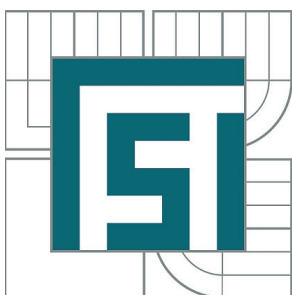


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VYUŽITÍ ZASKLENÉ LODŽIE PRO PŘEDEHŘEV VĚTRACÍHO VZDUCHU - PARAMETRICKÁ STUDIE

GLAZED BALCONY AS PREHEATER OF VENTILATION AIR - PARAMETRIC STUDY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL MACHÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Bc.Ing. JAN FIŠER

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Macháček

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Technika prostředí (2301T024)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Využití zasklené lodžie pro přehřev větracího vzduchu - parametrická studie

v anglickém jazyce:

Glazed Balcony as Preheater of Ventilation Air - Parametric Study

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Energetická spotřeba budov ve vyspělých zemích představuje cca 40% celkové spotřeby energie. Vzhledem k tomuto významnému podílu je tedy nezbytné zabývat se snižování této náročnosti a to jak z hlediska ekonomického tak především z hlediska ekologického. Energetická náročnost budov je jednou z oblastí, kde lze pomocí relativně nenáročných opatření dosáhnout významných úspor energie, avšak různá opatření mají rozdílné investiční náklady a také následné přínos k celkovým úsporám. Energetické bilance jednotlivých opatření lze predikovat pomocí vhodných 1D simulačních nástrojů a vyhodnotit tak účinnost různých opatření pro konkrétní použití.

Cíle diplomové práce:

Vytvořte geometrický model zasklené lodžie konstrukčně odpovídající panelové typové soustavě B 70. Provedte simulaci energetické bilance pro vhodně zvolené typické dny v 1D simulačním softwaru. Porovnejte energetickou bilanci rekuperační jednotky při nasávání větracího vzduchu z okolí a přes zasklenou lodžii.

Seznam odborné literatury:

[1] www.tzb-info.cz

[2] Theseus-FE Theory manual

[3] TYWONIAK J.: Nízkoenergetické domy, Grada 2005

[4] BIELEK M. a kol.: Dvojité transparentné fasády budov, Coreal Nitra, Bratislava 2002

Vedoucí diplomové práce: Bc.Ing. Jan Fišer

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2011

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá vlivem zasklení lodžie na předehřev větracího vzduchu. V první části jsou popsány způsoby pasivního využívání slunečního záření a větrání bytů. Jako simulační program je použit THESEUS-FE 4.0, pro který je vytvořena kapitola přenos tepla.

V druhé části je popsán objekt a zvolené případové simulace, následuje vytvoření geometrického modelu a popis okrajových podmínek. Na závěr je provedeno vyhodnocení provedených simulací nejen z hlediska úspory větráním, ale i tepelných ztrát jako celku.

Abstract

This thesis deals with the influence of balcony glazing to preheat ventilation air. In the first part there are described the ways of passive use of sun radiation and types of ventilation of flats. THESEUS-FE 4.0 is used as a simulation program, for which heat transfer is described.

The second part contains description of flat and selected case simulation, followed by a geometric model and description of boundary conditions. Finally is done evaluation of case simulations not only in terms of savings in ventilation, but also for heat loss as a whole.

Klíčová slova

Větrání bytů, předehřev větracího vzduchu, zasklení lodžie, energetická úspora, numerická simulace, parametrická studie.

Keywords

Ventilation of flats, preheater of ventilation air, glazed balcony, energy savings, numerical simulation, parametric study.

Bibliografická citace

MACHÁČEK, P. *Využití zasklené lodžie pro předehřev větracího vzduchu - parametrická studie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 68 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Fišer Ph.D.

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně bez cizí pomoci. Vycházel jsem pouze ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury. Veškeré zdroje, ze kterých jsem čerpal, řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.“

21. května 2012 v Brně

.....

Pavel Macháček

Poděkování

„Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Janu Fišerovi Ph.D. za poskytnutí odborných rad, připomínek a vedení diplomové práce.“

1	ÚVOD	11
2	PASIVNÍ VYUŽITÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	12
2.1	Zisk okny	12
2.2	Energetické a dvojité transparentní fasády	12
2.3	Trombeho stěna	12
2.4	Transparentní tepelné izolace	13
2.5	Okenní kolektory	14
2.6	Zimní zahrada	15
2.7	Lodžie	15
2.7.1	Zábradlí	15
2.7.2	Zasklení	15
2.7.3	Bezrámové zasklívací systémy.....	16
2.7.4	Rámové zasklívací systémy	16
3	VĚTRÁNÍ BYTŮ	17
3.1	Přirozené větrání.....	18
3.1.1	Neřízené a řízené větrání.....	18
3.1.2	Šachtové větrání	18
3.2	Nucené větrání podtlakové	18
3.2.1	Centrální nucené podtlakové větrání.....	18
3.2.2	Individuální nucené podtlakové větrání	19
3.3	Nucené větrání rovnotlaké.....	19
3.3.1	Centrální rovnotlaký systém.....	20
3.3.2	Individuální rovnotlaký systém	20
3.3.3	Větrací jednotky se zpětným získáváním tepla	21
4	PŘENOS TEPLA V PROGRAMU THESEUS-FE.....	23
4.1	Přenos tepla vedením.....	23
4.1.1	Fourierův zákon.....	23
4.1.2	Zjednodušená diferenciální rovnice energie	23
4.1.3	Zachování energie na povrchu	24
4.1.4	Elementy typu SHELL	25
4.1.5	Vzduchová vrstva.....	26
4.2	Přenos tepla konvekcí.....	26
4.3	Přenos tepla radiací.....	28
4.3.1	Krátkovlnné záření (sluneční)	29
4.3.1.1	Krátkovlnné záření (sluneční) na vnější povrch	30
4.3.1.2	Krátkovlnné záření (sluneční) na vnitřní povrch	31
4.3.2	Dlouhovlnné záření	32
4.3.2.1	Přenos tepla zářením mezi šedými povrchy.....	33
5	POPIS OBJEKTU A MODELOVÝCH PŘÍPADŮ.....	35
5.1	Podklady pro tvorbu 3D modelu	37
5.2	Popis řešených modelových případů	39
5.2.1	Větrání	39
5.2.2	Okolní lodžie	39
6	SIMULACE LODŽIE PROGRAMEM THESEUS-FE.....	40
6.1	Geometrický model	40
6.2	Materiály a skladba stěn	41
6.3	Přenos tepla.....	42
6.3.1	Konvekce.....	42
6.3.2	Krátkovlnná radiace	44
6.3.3	Dlouhovlnná radiace	44

6.3.4	Vzduchová mezera	44
6.4	Vzduchové objemy, zóny a ventilace	45
6.5	Meteorologická data	46
6.6	Řešič	48
7	VYHODNOCENÍ SIMULACÍ	49
7.1	Úspora větráním	50
7.2	Úspora prostupem tepla	52
7.3	Denní vyhodnocení pro říjen_75_z a leden_75_z	53
7.4	Denní vyhodnocení pro všechny říjnové simulace	58
7.5	Měsíční vyhodnocení pro průtok 75 m ³ /h a zasklených okolních lodžích	59
7.6	Vyhodnocení pro topnou sezónu	61
7.7	Shrnutí výsledků	62
8	ZÁVĚR.....	63
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	64
10	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	66
11	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Jedním z trendů současnosti je snaha o snížení energetické náročnosti budov. Především ekonomické a ekologické důvody vedou majitele k rekonstrukcím stávajících objektů, instalaci nových zařízení apod. Jako příklad lze uvést zasklívání lodžii, které může sloužit pro předehřev větracího vzduchu a ke snížení tepelných ztrát. Používají se rámové a bezrámové zasklívací systémy, popsané ve druhé kapitole.

