačních střech jede o střechu částečně nebo zcela pokrytou vegetací s půdou nebo pěstebním substrátem vysazovaným nad hydroizolační membránu [1]. Střecha také může obsahovat i další skladebné vrstvy, jako například kořenovou bariérou, systém odvodnění a zavlažování. Ještě před časem se na zelené střechy pohlíželo s určitými pochybnostmi, i když jejich užívání je známé už po staletí. V posledních letech ovšem došlo k obratu a tyto střechy dnes nacházejí řadu aplikací. Jedná se jak o nejjednodušší formy zeleně, tak i o náročné zahrady, které lze uspořádat na střechách domů i ve velkoměstech. Investoři, kteří si přejí ve velkoměstech takovéto zahrady na střeše navrhout, většinou nevlastní venkovské obydlí a obvykle jim chybí relaxační možnost v přírodě. Zelené střechy, včetně dalších výhod, tuto možnost nahrazují. Jedná se ovšem o ploché zelené střechy, v dnešní době s vyspělými technologiemi lze navrhovat i šikmé zelené střechy, avšak jen do určitého sklonu.

Vegetační souvrství přináší řadu dalších výhod. Jak je známo, tak zeleň vytváří kyslík a spaluje oxid uhličitý díky procesu fotosyntézy. Dále napomáhá zlepšení estetického vzhledu objektu, navíc funguje jako přidaný tepelný izolant, také snižuje prašnost, to zejména ve velkoměstech, kde bývá obvykle spousta plochých a prašných střech.

Lze zaznamenat akademickou publikační činnost a také aktivitu některých zahraničních společností, které se zabývali studiem vegetační střechy. Na dnešním trhu o hodně vyšší poptávka po vegetační střeš než tomu bylo v dobách minulých. V některých státech už platí i to, že pokud ve městě zastavíte zelenou plochu, musíte tuto zelenou plochu vytvořit jinak. Zde se samozřejmě nabízí návrh vegetační střechy. Díky dnešní vyspělé době i technickým možnostem se začínají rozvíjet i zelené fasády.

Cílem práce je prokázání a vymezení vlivu vegetační střechy na tepelnou stabilitu objektu pomocí numerického simulačního nástroje, který byl verifikován s praktickým měřením v experimentální části práce.

2. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Již odedávna se snažil člověk vytvořit v interiérech budov takové prostředí (samozřejmě úměrně potřebám a úrovni znalostí v dané době), které se v technické terminologii nazývá vnitřní tepelná pohoda. Tento subjektivně příjemný stav nastává, pokud prostředí umožňuje udržení stálé teploty těla na úrovni blízké 35°C až 37°C, bez zvláštních nároků na termoregulaci. To znamená, že člověku nepocituje ani chladno ani příliš teplo – cítí se příjemně a spokojeně. Optimální teplota vzduchu v interiéru budovy závisí na vnitřní produkci tepla, na stáří i zdraví jedince, na jeho schopnosti aklimatizovat se na určité klimatické podmínky, na druhu oděvu a také na regionálních zvyklostech v jednotlivých zemích.

Ve druhé polovině 20. století se začaly používat jak výpočtové metody pro hodnocení vnitřní tepelné pohody, tak i dokonalejší technické prostředky pro zabezpečení příslušných interiérových parametrů.

V dnešní moderní době, tráví člověk nejvíce času právě ve vnitřním prostoru budov, proto musíme dbát na to, aby podmínky v těchto prostorách splňovali určité kritéria, která zabraňují negativním vlivům na lidské zdraví.

V letním období přicházejí na řadu známé problémy s přehříváním místností v prostorách pod střechou, kdy bez dalšího opatření, je dlouhodobý pobyt v těchto prostorách nepříjemný a obtěžující. Tento problém vzniká v letním období hlavně u domů s plochou a pultovou střechou, kde je na střeše použita asfaltová krytina tmavé barvy, případně doplněné střešními okny. V letním období v přehřátých místnostech pod střechou není možné teplo vyvětrat, takže pokud si obyvatelé těchto domů přejí v poklidu bydlet je nutné tuto situaci vhodným způsobem řešit. Problém nastává u pultových a plochých střech také v zimě, kdy teplo prostupuje stropem obráceně a ohřívá tak střešní konstrukci. Na střeše těchto domů odtává sníh, který odtéká k okraji okapu a na fasádu. Nejenže trpí krytina, která se musí následně často opravovat, ale zároveň se objevují i problémy s rampouchy, protože voda, která odtaje, následně u okapu zmrzne. Při použití zelené střechy, která dokážeme navrhnout na střechy se sklonem až cca 60° při použití vhodných stabilizačních zařízení, se přehřívání místností v letním období výrazně zmenšuje a v zimním období snižuje teplotní výkyvy ve střešním prostoru. V důsledku toho lze snížit náklady na vytápění. Posouzením tepelné stability v zimním a letním období lze prokázat, zda se místnost může v létě přehřívát nebo zda bude nutné v zimě více přitopit.

Kvalitu vnitřního prostředí (vnitřní tepelnou pohodu) lze hodnotit dvěma způsoby: subjektivně (na základě osobních pocitů) a objektivně (dle provedených měření či simulačních výpočtů). Stanovení hodnotících kritérií pro subjektivní vnímání tepelné pohody je obtížné a tyto nebudou nikdy vyhovovat všem osobám, pobývajícím v daném prostředí (vždy se najde jisté % osob nespokojených). Jedním z objektivních faktorů, které ovlivňují vnitřní tepelnou pohodu, je tepelná stabilita místnosti, která se hodnotí zvláště v zimním a zvláště v letním období [3].

2.1 Pojem „tepelná pohoda“

Jak již bylo zmíněno výše, abychom mohli posoudit vnitřní tepelné podmínky v budově, byla zavedena charakteristika „tepelná pohoda vnitřního prostředí“. Jedná se o veličinu, která se tepelnou pohodou zabývá, ale neumožňuje příliš kvantifikovat její výstupy. Jinými slovy, nelze přesně vymezit interval teplot, kdy pobývajících osoby pociťují příjemný či nepříjemný teplotní stav v místnosti. Veškeré výsledky jsou založeny na subjektivních pocitech a vyhodnocení se opírá o statistické vyhodnocení.

Tepelná pohoda je stav, kdy je dosaženo rovnováhy mezi tepelnou produkcí člověka a okolního prostředí. Vnímání stavu tepelné pohody je pro každého člověka velice individuální, proto se jedná o subjektivní pocit. Můžeme říci, že se jedná o míru pocitu, jak je daná osoba spokojena s vnitřním prostředím, ve kterém pobývá. Tepelná rovnováha je jedním z výchozích bodů pro zajištění tepelné pohody, ale ne vždy vyjadřuje její míru. Rovnice tepelné rovnováhy vyjadřuje tepelné toky, má tvar:

$$M - W_m = C + R_s + E_{res} + C_{res} \quad (1),$$

kde: M energetický výdej,

W_m mechanická práce,

C tepelný tok konvekcí,

R_s výdej tepla sáláním,

E_{res} výdej tepla odpařováním vody v plicích,

C_{res} teplo odevzdané ohříváním vdechovaného vzduchu.

Na levé straně je teplo produkované člověkem a na pravé straně teplo vydávané do prostředí.

Existuje mnoho dalších vlivů, které ovlivňují vnímání tepelné pohody či nepohody, jako například geografické vlivy, vlivy sociálně-kulturní, zvyky a očekávání. Závisí také na tepelných podmínkách, do kterých posuzovaná osoba adaptována.