Toto opatření může vést ke zlepšení pohody vnitřního prostředí, ale pouze za předpokladu kvalitního návrhu a kvalitního provedení instalace lze dosáhnout předpokládaných výsledků. Pokud není dodržena kvalita prací, nejsou dodržovány pokyny k obsluze atd., může zasklení lodžii vést k tvorbě plísní na zdech, nedojde k dostatečnému provětrání a nemusí být dosaženo ani ekonomické návratnosti.

Jednou z možností, jak energetickou, resp. ekonomickou návratnost investice předpovědět, je použití simulačních programů, které s jistou mírou zjednodušení a nepřesnosti simulují dané opatření. Toto řešení se používá pro menší časovou a finanční náročnost než experiment, simulační programy se stále zdokonalují a pro energetické simulace v budovách jsou již běžně využívány.

V teoretické části této práce jsou popsány způsoby pasivního využití slunečního záření, větrání bytových domů a přenos tepla v programu THESEUS-FE 4.0, který je využit pro simulace v praktické části, jejímž cílem je posouzení zasklené lodžie pro předehřev větracího vzduchu pro vybraný byt. Simulace jsou provedeny vždy pro jeden průměrný den měsíce říjen - duben a dva průtoky vzduchu. Dále jsou posouzeny varianty, při nichž jsou sousední lodžie zasklené a nezasklené. Výstupem práce je energetické a ekonomické posouzení simulací.

1 PASIVNÍ VYUŽITÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ

Moderní stavby se navrhují tak, aby v zimním období bylo možné využití solárních tepelných zisků a v letním nedocházelo k přílišné tepelné zátěži. Cílem je snížit provozní náklady na vytápění a klimatizaci při přiměřených provozních nákladech.

Solární záření, dopadající na zemský povrch, se skládá z přímého a difúzního záření. Součet těchto složek je označován jako globální záření. Poměr globálního a difúzního záření hraje významnou roli při volbě a koncepci solárních systémů. Při malé intenzitě obsahuje globální záření především difúzní složku, při zvyšování globálního záření se podíl přímé složky zvyšuje. K využívání přímého záření je třeba použít systémy, které dokážou dopadající energii rychle absorbovat a akumulovat. Do těchto systémů patří všechny vzduchové a sluneční kolektory. Nejlepších zisků v zimě se dosahuje při orientaci solárního systému na jih, jelikož přímé záření je směrové. Difúzní záření, které není směrové, lze využít systémy přímého zisku (okna, zimní zahrady). [1]

1.1 Zisk okny

Orientace oken by měla zohledňovat místní klima. Pokud se v místě často vyskytují ranní mlhy, je výhodná malá odchylka západním směrem, při časté odpolední oblačnosti je výhodné odchylení východním směrem, v obou případech nejvýše do 10° od jihu. Plocha oken by neměla překročit čtvrtinu příslušné podlahové plochy. Toto lze porušit při kombinaci s dalšími zařízeními, např. vzduchové kolektory. Okna orientovaná na jih mají být řešena tak, aby v zimě paprsky pronikaly hluboko do místností a tam předávaly teplo. Okna orientovaná západním a východním směrem přinášejí v zimě málo energie, naopak v létě způsobují přehřívání místností. Jejich plocha by proto měla být co nejmenší. [1]

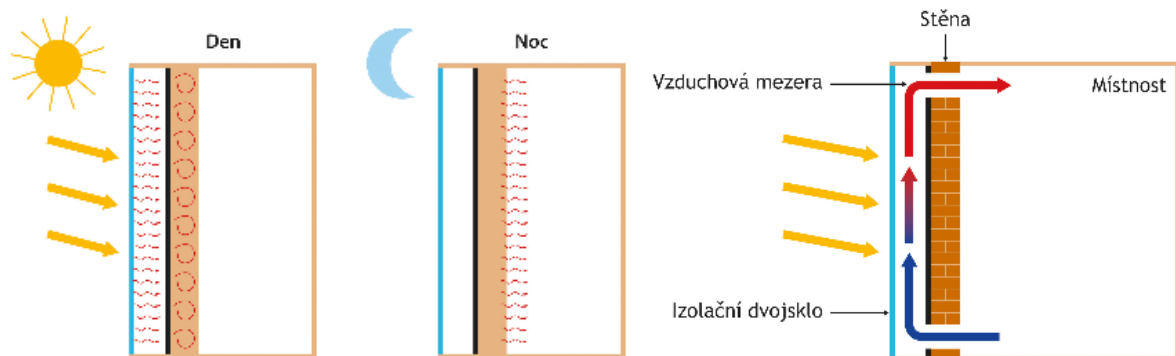
1.2 Energetické a dvojitě transparentní fasády

Energetické fasády (EF) jsou v podstatě vzduchové kolektory. Absorpční povrch tvoří fasáda, před kterou je skleněná transparentní vrstva. Při zimním provozu je teplo rozváděno do jednotlivých místností, v letním období odvádí EF velkou část tepelné zátěže dopadající na osluněnou stranu budovy. Fasáda v tomto období pracuje jako větrací šachta. V případě dvojitě transparentní fasády jsou před fasádu umístěny dvě skleněné desky, které tvoří vzduchový kolektor. Mezi deskami jsou stínící prvky a otvory pro regulaci vzduchu. Tyto fasády zlepšují tepelnou izolaci, lze jich využít k ohřevu čerstvého vzduchu a poskytují ochranu fasádě i protislunečním prvkům. [1]

1.3 Trombeho stěna

Jedná se o zvláštní formu vzduchového kolektoru. Před stěnou (opatřenou černým povrchem) z masivního materiálu, který dobře akumuluje teplo (beton, plné cihly) je umístěna skleněná plocha (nejlépe izolační dvojsklo). Vzdálenost plochy je nejčastěji 10 cm, ale může být i několik desítek cm. Ve stěně se akumuluje teplo a s časovým posunem je odváděno do místnosti, jak je vidět na obr. 2.1 vlevo. Na obr. 2.1 vpravo je zobrazena používanější varianta se dvěma otvory. Spodním proudí vzduch z místnosti do mezery a horním z mezery do

místnosti. Proudění vzduchu může být přirozené nebo nucené. Tyto otvory lze uzavřít pomocí klapky. Vzduchová mezera je v horní části opatřena také klapkou, která po otevření umožňuje proudění vzduchu do venkovního prostředí, čehož je využíváno v letním období. [1, 2]



Obr. 2.1: Trombeho stěna bez větracích otvorů (vlevo) a s větracími otvory (vpravo) [2]

1.4 Transparentní tepelné izolace

Obecně jsou transparentní tepelné izolace materiály, které jsou průsvitné a poskytují dobrou tepelnou ochranu. Transparentní izolace (TI) lze použít v pasivních solárních systémech (fasáda) nebo v kombinaci s aktivním systémem (sluneční kolektory). TI se vyrábějí ze skla nebo plastu a podle geometrie je lze rozdělit na [3]:

- Struktury s rovnoběžně orientovanými buňkami

Do této skupiny patří vícestěnné struktury z vytlačovaných plastů, např. polykarbonát.