Hranice tepelné pohody mohou být zjišťovány několika způsoby. Nejčastěji se jedná o dotazníkovou metodu, kdy testované osoby reagují na dotazy ohledně tepelných vlastností vzduchu v místnosti a zároveň jsou zaznamenávány parametry vzduchu. Dalším způsobem je měření fyziologických změn člověka (pocení, teplota a vlhkost pokožky). Tato pozorování se provádí v klimatických komorách.

2.2 Tepelná stabilita v zimním období

Kritérium tepelné stability místnosti v zimním období se zavedlo na základě požadavku, aby i v nejvíce ochlazované místnosti budovy, tzv. kritické místnosti, byl během otopné přestávky při přerušovaném vytápění (např. v noci) dodržen tepelný komfort, a zároveň aby na vnitřních površích jednotlivých konstrukcí nedocházelo k poruchám, třeba k povrchové kondenzaci vodních par (hygienické kritérium).

Tepelná stabilita místnosti v zimním období (její tepelná setrvačnost) se hodnotí poklesem výsledné teploty v místnosti $\Delta\theta_v(t)$ na konci doby chladnutí t . Doba chladnutí se obvykle uvažuje 8 h, pokud provozní podmínky nevyžadují hodnocení pro jinou dobu. Pro hodnocení se vybere kritická místnost, tedy místnost s největší tepelnou ztrátou. Obvykle to bývá rohová místnost pod střechou. Maximální pokles výsledné teploty v kritické místnosti $\Delta\theta_v(t)$ na konci doby chladnutí t musí být menší než požadovaná hodnota $\Delta\theta_{v,N}(t)$ [3].

Po zadání geometrických parametrů místnosti a stavebně fyzikálních vlastností konstrukcí se stanoví okrajové podmínky a kritéria pro posouzení. Pokud je budova vytápěna nepřetržitě, místnosti se z hlediska tepelné stability neposuzují (může se ale na přání investora jejich tepelná stabilita ověřit pro případ havárie otopné soustavy, aby nedošlo k poškození technologie vlivem nízké teploty apod.).

Pokud je vytápění přerušované, vypočte se pokles teploty v kritické místnosti pro zvolenou dobu chladnutí. Je-li kritérium splněno, provede se ještě energetické vyhodnocení, kterým se ověří, zda přerušovaný otopný režim je úspornější než režim nepřerušovaný (tj. zda spotřeba tepla na přerušované vytápění Q_p je menší než spotřeba tepla na nepřerušované vytápění Q_n) v opačném případě nemá smysl přerušované vytápění vůbec navrhovat [3].

V případě, že vypočtený pokles výsledné teploty v místnosti je větší než požadovaná hodnota, musí se navrhnout patřičné úpravy:

- snížení míry výměny vzduchu, ne však pod hygienicky nutné minimum,
- zmenšením plochy průsvitných výplňových konstrukcí však musí zůstat splněny požadavky na denní osvětlení,
- zvýšení hmotnosti akumulčního jádra,
- zvětšení tepelné jímavosti první vnitřní vrstvy konstrukce,
- zvýšení tepelného odporu konstrukce.

Podrobný výpočet vychází z energetické bilance vnitřního prostoru místnosti a výstupem je průběh výsledné teploty místnosti ve zvoleném časovém intervalu. Pro různé venkovní teploty lze určit přípustnou dobu otopné přestávky během roku. Výpočet je však rozsáhlý a bez patřičného programového vybavení dosti pracný [3].

1) Stanoví se množství tepla W akumulovaného v konstrukcích místnosti:

$$W = \sum_l^m A_m \cdot \sum_l^j (c_{m,j} \cdot \rho_{m,j} \cdot d_{m,j} \cdot \theta_{m,m,j}) \quad (2),$$

kde: $\sum_l^m A_m$ součet ploch vnitřních povrchů konstrukcí místnosti,

$c_{m,j}$ měrná tepelná kapacita j -té vrstvy a m -té konstrukce,

$\rho_{m,j}$ objemová hmotnost j -té vrstvy a m -té konstrukce,

$d_{m,j}$ tloušťka j -té vrstvy a m -té konstrukce,

$\theta_{m,m,j}$ střední teplota j -té vrstvy a m -té konstrukce na počátku chladnutí,

pro vnitřní konstrukce platí: $\theta_{m,m,j} = \theta_{ai}$ (3),

pro vnější konstrukce platí:

$$\theta_{m,m,j} = \theta_{ai} - U_m \cdot \left(R_{m,si} + \sum_l^j R_{m,j} \right) \cdot (\theta_{ai} - \theta_e) \quad (4),$$

nebo zjednodušeně (pro jednovrstvou konstrukci): $\theta_{m,m} = \theta_{ai} - \frac{\theta_{ai} - \theta_e}{2}$ (5),

kde: θ_{ai} teplota vnitřního vzduchu na počátku chladnutí,

U_m součinitel prostupu tepla m -té konstrukce,

$R_{m,si}$ odpor při přestupu tepla na vnitřní straně m -té konstrukce,

$\sum_l^j R_{m,j}$ součet tepelných odporů vnitřních vrstev m -té konstrukce až k její j -té vrstvě,

θ_e návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období.

Ve výpočtu množství akumulovaného tepla se uplatní zejména vrstvy s vysokou akumulací schopností. Vrstvy s nízkou akumulací schopností (např. výplňové konstrukce, tepelné izolace apod.) a vrstvy do tl. 20 mm (např. vnitřní omítky) se zanedbají.

2) Stanoví se teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai}(t)$ v době chladnutí t :

$$\theta_{ai}(t) = \theta_e + (\theta_{ai} - \theta_e) \cdot e^{-\frac{\phi_c \cdot t}{W}} \quad (6),$$

kde: ϕ_c celková tepelná ztráta místnosti.

3) Stanoví se výsledná teplota $\theta_v(t)$ v době chladnutí t :

$$\theta_v(t) = \theta_{ai}(t) + 650 \cdot V_{LV} \cdot \frac{\theta_{ai}(t) - \theta_e}{\sum (A_m \cdot h_{m,si})} \quad (7),$$

kde: $h_{m,si}$ součinitel přestupu tepla na vnitřní straně m -té konstrukce: $h_{m,si} = \frac{1}{R_{si}}$,

V_{LV} objemový tok vzduchu proudícího do místnosti při větrání: $V_{LV} = n_h \cdot \frac{V}{3600}$,

V objem vnitřního prostoru místnosti,

n_h intenzita výměny vzduchu v místnosti (pro obytné místnosti se obvykle uvažuje $n_h = 0,5 \text{ h}^{-1}$).

4) Stanoví se výsledný pokles teploty místnosti v zimním období $\Delta\theta_v(t)$ v době

$$\text{chladnutí } t: \Delta\theta_v(t) = \theta_i - \theta_v(t) \quad (8),$$

kde: θ_v výsledná teplota na počátku chladnutí (pro $t = 0$ odpovídá návrhové vnitřní teplotě θ_i dle ČSN 73 0540-2).

2.3 Tepelná stabilita v letním období

Vnitřní prostory se z hlediska tepelné stability v letním období hodnotí na základně podmínek neustáleného teplotního stavu, který je definován výpočtovými hodnotami:

- průmětné letní denní teploty vnějšího vzduchu,
- výsledné teplotní amplitudy vnějšího prostředí,
- amplitudy intenzity globálního slunečního záření,
- střední intenzitou slunečního záření,
- intenzitou výměny vzduchu v místnosti,
- tepelnými zisky z vnitřních zdrojů tepla,
- odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce.