- Struktury s kolmo orientovanými buňkami

Průměr dutin se pohybuje od 3 do 10 mm. Jako materiály lze použít polymetylmetakrylát, polykarbonát, sklo atd. Protože se jedná o otevřené struktury, je třeba použít ochranné sklo.

- Pěnové struktury

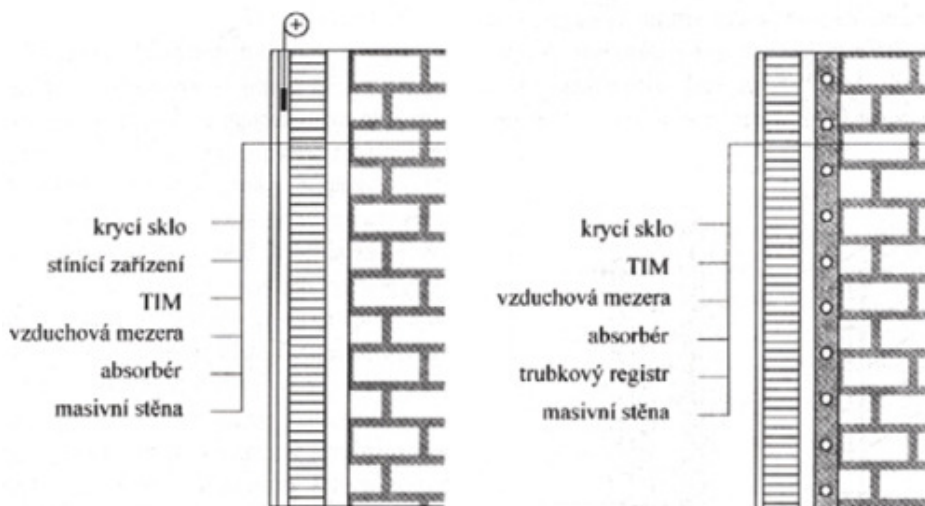
Používá se akrylátová pěna. Vzduchové bubliny v materiálu mají průměrnou propustnost světla a nízkou tepelnou vodivost.

- Kvazihomogenní struktury

Používá se především křemičitý aerogel, což je materiál s velmi nízkou měrnou hmotností a jemnou strukturou.

Všechny typy jsou založeny na uzavření vzduchu do buněk či komůrek, ve kterých je konvekce omezena. Čím jemnější je struktura TI, tím lepší jsou tepelně izolační vlastnosti. Na druhou stranu způsobuje jemnější struktura snížení propustnosti slunečního záření.

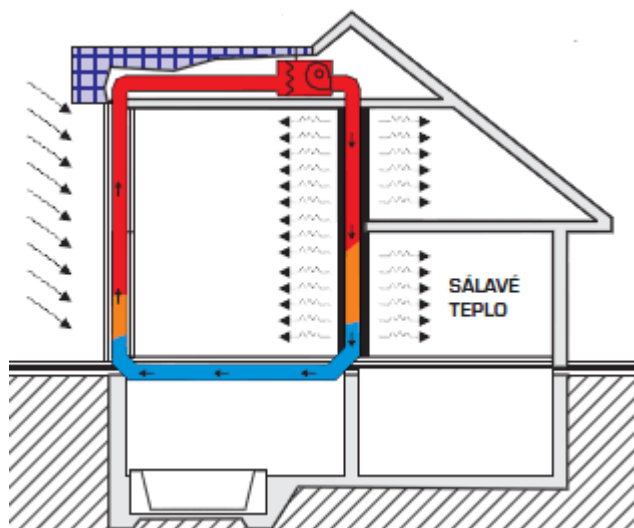
TI mají velký potenciál ve stavebnictví, např. při inovovaném konceptu Trombeho stěny. Záření procházející vnějším zasklením je rozptylováno transparentní vrstvou. Buňky vedou světlo směrem k absorberu, který předává teplo do stavebního prvku (stěny), z něhož je pak s časovým zpožděním předáno do místnosti. [3]



Obr. 2.2: Fasáda s TI - mechanické stínění (vlevo) a hybridní TI fasáda (vpravo) [3]

Při použití TI na fasády je nutné zabývat se ochranou proti přehřívání v létě. Používají se stínící prvky jako žaluzie, rolety atd. (obr. 2.2 vlevo). Jako výhodná se ukazuje tzv. hybridní TI fasáda (obr. 2.2 vpravo). Na absorpční stěnu je umístěn meandr trubek, kterým je v případě přehřívání vodou odváděno přebytečné teplo, které může být využito pro ohřev TUV a energie solárního záření tak může být využívána po celý rok. [3]

1.5 Okenní kolektory



Obr. 2.3: Okenní vzduchový kolektor [4]

Princip funkce okenního kolektoru je patrný z obr. 2.3. Je tvořen dvěma skleněnými tabulemi, na které dopadá sluneční záření. Vnitřní tabule je ze směru dopadajícího slunečního záření opatřena reflexní folií, obě zasklení mají výraznou selektivní tepelnou propustnost. Vzduch mezi tabulemi se ohřívá a ventilátorem spínaným podle teploty v horní části kolektoru je vháněn do zdvojené akumulční zdi z lícových cihel, kterým předává teplo. To je potom s určitou setrvačností předáváno do místnosti. [4]

1.6 Zimní zahrada

Zimní zahrada přispívá ke snížení tepelných ztrát prostupem tepla a je možno využít ji pro předehřev větracího vzduchu. Při umístění směrem na jih snižuje možnost přímých slunečních zisků, často se proto umísťuje směrem na východ a jižní strana je využívána jinými systémy. [1] Pro zasklení střechy lodžie se zpravidla používá komůrkový polykarbonát či izolační dvojsklo. Obvodové prvky bývají zaskleny čirým izolačním dvojsklem uloženým do zasklívacích lišt. Pokud jsou použity kovové konstrukce, musí mít přerušeny tepelné mosty. Dřevěné konstrukce je třeba opatřit nátěrem. Pro otvírání zimní zahrady je možné použít výklopné okno, otvíravé okno, posuvné dveře atd.