V letním období se tepelná stabilita místnosti hodnotí pomocí nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti $\theta_{ai,max}$. Stejně jak u stability v zimním období, tak i zde pro stabilitu v letním období platí, že hodnocení provádíme pro kritickou místnost v budově, což je z hlediska letního období místnost s největší plochou přímo osluněných výplňových konstrukcí orientovaných na západ, jihozápad, jih, jihovýchod a východ. Pro posuzování tepelné stability v zimním a letním období tedy mohou být v budově různé kritické místnosti.

Kritická místnost musí splňovat hodnotu nejvyššího denního vzrůstu teploty vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max}$, dle vztahu: $\theta_{ai,max} \leq \theta_{ai,max,N}$ (9),

kde: $\theta_{ai,max,N}$ požadovaná hodnota nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti, stanovená z tabulky 3.

Budovy vybavené strojním chlazením musí splnit podmínku nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max} \leq 32^\circ\text{C}$, přičemž se do výpočtu pro tento účel nezahrnuje ani chladicí výkon klimatizace ani tepelné zisky od technologických zařízení a kancelářského vybavení. Nesplnění požadavku se připouští výjimečně, prokáže-li se, že jeho splnění není technicky možné nebo ekonomicky vhodné s ohledem na životnost budovy a její provoz [2].

Tab. 1. Přípustné nejvyšší denní teploty vzduchu [2].

Druhy budovy	Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max,N}$ [°C]
Nevýrobní ¹⁾	27,0
Ostatní s vnitřním zdrojem tepla do 25 W.m ⁻³ včetně	29,5
Ostatní s vnitřním zdrojem tepla nad 25 W.m ⁻³	31,5
<i>¹⁾ U obytných budov je možné připustit překročení požadované hodnoty nejvíce o 2°C na souvislou dobu nejvíce 2 hodin během normového dne, pokud s tím investor (stavebník, uživatel) souhlasí.</i>	

Pro zvýšení tepelné stability místnosti v letní období je možné aplikovat následující opatření:

- vhodný architektonický návrh objektu,
- zvýšení akumulační schopnosti jak obálkových, tak vnitřních konstrukcí,
- vhodná povrchová úprava obalových konstrukcí,
- vhodný návrh a skladba obalových konstrukcí,
- návrh odvětrávané vzduchové vrstvy,
- redukce zasklených ploch,
- užití stínících prvků,
- instalace klimatizačního zařízení.

3. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Ve smyslu studované problematiky byly vymezeny tři cíle disertační práce:

1) Sestavení dynamického tepelného modelu budovy

Sestavení simulačního dynamického tepelného systému budovy, který pracuje s nestacionárními klimatickými okrajovými podmínkami včetně výpočtu trajektorie pohybu slunce po obloze. Tento simulační nástroj nepočítává tepelnou stabilitu jen pro posuzovanou kritickou místnost, ale započítává celý posuzovaný objekt jako tepelný systém. Uvažuje s vazebnými tepelnými toky.

Pomocí výsledků výpočtové simulace tepelného modelu může být odvozena potřebná mocnost vegetačních střech pro určitý typ budovy.

2) Upřesnění dynamického tepelného modelu budovy, započtení vnitřních zdrojů tepla

Metodika započtení vnitřních zdrojů tepla je popsána v disertační práci v kapitole 9. Pomocí této metodiky bude tepelný model upřesněn o vliv vnitřních zdrojů, přesněji osob, svítidel a dalších zdrojů tepla, na teplotní stav objektu.

3) Prokázání účinnosti vegetační střechy na tepelnou stabilitu u bytové výstavby z hlediska klimatických podmínek České republiky

Prokázání účelnosti vegetační střechy pomocí naměřených reálných teplot v objektu s vegetační střechou. Takový objekt byl numericky simulován v prostředí tepelného modelu budovy a porovnán s experimentálními výsledky pořízenými na reálném stavebním objektu. Důkaz účelnosti vegetační střechy pro stavební objekt vyplývá v porovnání s vlastnostmi objektu s klasickou střešní konstrukcí.

Optimalizaci typů vegetačních střech a konstrukčního uspořádání stavebních částí budov, které se odlišují materiálovou skladbou, lze provádět tímto způsobem pouze při explicitním vymezení místních klimatických podmínek.

4. CHARAKTERISTIKA STROJOVÉHO PROGRAMU

Navržený výpočetní program pracuje s toky energií mezi jednotlivými místnostmi v budově a mezi okolním prostředím. Výstupem jsou energetické hodnoty, jako ztráty ventilací, vedením a infiltrací. Dále počítá teplotní zisky z pobytu osob, vnitřním osvětlením a slunečním zářením. Hodnoty vnitřního prostředí jsou počítány z povrchových teplot, relativní vlhkosti, výměny vzduchu a samozřejmě z vnitřní teploty vzduchu pomocí hodinových klimatických dat. V sestrojeném programu byl zahrnut i výpočet solární radiace jak na rovinném, tak na nakloněném povrchu.

Průběh teplot lze stanovit i v jiných programech. Nejčastěji je používán program Teplo. Tento program počítá na základě technické normy ČSN 73 0540. Celý výpočetní postup je za standardizovaných stacionárních exteriérových i interiérových podmínek, které jsou dány v legislativě. Získané výsledky teplotního pole jsou pak rozdílné od skutečného stavu za reálných podmínek, protože ve skutečnosti jsou tyto okrajové podmínky proměnné v čase. Proto byl v grafickém vývojovém prostředí vytvořen strojový program, který počítá průběh teplot Schmidovou metodou s proměnnými exteriérovými okrajovými podmínkami, které jsou proměnné v čase. Zohledňuje tedy pohyb slunce po obloze. Hodnoty exteriérových teplot byly poskytnuty meteorologickou stanicí, z letiště Brno Tuřany. Data odpovídají jednomu referenčnímu klimatickému roku.

4.1 Popis modelu objektu

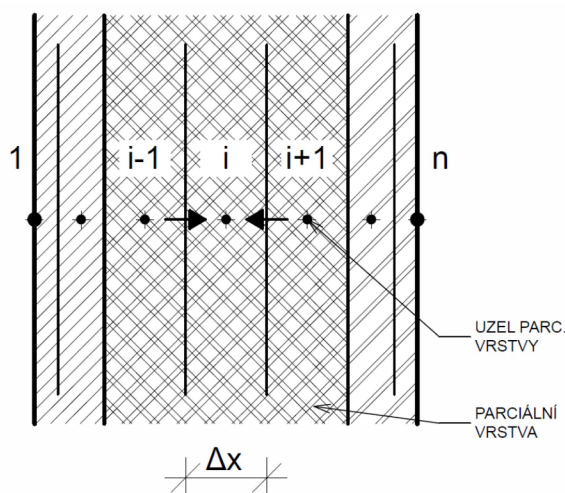
Budova je složena z jednotlivých místností, v našem případě zón, které jsou ohraničeny různým počtem a druhem povrchů. Do programu je třeba zadat vstupní hodnoty, což jsou právě geometrické pozice jednotlivých zón a povrchů, které na sebe navazují. Dalším vstupem jsou hodnoty venkovního vzduchu, které, jak bylo řečeno výše, jsou již nestacionární a jsou zde naprogramovány, ale to neznámá, že jej můžeme změnit.

Pod pojmem uzel si představíme vzduch v jednotlivých místnostech, pro který se počítá teplota v daném čase.

K výpočtu šíření tepla byla využita implicitní (BTCS) metoda. Jednotlivé konstrukce jsou složeny z jedné či několika vrstev, kde předpokládáme jejich homogenost a složení z jednoho, který je popsán tepelně technickými vlastnostmi. Aby byl výpočet co nejpřesnější, je nutné jednotlivé materiálové vrstvy dále rozdělit do několika dílčích vrstev. Uzel vnější vrstvy je vždy definován ve dvou površích konstrukce. Každý povrch zastupuje dílčí vrstva, s jejíž polovinou šířky je počítáno. Z tohoto důvodu je každá konstrukce tvořena minimálně třemi uzly.

4.2 Přenos tepla v konstrukci

V rámci jedné konstrukce je brán přenos tepla jako nestacionární, je tedy brána tepelná kapacita jednotlivých vrstev. Konstrukce je složena z jedné a více materiálových vrstev, které jsou rozděleny do několika dílčích. Tyto parciální vrstvy jsou označeny indexem i .



Obr. 1 Schématické rozdělení konstrukce na jednotlivé materiálové a parciální vrstvy s jednotlivými uzly.

Pro danou dílčí vrstvu i je spočteno množství přijatého tepla ze sousední vrstvy $i-1$ pomocí Fourierovy rovnice. Abychom mohli vytvořit obecný předpis, je důležité, aby každý ze dvou materiálů měl vlastní hodnotu součinitele tepelné vodivosti a vlastní tloušťku. Poté získáme hodnotu hustoty tepelného toku na dělicím povrchu mezi dvěma parciálními vrstvami pro jeden časový krok z času t do času $t+1$:

$$q_i^{t+1} = \frac{\theta_i^{t+1} - \theta_{i-1}^{t+1}}{\frac{\Delta x_{i-1}}{2\lambda_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{2\lambda_{i-1}} + R_i}, \quad (10)$$

kde: q hustota tepelného toku,
 Δx tloušťka parciální vrstvy,
 λ součinitel tepelné vodivosti,
 R tepelný odpor mezi parciálními vrstvami,
 i označení pro umístění v konstrukci,
 t označení času.

4.3 Formální popis vazebného tepelného toku v budově

Vazebným prvkem mezi jednotlivými místnostmi je časově závislý tepelný tok, přesněji vazebný tepelný tok. Při šíření tepla stěnami mezi místnostmi lze popsat jednotlivé složky:

a) přestup tepla mezi vzduchem a povrchem stěny: $\dot{Q}^{ij}(\tau) = S^{ij} \cdot \alpha_s^{ij} \cdot (t_s^{ij}(0, \tau) - t_i(\tau))$ (11),

kde: S plocha stěny,
 α_s součinitel přestupu tepla stěny,
 t_s teplota povrchu stěny,
 t_i teplota vzduchu.

b) šíření tepla stěnou. Jde o Fourierovu rovnici vedení tepla pro jednorozměrný případ:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \Big|_{\tau \geq 0 \wedge 0 \leq x \leq d} \quad (12),$$

kde: a součinitel teplotní vodivosti,

$\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)$ časová změna teploty.

Počáteční a okrajové podmínky:

- počáteční: $t(x,0) = t_0 = konst$ (13)

- okrajové: $-\lambda \cdot \frac{\partial t(0,\tau)}{\partial x} = q_1$, resp. $\lambda \cdot \frac{\partial t(d,\tau)}{\partial x} = q_2$ (14),

kde: λ součinitel tepelné vodivosti,
 $q_1; q_2$ hustota tepelného toku.

c) šíření mezi okolním vzduchem a povrchem stěny: $\dot{Q}^{ij}(\tau) = S^{ji} \cdot \alpha_s^{ji} \cdot (t_s^{ji}(d,\tau) - t_j(\tau))$ (15),

d) toky ventilačního vzduchu a spárová netěsnost: $\dot{Q}_v^i(\tau) = V^i \cdot c_{vzd} \cdot (t_i(\tau) - t_x(\tau))$ (16),

kde: V objemový tok vzduchu,
 c_{vzd} objemová tepelná kapacita vzduchu [obvykle 1300 J/(m³.K)].

e) tepelná radiace mezi vnitřními povrchy v místnosti: $\dot{Q}_r^i(\tau) = S^i \cdot c_{\zeta} \cdot A \cdot \left(\frac{T_p^{i4}}{100} - \frac{T_p^{j4}}{100} \right)$ (17),

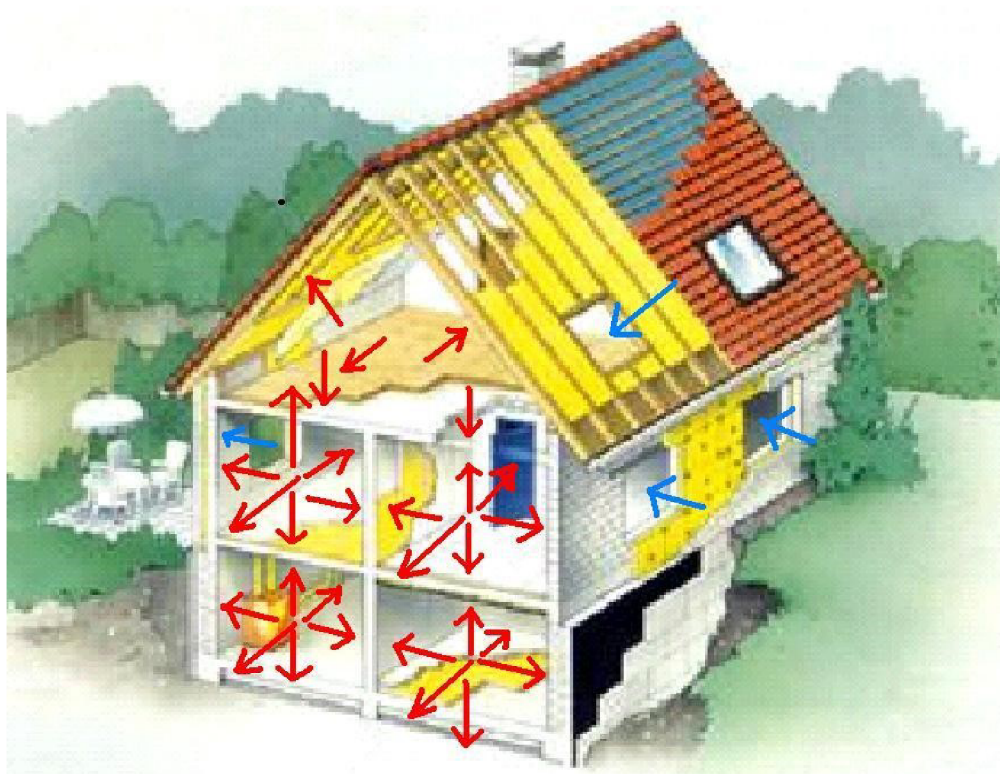
kde: c_{ζ} součinitel sálání absolutně černého tělesa [$\approx 5,67$ W/(m².K⁴)],
 A součinitel sálání povrchu,
 T_p termodynamická teplota sálajících ploch.