1.7 Lodžie

1.7.1 Zábradlí

Zábradlí u lodžií musí být plné nebo s tabulovou výplní, dále sloupkovou ze svislých tyčových prvků, nebo mřížovou. Mezery v zábradlí nesmí být širší než 120 mm. Pokud hrozí podklouznutí či propadnutí, musí být u podlahy zábradlí nejméně 100 mm vysoká lišta. [5]

Zábradlí lze upravit různými způsoby. Pokud je zábradlí tvořeno původní ocelovou konstrukcí, provedou se povrchové úpravy. Jako výplň může být použito také drátěné sklo, které však může vlivem mechanických vlivů či velkým výkyvům teplot prasknout. To bývá způsobeno především faktem, že tabule bývá pevně fixována a nemůže volně dilatovat. Při opravách se tyto výplně uvolní a použije se pružné uložení v kontaktu s ocelí. [5]

Často je požadováno nahrazení kovového zábradlí proskleným. V takovém případě zůstanou pouze nosné, pevně ukotvené prvky zábradlí. Na těch se odstraní zkorodovaná část a opatří se antikoročním nátěrem. Zasklení může být také z tvrzeného skla, ale doporučuje se použít spíše lepené sklo. Další možností je použití hladké desky z vytvrzovaných pryskyřic zesílených dřevitými vlákny a mnoho dalších materiálů. Původní betonové zábradlí je možné nahradit vláknocementovými deskami přišroubovanými z vnější strany ke konstrukci zábradlí. U nově osazovaných balkonů je výplň zábradlí tvořena pruty z pásové oceli, dřevem, polykarbonátovými deskami atd. [5]

1.7.2 Zasklení

Z hlediska úspor nákladů na vytápění je možné dosud otevřené lodžie zasklít a upravit část se zábradlím. Zasklení lodžií přináší tyto výhody:

- Zvýší se teplota vzduchu v lodžii.
- Sníží se spotřeba energie na vytápění.
- Prodlouží se doba používání lodžie během roku.
- Lodžii je možno využít jako zimní zahradu, dojde také k rozšíření obytné zóny.
- Zvýší se ochrana před deštěm, sněhem atd., čímž se zvýší životnost lodžie.
- Ochrana před hlukem, hmyzem atd.
- Při použití uzamykatelné varianty s bezpečnostním sklem se sníží riziko vloupání.

Nevýhodou zasklení lodžie je nutnost občasného umývání zasklení a větrání. Na druhou stranu u nezasklených lodžií je vyšší prašnost, objevují se exkrementy od ptáků a musí se častěji vytírat. Problémy v běžném provozu způsobuje především nutnost větrat. Někteří majitelé se snaží lodžii dokonale izolovat, utěsňují štěrbiny mezi skly, křídlem a kolejnicí i odvodňovací kanálek a snaží se dosáhnout větších tepelných úspor. Nicméně úspor se nemusí dosáhnout, protože zvýšení vlhkosti v lodžii způsobí vznik plísní a na jejich odstranění je třeba vynaložit finanční prostředky.

Do lodžií se usazují takové systémy, které budou propouštět co nejvíce světla, v zimě budou mít co nejmenší tepelné ztráty a vzhledově budou vyhovovat. Používají se 2 zasklívací systémy - rámové a bezrámové.

1.7.3 Bezrámové zasklívací systémy

Při bezrámovém zasklívání nemají mezi sebou jednotlivé dílce svislé rámování, což má příznivý vliv na výsledný vzhled lodžie. Mezi tyto systémy patří Optimi (Finsko), Vario, Almíra, ATRIUMSystems atd. Popis jednotlivých konstrukcí lze nalézt v [5]. Jednoduché je ovládání posuvných a otočných skel. U některých systémů je možné lodžii úplně otevřít, protože skla se při posouvání otáčejí k bočním stěnám. Příklad bezrámového zasklívacího systému je na obr. 2.4.



Obr. 2.4: Bezrámová konstrukce [6]



Obr. 2.5: Rámová konstrukce [6]

1.7.4 Rámové zasklívací systémy

Mezi nejpoužívanější rámové zasklívací systémy patří konstrukce typu Glasa (Švédsko), Veranda, Expodul (Švédsko), Helios, SNP (SR) nebo Akuterm. Jednotlivé systémy jsou popsány v [5]. Rámové zasklení je tvořeno hliníkovými profily, do kterých jsou jednotlivá skla zasazena. Otvírání umožňují posuvná okna, která se pohybují po kolejnicích s ložisky. Některé systémy lze použít pro verandy, zimní zahrady atd. Rámový zasklívací systém je na obr. 2.5.

2 VĚTRÁNÍ BYTŮ

Větráním se rozumí výměna vzduchu k zajištění hygienické nezávadnosti vzduchu v celém prostoru bytu, k zamezení kondenzace vodní páry a k zajištění přívodu spalovacího vzduchu pro plynové spotřebiče [7]. Při současném požadavku na snížení spotřeby energie na vytápění jsou utěšňovány okenní a dveřní spáry a přirozená výměna vzduchu v bytech klesá na hodnoty, které v řadě států nespĺňují hygienické požadavky na větrání. Podle [8] je pro obytné budovy v ČR požadována intenzita větrání $n_N = 0,3 - 0,6 \text{ h}^{-1}$, která se stanovuje bilančním výpočtem, který zahrnuje všechny požadavky na průtok nebo dávku čerstvého vzduchu. Hlavními požadavky pro větrací zařízení podle [9] jsou:

- Větrací zařízením musí zajistit přívod čerstvého vzduchu do prostoru bytu a odvod odpadního vzduchu tak, aby vzduch v bytu vyhovoval hygienickým požadavkům.
- Venkovní vzduch musí být přiváděn tak, aby nevznikal průvan, víření prachu a přenos hluku z vnějšího prostředí.
- Akustické vlastnosti výplní otvorů v bytě musí splňovat požadavky na neprůzvučnost a umožňovat výměnu vzduchu ve všech obytných a pobytových prostorech aspoň jednou za hodinu.
- Venkovní vzduch musí do bytu vstupovat v obytných místnostech a kuchyni a odtud proudit k odvodním prvkům větracího zařízení, které jsou umístěny v kuchyni, koupelně a WC.
- Čerstvý vzduch musí být nasáván z čistého a zdravotně nezávadného prostředí, nejlépe ze severní strany budovy.
- Výfuk odpadního vzduchu nesmí obtěžovat okolí.
- Vyústění odpadního vzduchu musí být ve vzdálenosti nejméně 1,5 m od nasávacích otvorů, východů z únikových cest a otvorů pro přirozené větrání a 3 m od výfukových a nasávacích otvorů pro nucené větrání chráněných únikových cest.
- Je-li odpadní vzduch vyfukován otvorem ve fasádě budovy, musí být v dostatečné vzdálenosti od oken.
- Výfukové a nasávací otvory musí být zakončeny žaluzií s ochranou proti vnikání deště, předmětů apod.
- Všechny části větracího zařízení musí být přístupné a snadno čistitelné.
- Větrací průduch pro kuchyně a WC nesmí být připojen na společném potrubí.
- Zařízení musí být provedeno tak, aby dešťová voda nebo kondenzát nemohl zatékat do prostorů domu.
- Vzduchotechnická zařízení umožňující úpravu teploty vzduchu musí mít automatickou regulaci.

Způsoby větrání bytů podle [7] jsou:

- 1) Přirozené větrání.
- 2) Nucené větrání podtlakové.
- 3) Nucené větrání rovnotlaké.

U přirozeného větrání dochází k proudění vzduchu vlivem rozdílných teplot a tlaků mezi větranou a sousední místností nebo mezi větranou místností a venkovním prostředím. U nuceného oběhu je výměna vzduchu zajištěna pomocí jednoho nebo více ventilátorů.