Vyčíslením rovnice b) stanovíme povrchové teploty konstrukce $t(x, \tau)$, pro i -tou místnost $t^{ij}(0, \tau)$, resp. $t^{ij}(d, \tau)$ na opačném povrchu stěny. Odsud lze tak určit časově závislé vazebné tepelné toky mezi jednotlivými místnostmi $\dot{Q}_{s}^{ij}(\tau)$. Původně J. ŘEHÁNEK navrhnul řešení tepelných vazeb vztahem odvozeným z Fourierovy metody řešení Fourierovy rovnice vedení tepla, které však platí pouze pro jednovrstvé stěny [4].

Pro každou místnost systému platí bilanční rovnice:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} \left(\dot{Q}^M(\tau) + \sum_j \dot{Q}_{ztr}^i(\tau) + \sum_i \dot{Q}_{zisk}^i(\tau) \right) d\tau = 0 \quad (18),$$

kde: \dot{Q}^M tepelný tok v místnosti,
 \dot{Q}_{ztr} tepelný tok vyvolaný vnitřními ztrátami,
 \dot{Q}_{zisk} tepelný tok vyvolaný vnitřními zisky.



Obr. 2 Uspořádání vazebných tepelných toků uvnitř a vně budovy.

Udržení stabilní úrovně teploty v místech stavebních objektů je silně ovlivňováno nestacionárním tepelným chováním stavebních konstrukcí. Z materiálového hlediska se často prokazuje úroveň tepelně akumulční schopnosti konstrukce, která závisí na fyzikálních vlastnostech zabudovaných materiálů.

5. DOPLNĚNÍ SIMULAČNÍHO MODELU O VNITŘNÍ TEPELNÉ ZDROJE

Jak je již známo, tak k vnitřním zdrojům tepla patří především tepelný tok vznikající od:

- Pobývajících osob,
- Svítidel,
- Spotřebičů v domácnosti,
- Elektronického vybavení, atp.

V práci se budu zabývat pouze tepelnými zisky od osob a svítidel.

5.1 Tepelné zisky od osob

Do tepelného zisku od osob Q_L se započítává pouze produkce citelného tepla, které závisí na intenzitě lidské činnosti, teplotě vzduchu a pohlaví.

$$Q_L = 6,2 \cdot n_L \cdot (36 - t_i) \quad (19),$$

kde: n_L počet osob,
 t_i teplota interiéru.

Vzorec (23) platí pouze pro výpočet produkce tepla u mužů konajících mírně aktivní práci. Jedna mírně aktivní osoba při teplotě vzduchu 26°C vyprodukuje 62 W citelného tepla a 116 g/h vodní páry. Pro ostatní druhy lidské činnosti je produkce tepla uvedena v normě ČSN 73 0548:1985 *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostor*.

Pro různorodé složení skupiny osob v místnosti se počet osob koriguje vztahem:

$$n_L = 0,85 \cdot n_z + 0,75 \cdot n_d + n_m \quad (20),$$

kde: n_z počet žen,
 n_d počet dětí,
 n_m počet mužů.

5.2 Tepelné zisky od svítidel

Produkce tepla svítidel Q_{sv} se počítá pro prostory bez oken (kina, divadla) a místnosti s požadavky na vyšší intenzitu osvětlení (rýsovní, provozy jemné mechaniky ap.), kde nestačí přirozené osvětlení. U hlubokých místností se uvažuje s umělým osvětlením ve vzdálenosti větší než 5 m od okna.

$$Q_{SV} = q_{SV} \cdot S_{osv} \quad (21),$$

kde: q_{SV} měrný tepelný tok osvětlené,
 S_{osv} osvětlená plocha.

Produkce tepla různých druhů osvětlení je uvedena rovněž v normě ČSN 73 0548: 1985 *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostor*.

6. EXPERIMENTÁLNÍ DŮM

Součástí disertační práce je porovnání výsledků ze sestaveného programu s reálnými hodnotami, které budou naměřeny v experimentálním domě. I pro tento účel byl postaven testovací objekt se šikmou zelenou střechou, kde byly zvoleny tři varianty vegetační vrstvy. Tento objekt byl postaven v areálu ADMAS v Brně. Jedná se o environmentální objekt EnviHUT, k jehož realizaci jsou používány zejména přírodní či recyklované materiály. Tyto materiály jsou z převážné většiny dodány z lokálních nebo blízkých zdrojů. Objekt má demonstrovat možná stavební řešení pro obalové konstrukce. Pro provozní chod stavby budou využívány pouze obnovitelné zdroje energie (solární energie, větrná energie atd.). Objekt EnviHut je koncipován jako soběstačná mobilní jednotka, kterou lze například využít jako víkendový rekreační objekt. Více informací o půdorysném a stavebním řešení, vnitřních instalacích a zásobování energií je uvedeno na webových stránkách - <http://envihut.com/>.

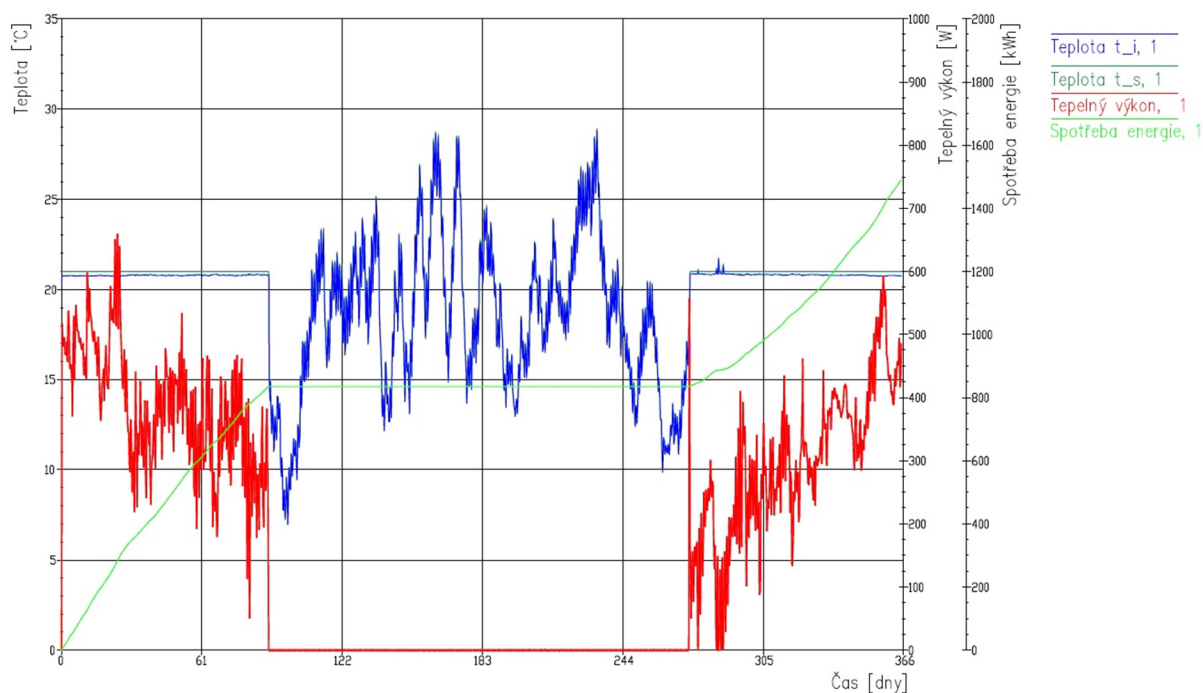


Obr. 3 Konečný vzhled experimentálního domku.

Související teplotní a vlhkostní údaje z dlouhodobého měření na popisované zkušební střeše však nebylo možno pro vyhodnocení využít, neboť do doby odevzdání mé doktorské práce nebyl měřicí cyklus zimního období dokončen.

6.1 Výpočet v sestaveném strojovém programu

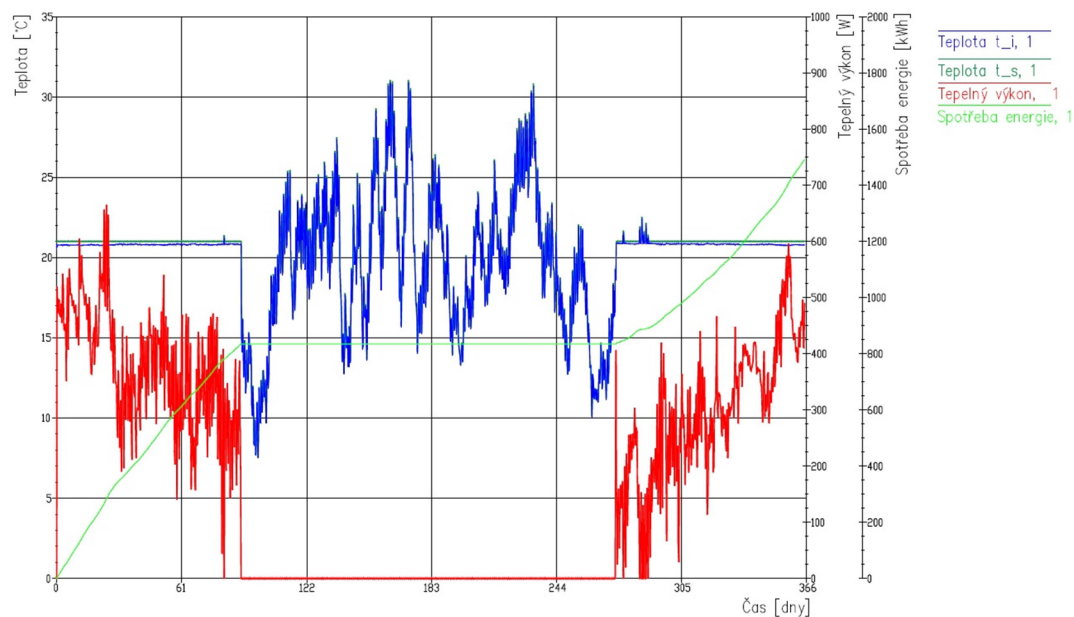
Experimentální dům byl namodelován v sestrojeném strojovém programu. Bylo zde počítáno s normovou výměnou vzduchu a to $n_h = 0,5 \text{ h}^{-1}$. Dále bylo uvažováno s výlukou vytápění v měsících duben až září. V ostatních měsících bylo vytápěno na teplotu vnitřního vzduchu 21°C . Byly zde modelovány dvě varianty a to s vegetační střechou a pak se střechou bez vegetace. Co se týče spotřeby energie, ta se nijak extrémně nelišila. Důvodem byl objekt o malé ploše a objemu. Odhadovaná spotřeba energie v objektu s vegetací činila $1465,8 \text{ kWh/rok}$ a v objektu bez vegetační střechy činila spotřeba $1491,1 \text{ kWh/rok}$. Rozdíl není významný, činí $25,3 \text{ kWh/rok}$.



Graf 1 Odhadovaný průběh teplot, tepelný výkon a spotřeba energie objektu s vegetační střechou.

Jak je znázorněno v grafu 1, tak nejvyšší teplota v interiéru byla vypočtena dne 21.8. v 18:00 hodin a to $28,8^\circ\text{C}$ a průměrná povrchová teplota v interiéru činila $28,9^\circ\text{C}$. Pro srovnání v modelu bez zeminy byla vypočtena nejvyšší teplota v interiéru tentýž den a čas $30,7^\circ\text{C}$ a průměrná povrchová teplota interiéru $30,9^\circ\text{C}$, jak je patrné z grafu 2. Rozdíl teploty v interiéru je tedy $1,9\text{K}$ a průměrná povrchová teplota vzrostla oproti modelu s vegetační střechou o 2K .

Vliv vegetační střechy na tepelnou stabilitu v objektu



Graf 2 Odhadovaný průběh teplot, tepelný výkon a spotřeba energie objektu se střechou bez vegetace.

Bylo tak výpočtově prokázáno, že vegetační typ ploché střechy zabraňuje přehřívání objektu v místnostech pod střechou.

7. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Pro ověření shody výpočtů byl sestaven měřicí box, na kterém byla vytvořena skladba střešní konstrukce podobná té z experimentálního domu. Experimentální box byl situován do exteriéru, měření bylo provedeno na ÚTHD. Skladba střešní konstrukce je uvedena v tabulce 2. Do zeminy jsem nevysadil žádné rostliny z důvodu zimních venkovních klimatických podmínek. V boxu byl umístěn termostat, kterým se temperovala teplota vnitřního prostoru na 22°C. Byly měřeny teploty v boxu t_i , poté mezi parotěsnou fólií a tepelnou izolací t_1 , teplota mezi asfaltovým hydroizolačním pásem a zeminou t_2 a teplota exteriéru t_e . Teploty byly zaznamenávány pomocí měřidla Ahlborn s teplotním čidlem a teplotně vlhkostním čidlem, jak je dokumentováno na obrázku 4.

Tab. 2. Skladba vegetační střechy experimentálního boxu

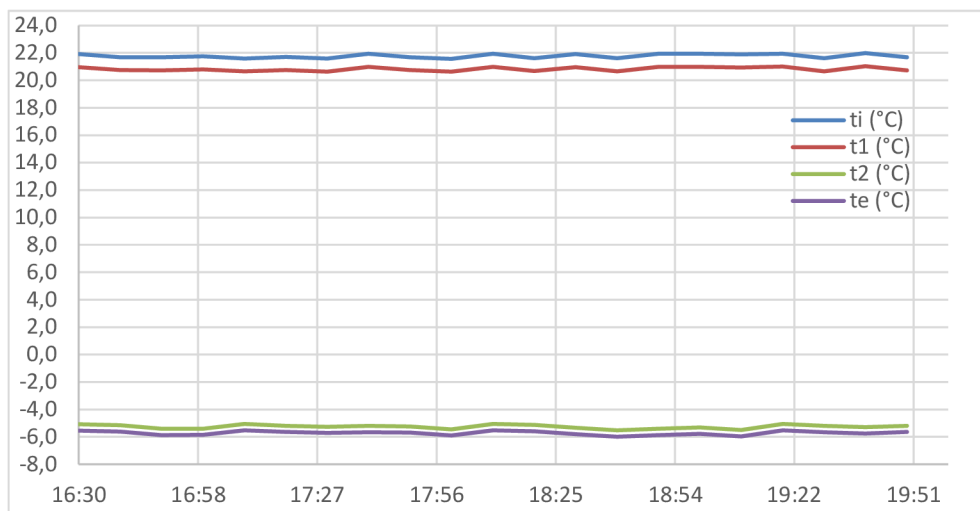
Název vrstvy včetně základní charakteristiky	tl. [mm]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Dřevěné podbití smrková hoblovaná prkna 18/120/3000mm	18	0,18
Parotěsná fólie	1	0,25
Tuhá tepelně izolační deska	240	0,04
Dřevotřískové desky	18	0,18
Záklop tvořený OSB deskami	22	0,13
Hydroizolační fólie	2	0,5
Vegetace (λ dle druhu zeminy a obsahu vody v zemině)	100	1,5



Obr. 4 Vyobrazení použité teplotní ústředny Ahlborn s čidly

7.1 Výsledky měření

Měření probíhalo v quasi ustáleném teplotním stavu bez vlivu oslunění v čase od 16:30 do 19:50 hod. Výsledky měření jsou vyobrazeny v grafu 3.