2.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání bytů lze rozdělit na neřízené, kdy dochází k výměně vzduchu infiltrací, řízené otevíráním oken a šachtové. Tyto způsoby se prolínají. Přirozené větrání je závislé na meteorologických podmínkách, poloze bytu atd. [7]

2.1.1 Neřízené a řízené větrání

K větrání dochází infiltrací vzduchu netěsnostmi. Při bezvětrí dochází k infiltraci pouze vlivem rozdílu teplot vnitřního a vnějšího prostředí. Intenzitu větrání lze zvýšit otevřením oken. Jedná se o nejlevnější variantu, parametry neodpovídají současným hygienickým a komfortním požadavkům a také dochází k velkým tepelným ztrátám. V letním období za bezvětrí je vlivem malého rozdílu teplot infiltrace nefunkční. [7]

2.1.2 Šachtové větrání

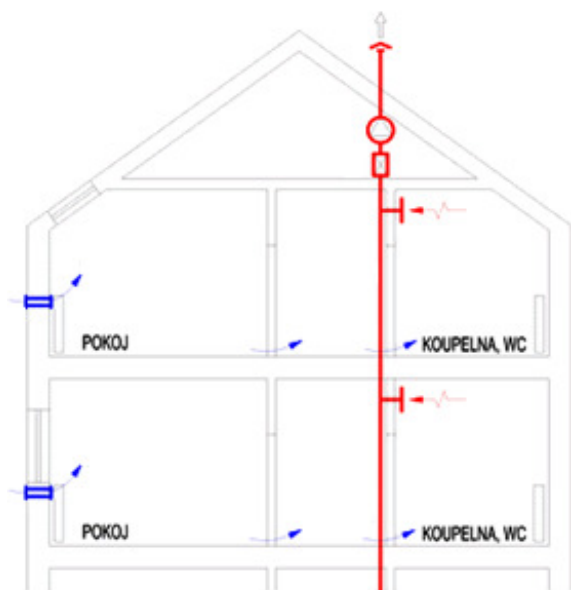
Hnací silou je rozdíl hustot vzduchu v důsledku rozdílné teploty uvnitř a vně budovy. Větrací mřížky z místností jsou vedeny do sběrné větrací šachty. Šachty mohou sloužit pro přívod i odvod vzduchu. Zpravidla se používají pro odvod vzduchu a pro přívod slouží přívodní otvory za otopným tělesem, aby byl v zimním období zajištěn ohřev vzduchu. Jde o levnou, bezúdržbovou metodu, parametry však neodpovídají současným hygienickým a komfortním požadavkům. Dochází k velkým tepelným ztrátám, větrání není regulovatelné a může docházet k pronikání hluku z venkovního prostoru. Šachtové větrání bez ventilátoru je používáno ve starších stavbách, kde je jednou z možností přívod vzduchu u oken a odvod větrací šachtou a druhou přívod i odvod vzduchu větrací šachtou. Často se používá větrací hlavice, která zvyšuje podtlak v šachtě, pokud fouká vítr. [10]

2.2 Nucené větrání podtlakové

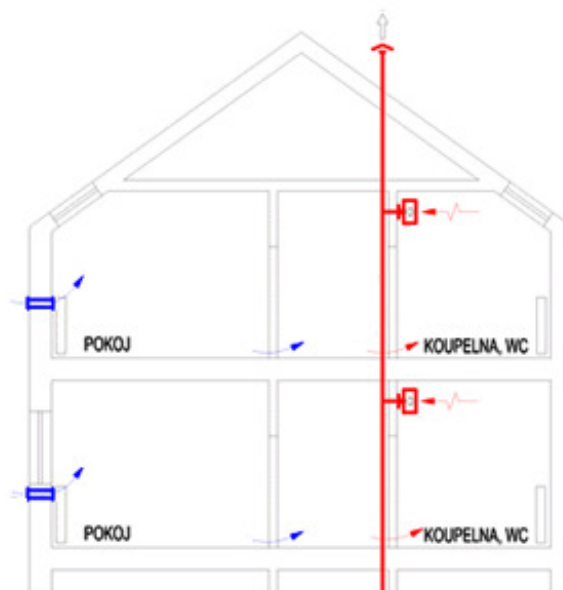
Nucené podtlakové větrání se realizuje tak, že vzduch z místností se zdroji škodlivin nebo vlhkosti (koupelna, WC, kuchyně) je nuceně odváděn, přívod vzduchu je zajištěn přirozeným způsobem. Soustavy ve vícepodlažních budovách mohou být centrální nebo individuální. [11]

2.2.1 Centrální nucené podtlakové větrání

Při centrálním nuceném podtlakovém větrání je ventilátor umístěn na společném potrubí (zpravidla na střeše) a je společný pro 6-8 bytů [11], což jsou spolu s vysokou ztrátou tepla hlavní nevýhody tohoto systému. Ventilátor musí být dimenzován na odvod vzduchu ze všech připojených bytů. V noci se předpokládá omezený provoz (od 22:00 do 6:00) [9]. Přívod vzduchu je zajišťován okenními spárami, otevřenými okny nebo speciálními fasádními prvky [11]. Výhodou tohoto systému jsou relativně nízké pořizovací náklady. Systém centrálního větrání je na obr. 3.1.



Obr. 3.1: Systém centrálního větrání [12]



Obr. 3.2: Systém individuálního větrání [12]

2.2.2 Individuální nucené podtlakové větrání

U individuálních soustav má každé podlaží nebo byt jeden nebo více svých vlastních ventilátorů. Přívod vzduchu je zajišťován stejným způsobem jako v případě centrálního nuceného podtlakového větrání. Podle [11] lze realizovat 2 zapojení:

- Postupné zapojení WC, koupelny a kuchyně na sací vodorovný kanál s výfukem do fasády (varianta č. 1).
- Ventilátory umístěné v koupelně, na WC a v kuchyňském odsavači jsou připojeny ke svislým vzduchovodům vyústěným nad střechou (varianta č. 2).

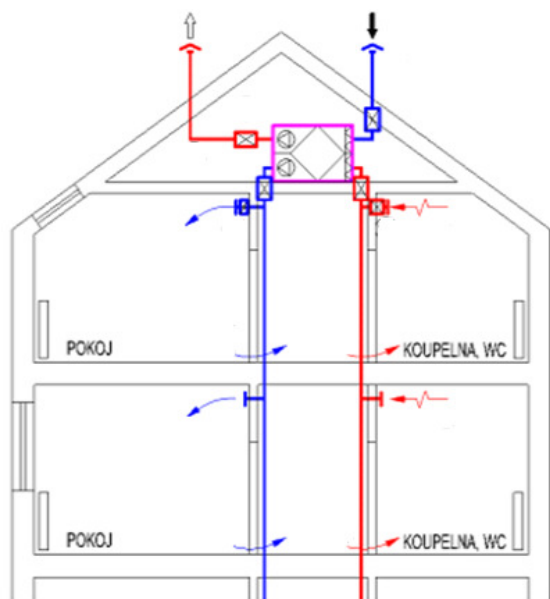
Při variantě č. 2 nesmí být provozem ventilátoru v jednom podlaží narušen odvod vzduchu z jiného podlaží. Díky uzavřeným zpětným klapkám, namontovaným v každém podlaží do potrubí, neproniká odpadní vzduch do jiných bytů. V každém podlaží nebo bytě je systém zapínán individuálně. Hlavní výhodou tohoto systému je jeho jednoduchost, malé nároky na prostor a snadná instalace do nových i rekonstruovaných budov. Pořizovací náklady jsou oproti centrálnímu systému o něco vyšší [11]. Systém individuálního větrání pro variantu č. 2 je zobrazen na obr. 3.2.

2.3 Nucené větrání rovnotlaké

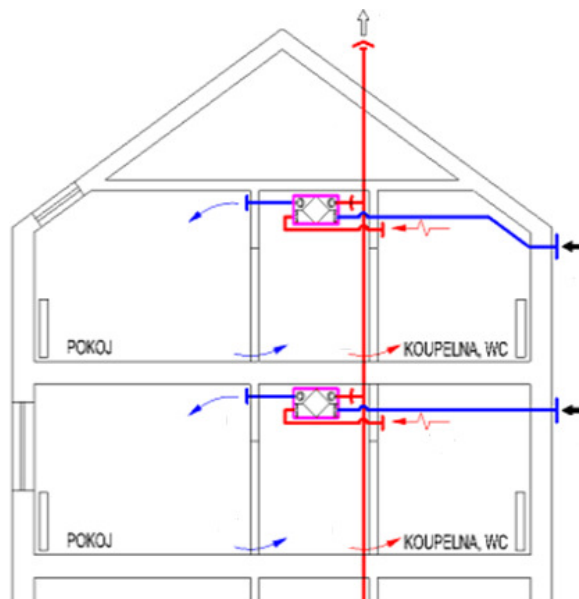
Při nuceném rovnotlakém větrání je nucený přívod i odvod vzduchu, což umožňuje zpětné získávání tepla (ZZT). Nevýhodou oproti podtlakovým systémům bývají především vyšší pořizovací náklady a vyšší prostorové nároky pro vzduchovody a větrací jednotku. Dle provedení se rozlišuje individuální a centrální větrací systém. [10]

2.3.1 Centrální rovnotlaký systém

Větrání zajišťuje centrální jednotka, která bývá vybavena výměníkem ZZT (obr. 3.3). Jednotka je společná pro jeden či více sloupců bytů nad sebou [11]. Sání by mělo být dostatečně vzdáleno od výfuku, přičemž vzduch je přiváděn a odváděn dvěma vzduchovody. Distribuční elementy by měly zajistit dostatečný dosah proudu, aby byla místnost rovnoměrně provětrána. Dále musí zařízení automaticky vyrovnávat tlakové poměry v přívodních a odváděcích vzduchovodech při zásahu jednotlivých uživatelů, proto obsahuje ventilátory s proměnnými otáčkami.



Obr. 3.3: Centrální rovnotlaký systém [12]



Obr. 3.4: Individuální rovnotlaký systém [12]

Nevýhodou tohoto systému větrání jsou vysoké nároky na prostor pro umístění vzduchotechnické (VZT) jednotky a vzduchovodů. Ventilátory musí mít tlumiče hluku, aby hluk neobtěžoval obyvatele domu a okolí.

2.3.2 Individuální rovnotlaký systém

Hlavním prvkem individuálního rovnotlakého systému je jedna bytová větrací jednotka, umístěná v kuchyni, předsíni nebo bytovém jádru pod stropem. Sání vzduchu může být realizováno společným potrubím, nebo z fasády (obr. 3.4). Jako koncové prvky jsou použity obdélníkové nebo štěrbinové vyústky. Odváděný vzduch proudí větracími otvory v příčkách nebo dveřích k odváděcím elementům (např. odsavač par), odtud zpět do jednotky a do svislého rozvodu. Před svislým vzduchovodem je osazen tlumič hluku, uzavírací a protipožární klapka. [11]

Další možností je použití více větracích jednotek pro jednotlivé obytné místnosti (rovnotlaké větrání jednotlivých obytných místností a podtlakové větrání kuchyně, koupelny a WC). Jednotka je okenního nebo nástěnného provedení a obsahuje přepínač pro letní provoz bez ZZT. Regulace otáček bývá stupňovitá. Oproti systému s jednou bytovou jednotkou se jedná o méně komfortní systém [11].

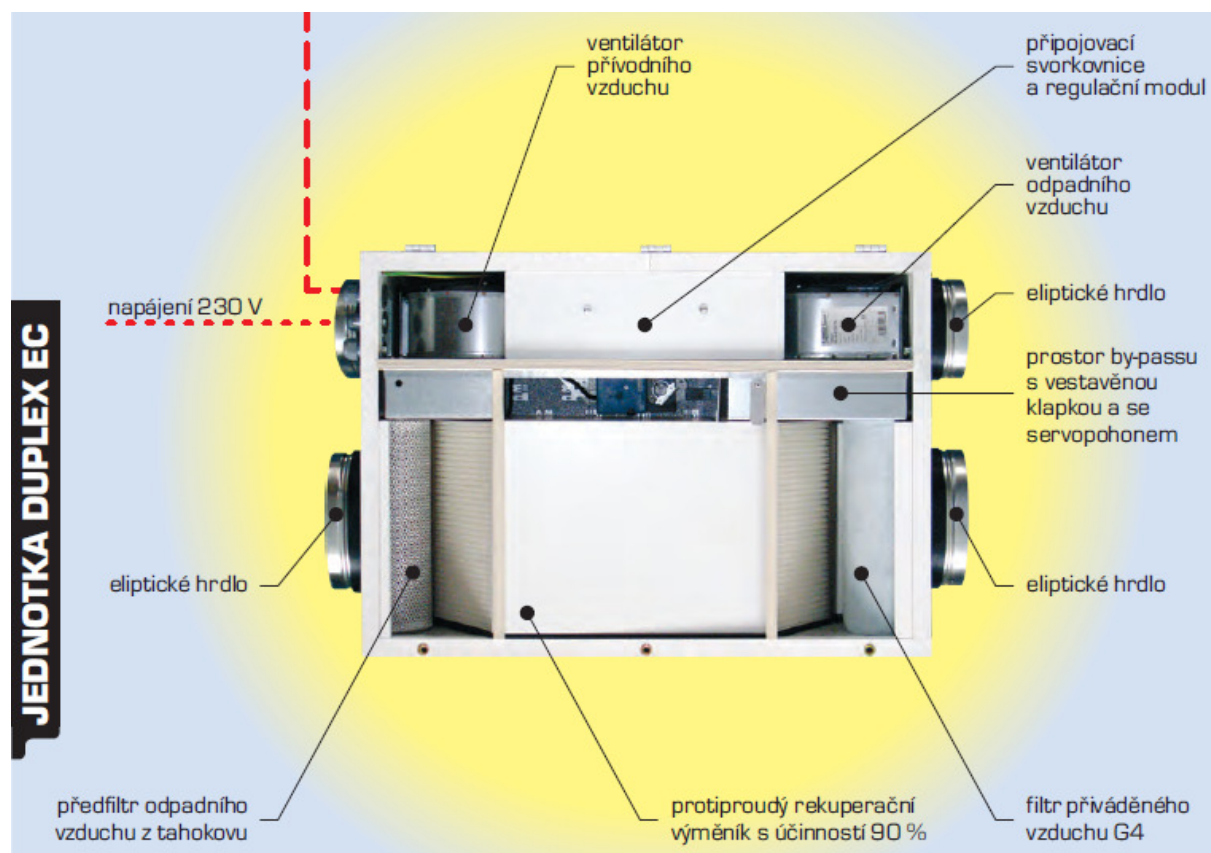
2.3.3 Větrací jednotky se zpětným získáváním tepla

Zpětné získávání tepla (ZZT) je proces, při kterém je vzduch přiváděný do místnosti ohříván nebo ochlazován vzduchem odváděným [9]. Účinnost rekuperace závisí na mnoha faktorech a bude podrobněji popsána v kap. 7.1.