Graf 3 Graficky znázorněné teploty v experimentální skladbě střechy v časové závislosti.

7.2 Analýza shody vypočtených a naměřených hodnot

Abych prokázal, že výpočtový program se blíží reálným hodnotám, zvolil jsem stacionární výpočet teploty v dané střešní konstrukci. Pro výpočet jsem zvolil teploty v čase 19:00 hod, kdy byla naměřená teplota interiéru $t_i = 22^\circ\text{C}$, teplota mezi parotěsnou folií a tepelnou izolací $t_1 = 21^\circ\text{C}$, teplota mezi asfaltovým hydroizolačním pásem a zeminou $t_2 = -5,3^\circ\text{C}$ a teplota naměřená v exteriéru $t_e = -5,3^\circ\text{C}$. Výpočet teplot mezi vrstvami t_1 a t_2 byl proveden dle rovnice:

$$\frac{t_i - t_e}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{t_i - t_{1;2}}{R_{si} + R_{1;2}} \quad (22)$$

Po úpravě:
$$t_{1;2} = t_i - \frac{t_i - t_e}{R_{si} + R + R_{se}} (R_{si} + R_{1;2}) \quad (23)$$

kde:

- $t_{1;2}$ teplota v dané vrstvě,
- t_i teplota interiéru,
- t_e teplota exteriéru,
- R tepelný odpor konstrukce,
- R_{si} odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce,
- R_{se} odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce,
- $R_{1;2}$ tepelný odpor konstrukce do dané vrstvy.

Vliv vegetační střechy na tepelnou stabilitu v objektu

Po dosazení patřičných hodnot do vzorce nám vyjde teplota mezi parotěsnou folií a tepelnou izolací $t_1 = 20,8^{\circ}\text{C}$, teplota mezi asfaltovým hydroizolačním pásem a zeminou $t_2 = -5,4^{\circ}\text{C}$. Vypočtené hodnoty teplot se téměř shodují s naměřenými hodnotami. Prokázáním této shody lze podat důkaz o výpočtových teplotách ze simulačního programu jako velmi těsné s reálnými teplotami v konstrukci.

8. ZÁVĚR PRÁCE

Cílem této práce bylo prokázat příznivý účinek vegetační střechy, přesněji vegetačního souvrství, z tepelně-technického hlediska prokázat příznivější teplotní poměry ve stavbě při její aplikaci. Takový projev lze zachytit pouze tehdy, jestliže se posuzuje teplotní průběh nestacionárně za chodu reálných okrajových klimatických teplot blízkých realitě. Použitím stacionárních nebo quasi-stacionárních okrajových klimatických teplot, které se obvykle využívají pro stanovení energetické náročnosti budov, uvedený účinek zachytit nelze. Náročný simulační výpočet, v němž se uplatní všechny fyzikální materiálové vlastnosti (součinitel tepelné vodivosti, objemová hmotnost i tepelná kapacita), však poskytuje reálný obraz o teplotních pochodech probíhajících nejen ve střešní konstrukci objektu, nýbrž ve všech plošných konstrukcích celého stavebního objektu. Dle dosažených výsledků si dovoluji tvrdit, že výpočtové údaje ze simulace tepelné stability budov budou velmi těsně reálnému chování objektu, a při prokazování účinků vegetační střechy na tepelnou stabilitu v objektu se o ně opírat.

Pro další výpočty byl simulační prostředek doplněn o tepelné zisky od svítidel a pobytu osob.

Podle výsledků výpočtů byla prokázána účinnost konstrukce vegetační střechy z hlediska snížení účinku letního klimatického zatížení vrstvou zeminy umístěné na střeše. Ovšem výpočtové hodnoty se mohou od reality lišit, neboť povrchové teploty konstrukce ovlivňuje i volba vysazené zeleně, závlahové poměry, zhutnění zeminy aj. Obecně listy zeleně pohltí velké množství tepla, toto se mi však nepodařilo v simulačních výpočtech zohlednit. Ve skutečnosti lze očekávat příznivější teplotní poměry oproti výpočtové simulaci.

Pomocí dřevostavby měly být porovnány vypočtené hodnoty ze simulací tepelné stability s naměřenými. Teplotní a vlhkostní údaje z dlouhodobého měření na popisované zkušební střeše však nebylo možno pro vyhodnocení využít, neboť do doby odevzdání mé doktorské práce nebyl měřicí cyklus zimního období dokončen.

Proto byl sestaven menší měřicí box se skladbou střešní konstrukce a se zeminou, na němž byla vytvořena skladba střešní konstrukce identická skladbě střechy experimentálního domu. Experimentální box byl umístěn v areálu ÚTHD. Jak bylo zmíněno výše, naměřené experimentální teploty v daných vrstvách konstrukce se s výpočtovými teplotami shodovaly s rozdílem desetin Kelvínu. Lze tak prokázat, že výsledky provedených simulačních výpočtů jsou těsně reálným hodnotám. V důsledku toho lze prokázat, že vegetační souvrství střechy příznivě ovlivní teplotu uvnitř objektu, zejména v ohledu zlepšení teplotních poměrů určující míru tepelné pohody.

Na základě toho mohu shrnout, že vytčené cíle disertační práce se mi podařilo v celém rozsahu zadání splnit.

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČERMÁKOVÁ, B., MUŽÍKOVÁ, R., *Ozeleněné střechy*. Praha: Grada Publishing, 2009. 248 s. ISBN 978-80-247-1802-6.
- [2] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov: Požadavky*. 1 vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [3] Tepelná stabilita místnosti [online]. [cit. 2015-01-02]. Dostupné z <http://www.topin.cz/download.php?idx=84614&di=7>
- [4] Řehánek, J., Janouš, A., *Tepelné ztráty budov a možnosti jejich zmenšování*, SNTL 1985
- [5] Davies, M.G., *Building Heat Transfer*, Wiley 2004, ISBN 978-0-470-84731-2

10. PUBLIKACE AUTORA

2017

MAJSNIAR, M.; ŠŤASTNÍK, S.; SOUDEK, P., ZELENE STŘECHY A JEJICH VLIV NA TEPELNOU STABILITU, příspěvek na konferenci *Juniorstav 2017*, ISBN 978-80-214-5462-0, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2017

2016

MAJSNIAR, M.; ŠŤASTNÍK, S., Vliv vegetační střechy na vnitřní klima dřevostaveb, příspěvek na konferenci *Sborník Juniorstav 2016*, ISBN 978-80-214-5311-1, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2016

NEČADOVÁ, K.; SELNÍK, P.; BEDLIVÁ, H.; MAJSNIAR, M., The Effect of the Vegetative Roof Construction on the Thermal Stability in the Testing Building, *Applied Mechanics and Materials*, ISSN 1660-9336, EnviBUILD 2015 - Building Concepts - Energy Savings & Environment Friendly Technologies, 2016

2015

MAJSNIAR, M.; ŠŤASTNÍK, S., TEPELNÁ STABILITA OBJEKTU PŘI POUŽITÍ ZELENE STŘECHY, příspěvek na konferenci *Juniorstav 2015*, ISBN 978-80-214-5091-2, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015