Vyvíjejí a testují se nové typy výměníků s cílem dosáhnout optimálního poměru mezi jejich účinností a tlakovou ztrátou. Nejčastěji se používají deskové výměníky tepla, které mají křížové nebo protiproudé uspořádání, a rotační výměníky, jednotlivé typy jsou zobrazeny na obr. 3.5. Pro popis je použita jednotka firmy Atrea DUPLEX 230 EC, pro kterou bylo provedeno energetické vyhodnocení simulací v praktické části.



Obr. 3.5: Výměník křížový (vlevo), rotační (uprostřed) a protiproudý (vpravo) [13]



Obr. 3.6: Větrací rekuperační jednotka Atrea DUPLEX 230 EC [4]

Následující text této kapitoly je vypracován na základě informací uvedených v [4]. Na obr. 3.6 je zobrazena větrací rekuperační jednotka DUPLEX 230 EC, jejíž skříň má polyuretanovou izolaci a obsahuje protiproudý rekuperační výměník z plastu hPS (houževnatý polystyrén). Tento plast je parotěsný a nedochází proto k přenosu vlhkosti. Firma Atrea vyrábí desky výměníku ve dvou základních provedeních:

- Typ F

Výměníky tohoto typu jsou optimalizovány z hlediska jejich tlakové ztráty. Nemají turbulizační prolisy a používají se pro vyšší výkony vzduchu.

- Typ G

Jednotlivé desky jsou vybaveny diagonálně příčnými turbulizačními prolisy, což nejvýše o 10 % zvyšuje účinnost ZZT oproti výměníkům bez těchto prolisů. Na druhou stranu mají výměníky typu G vyšší tlakovou ztrátu, proto jsou vhodné pro menší průtoky vzduchu.

Výška kanálků je 5 - 7,5 mm, stabilita a tuhost je zajištěna bodovým lepením po celé ploše a spojitým obvodovým slepením okrajů. Nároží bloků je vytmelené a překryté nerez lištou.

Jednotky DUPLEX s regulačním modulem RMD jsou vybaveny mikroprocesorem, který řídí protimrazovou ochranu, která spočívá v tom, že pokud dojde k zamrznutí tvořícího se kondenzátu z odpadního vzduchu, sníží se množství přiváděného vzduchu regulací otáček ventilátoru po dobu potřebnou k odmrazení odpadním vzduchem.

Tepelná odolnost těchto výměníků je zaručena v rozmezí teplot $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Protipožární odolnost zajišťují retardéry hoření v granulátu desek a odpovídá normě UL 94. Přípustný tlakový rozdíl mezi vzdušninami je při běžných teplotách ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $30\text{ }^{\circ}\text{C}$) 600 Pa a výměníky je možno použít v rozsahu pH 3,5 - 11.

Rekuperační výměníky hPS zajišťují při filtraci alespoň G1 průchodnost kanálků i při vysokém znečištění, čemuž napomáhá také nižší drsnost povrchu desek oproti kovovým povrchům.

Pro přívod a odvod vzduchu jsou použity 2 radiální ventilátory s elektronickým EC řízením, které mají až o 60 % nižší příkon oproti radiálním ventilátorům bez řízení. Přesných průtoků vzduchu je dosaženo automatickou regulací otáček.

Všeobecně se jako filtr přívodního vzduchu se doporučuje použít aspoň filtr G4. Jednotka obsahuje filtr odpadního vzduchu a by-pass s automaticky řízenou klapkou, čehož se využije např. při letním provozu v noci, kdy má venkovní vzduch nižší teplotu než vzduch v místnosti, kterou chceme ochlazovat. Jednotky jsou dodávány v provedení podlahovém, parapetním nebo podstropním.

Jednotka je pro plnění základních funkcí osazena digitálním řídicím modulem a je možné ji řídit regulátorem CP 08 RD s grafickým displejem nebo tímto regulátorem bez ovladače pouze napětím 0 - 10 V, např. z čidla CO₂. Volitelné je osazení tlumičů hluku či elektrického nebo teplovodního ohříváče.

3 PŘENOS TEPLA V PROGRAMU THESEUS-FE

THESEUS-FE je simulační program vyvíjený firmou P+Z Engineering GmbH a je primárně využíván v leteckém a automobilovém průmyslu, především pro predikci tepelné pohody. Je vhodný pro tepelné vyhodnocení jak jednoduchých, tak velmi složitých úloh, a to časově ustálených i proměnných. Pro import geometrie modelu využívá formát NASTRAN, na kterém jsou následně definovány materiálové vlastnosti a okrajové podmínky. Následuje výběr a nastavení řešiče. Tato kapitola se zabývá mechanismy přenosu tepla a jejich výpočtovou implementací v programu THESEUS-FE 4, který je použit pro řešení simulací v této práci. Informace jsou čerpány z [14], není-li uvedeno jinak.

3.1 Přenos tepla vedením

3.1.1 Fourierův zákon

Vedení tepla v třírozměrném tělese v ose x, y, z popisuje Fourierův zákon [15]:

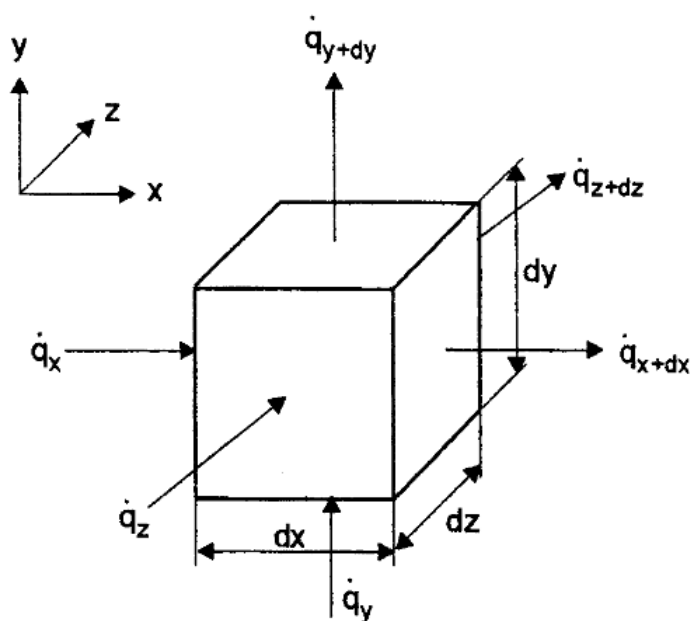
$$\vec{\dot{q}} = -\lambda \vec{\nabla} T, \quad (4.1)$$

kde λ je tepelná vodivost a $\vec{\nabla} T$ je teplotní gradient a má tvar [15]:

$$\vec{\nabla} T = \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}, \quad (4.2)$$