MAJSNIAR, M.; ŠŤASTNÍK, S., The effects of vegetative roofs onto the thermal stability of a building object, konference *Maltoviny 2014*, ISBN 9783038354, 2015

2014

MAJSNIAR, M.; ŠŤASTNÍK, S., Vliv zeminy na průběh teplot ve vegetační střeše, příspěvek na konferenci *Stavební fyzika v pozemním stavitelství: teorie a praxe*, ISBN 978-80-214-4926-8, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2014

MAJSNIAR, M.; ŠŤASTNÍK, S., On some aspects of application of vegetative roofs in building structures, *Advanced Materials Research*, ISSN 1022-6680, Zurich, 2014

2013

MAJSNIAR, M.; ŠŤASTNÍK, S., Konstrukční skladby vegetačních střeš, příspěvek na konferenci *REALIZACE STAVEB - TEORIE A PRAXE Sborník mezinárodního workshopu 11. - 13. září 2013, Křtiny, Česká republika*, ISBN 978-80-214-4803-2, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2013

MAJSNIAR, M.; HINDRÁKOVÁ, K.; ŠŤASTNÍK, S.; ŠKRAMLÍK, J., Druhy rostlin pro vegetační střechy, článek v *Stavební obzor*, ISSN 1210-4027, Fakulta stavební VŠB TU-Ostrava Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, Praha, 2013

MAJSNIAR, M.; ŠŤASTNÍK, S., Uspořádání zelených vegetačních střeš, *Construction Materials 2013*, ISBN 978-80-552-1031-5, Technická Fakulta SPU Nitra, Nitra, 2013.

PŘEDSTAVENÍ AUTORA

Osobní údaje:

Jméno a příjmení	Michal Majsniar
Narozen	24.2. 1988 v Broumově
Bydliště	Na Sibiři 203, 549 54 Police nad Metují
Státní příslušnost	Česká republika
Telefon/mobil	+420 777 098 973
E-mail	michal.majsniar@atlas.cz

Vzdělání a akademická kvalifikace

Středoškolské:	2002 – 2007 VOŠ a SPŠ stavební arch. Jana Letzela Náchod, zakončeno maturitní zkouškou
Vysokoškolské:	2007 – 2011 VUT Brno, fakulta stavební, bakalářské studium, zakončeno státní závěrečnou zkouškou, bakalářská práce ohodnocena cenou děkana
	2011 – 2013 VUT Brno, fakulta stavební, magisterské studium, zakončeno státní závěrečnou zkouškou, diplomová práce ohodnocena cenou děkana
	2013 – dosud VUT Brno, fakulta stavební, doktorské studium, Rámcové téma: Tepelně technické posouzení skladby vegetační střechy s vlivem vlhkosti; Upřesněný název: Vliv vegetační střechy na tepelnou stabilitu v objektu

Zaměstnání, praxe

Od 1.2.2017 – doposud

- vedoucí přípravy ve firmě MEGAMONT s.r.o., Hudcova 588/70B, 621 00 Brno - Medlánky

Od 1.4. 2015 – 28.2.2017 (dohoda o provedení práce)

- reklamační technik CEITEC MU Brno (stavba z roku 2014), ve firmě KONSIT a.s., Půlkruhová 786/20, 160 05 Praha 6

2011 - 2012 (brigádně červenec a srpen)

- stavební dělník ve firmě DELTA Velké Poříčí s. r. o.

2003 - 2005 (brigádně červenec a srpen)

- stavební dělník ve firmě STAFIDO (stavební firma Dostál)

2006, 2008 - 2010 (brigádně červenec a srpen)

- stavební dělník ve firmě STAVBY KLIMEŠ s. r. o.

Pedagogická činnost

Letní semestr 2013	– BH52 – Pozemní stavitelství I (S), (E)	– 2 hodiny týdně
Zimní semestr 2014	– BH02 – Nauka o pozemních stavbách	– 4 hodiny týdně
	– BH03 – Pozemní stavitelství II (S)	– 2 hodiny týdně
Letní semestr 2014	– BH51 – Počítačová grafika (S)	– 4 hodiny týdně
Zimní semestr 2015	– BH02 – Nauka o pozemních stavbách	– 4 hodiny týdně
Letní semestr 2015	– AH07 – Stavební fyzika II	– 1 hodina týdně
	– BH51 – Počítačová grafika (S)	– 4 hodiny týdně
	– CH03 – Počítačová apl. SF (S-PST)	– nespecifikováno
Zimní semestr 2016	– AH05 – Stavební fyzika I	– 2 hodiny týdně
Letní semestr 2016	– CH03 – Počítačová apl. SF (S-PST)	– nespecifikováno

Účast na výzkumných projektech

Standartní projekt specifického vysokoškolského výzkumu FAST-S-16-3385 *Výpočtové modelování vysokoteplotního chování pokročilých stavebních materiálů a konstrukcí* – spoluřešitel.

Juniorský projekt specifického vysokoškolského výzkumu FAST-J-15-2733 *Optimalizace technologie provádění a ověření skladby konstrukce na modelu šikmé zatravněné střechy za účelem hodnocení stability a použitelnosti ve vybrané lokalitě České Republiky* – spoluřešitel.

Standartní projekt specifického vysokoškolského výzkumu FAST-S-15-2824 *Inverzní úlohy pro zjišťování efektivních charakteristik stavebních materiálů se složitou vnitřní strukturou* – spoluřešitel.

Juniorský projekt specifického vysokoškolského výzkumu FAST-J-14-2296 *Výpočtové vyhodnocování kapilární vodivosti stavebních materiálů z nepřímých měření na trojrozměrných vzorcích* – spoluřešitel.

Standartní projekt specifického vysokoškolského výzkumu FAST-S-14-2346 *Identifikace tepelných charakteristik stavebních materiálů za vysokých teplot* – spoluřešitel.

Standartní projekt specifického vysokoškolského výzkumu FAST-S-13-2088 *Modelování dynamických tepelných projevů nízkoenergetických staveb s uplatněním slunečního záření* – spoluřešitel.

Publikační činnost

Viz kapitola 10.

ABSTRACT

Dissertation deals with thermal technical assessment of vegetation roof with moisture, the more the influence of vegetation on the roof thermal stability of the structure. The aim of this work is to demonstrate the beneficial effect of vegetation roofs, specifically growing. Formation of thermo-technical point of view on the favourable temperature conditions in the building. Such speech can be captured only if it is judged-temperature profile dynamically daily operation of real marginal climatic temperatures. Using a stationary or quasi-stationary boundary climatic temperatures which are usually used for the determination of the energy performance of buildings, said effect can not be collected. Demanding simulation calculation, which apply material properties - thermal conductivity, density and thermal capacity, but gives a realistic picture of the thermal processes in progress not only in the roof structure of the building, but also across the entire circuit construction of building.

During the preparation of the dissertation was assembled machine program that works with the energy flow between rooms in the building and the surrounding environment. Furthermore calculates temperature gain of residence of persons, internal lighting and sunlight. The values of the internal environment are calculated from surface temperature, relative humidity, air exchange and, of course, the indoor air temperature with hourly weather data. In constructing the program was included in the calculation of the solar radiation both on flat and on an inclined surface. The output of the energy value and temperature conditions in individual rooms, which include not only thermal insulation but also thermal storage properties of an object.

Using experimental measurements were able to demonstrate that the calculated values closely correlate real thermal processes, so it can be demonstrated through the calculated results of the vegetation roof has a favourable effect on the thermal state especially in the attic rooms.