3.1.2 Zjednodušená diferenciální rovnice energie

Často nás zajímá teplotní pole v tělese. Rovnice, která toto pole popisuje se nazývá rovnice energie nebo také rovnice tepelné difúze a lze ji odvodit na 3D tělese pro případ měnícího se teplotního pole v čase. [15]



Obr. 4.1: Elementární bojem pro 3D analýzu vedení tepla (kartézský souřadnicový systém) [15]

Na obr. 4.1 je zobrazena krychle o objemu $dx dy dz$, jejíž stěna má plochu S a tepelné toky procházející touto stěnou souřadnice x, y, z . Tepelné toky vystupují z objemového elementu stěnami, jejichž souřadnice jsou $x + dx, y + dy, z + dz$. V objemu je generována tepelná energie, energetickou bilanci pro tento element lze zapsat takto [15]:

$$\begin{bmatrix} \text{tepelný tok} \\ \text{vstupující do} \\ \text{elementu} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{tepelná energie} \\ \text{generovaná v} \\ \text{elementu} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{změna vnitřní} \\ \text{energie v} \\ \text{elementu} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{tepelný tok} \\ \text{vystupující z} \\ \text{elementu} \end{bmatrix}$$

Po vyjádření jednotlivých tepelných toků a úpravách má rovnice energie tento tvar [15]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{Q}_{zdroj} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (4.3)$$

kde ρ je hustota, c tepelná kapacita a t čas. Tento vztah lze zapsat také v tomto tvaru:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \dot{Q}_{zdroj} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (4.4)$$

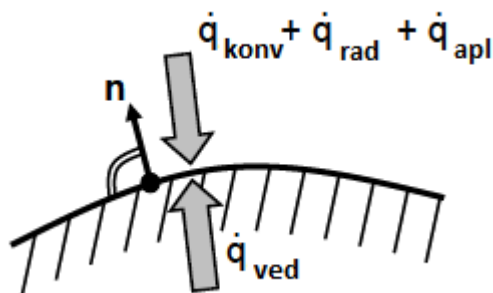
kde k_{ij} je symetrického tenzor tepelné vodivosti, indexy $i, j = 1, 2, 3$ reprezentují tři souřadnice.

3.1.3 Zachování energie na povrchu

Na povrchu Γ vede zákon o zachování energie na tento vztah:

$$-\left(k_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) n_i = \dot{q}_{ved} = -(\dot{q}_{konv} + \dot{q}_{rad} + \dot{q}_{apl}), \quad (4.5)$$

kde tepelný tok vedením \dot{q}_{ved} se skládá z tepelného toku radiací \dot{q}_{rad} , tepelného toku konvekcí \dot{q}_{konv} a aplikovaného tepelného toku \dot{q}_{apl} . Tyto tepelné toky mohou být funkcemi pozice $\vec{s} = (s_1, s_2, s_3)$ a času t . Graficky je výše uvedené na obr. 4.2.



Obr. 4.2: Zachování energie na povrchu [14]

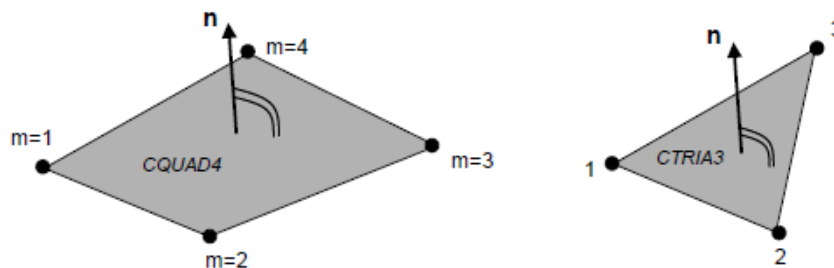
Každá stěna má svoji pozitivní a negativní stranu, přičemž jednotlivé vrstvy jsou zadávány směrem od negativní strany k pozitivní. Povrchové tepelné toky a teploty lze nastavit zvlášť pro pozitivní i negativní stranu. Pro každou vrstvu stěny je možné nastavit generovaný tepelný tok, stejně jako teplotu.

Řešená oblast je rozdělena na příslušné konečné elementy (výpočetní síť). Na výběr jsou elementy typu SHELL a SOLID. Tzv. slabá forma z (4.1) a (4.3) přes konečný element Ω_e je získána vynásobením (4.1) funkcí hmotnosti $w(x)$ a integrováním přes celý povrch elementu. Zákon zachování energie má pak tento tvar:

$$\int_{\Omega_e} \left[w \left(\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \dot{Q}_{zdroj} \right) + k_{ij} \frac{\partial w}{\partial x_i} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] d\bar{x} - \oint_{\Gamma^e} w (\sum - \dot{q}_{ved}) d\bar{s} = 0. \quad (4.6)$$

3.1.4 Elementy typu SHELL

Elementy typu SHELL jsou typu CQUAD a CTRIA, jak je znázorněno na obr. 4.3.



Obr. 4.3: Element typu CQUAD (vlevo) a CTRIA (vpravo) [14]

Podle způsobu přenosu tepla je možné rozdělit je na 0D, 1D a 3D.

Typ 0D je obvykle používán, když jsou dány teploty v určitých oblastech pláště. Nevytváří žádný stupeň volnosti, jednotlivé elementy jsou od sousedních konduktivně odděleny, ale můžou přenášet teplo vlivem konvekce a dlouhovlnného záření. Uplatňují se při přenosu tepla radiací v kavitě, což je otevřený nebo uzavřený prostor obklopený plochami, kde jsou uvažovány úhlové faktory, a k přenosu tepla konvekcí mezi objemy a vzduchovými zónami.

1D typ je zjednodušením níže uvedeného 3D typu a vyznačuje se malým počtem chyb v FE maticích, protože každý element je vodivě oddělen od okolních elementů a umožňuje vedení tepla v jednom směru. Je používán pro prvky s velice malou tepelnou vodivostí, např. pro plasty a zajišťuje rychlé numerické řešení.

3D typ umožňuje vedení tepla ve všech směrech. Uzlové body, v nichž je určována teplota, jsou umístěny v uzlech elementu (body 1 - 4 na obr. 4.3), zatímco u 1D typu jsou umístěny ve středu. Pro určení průběhu teploty po tloušťce stěny je použita Lagrangeova interpolace nebo příkaz definovaný uživatelem. 3D SHELL element se v nastavení programu označuje PSHELL3, 1D SHELL element PSHELL1 atd. 3D vedení tepla je možné mezi elementy PSHELL3, mezi elementy SOLID a PSHELL3 a mezi elementy SOLID.

3.1.5 Vzduchová vrstva

V THESEU-FE je podporován přenos tepla skrz vzduchovou a vakuovou vrstvu pro elementy typu PSHELL1 a PSHELL3. Tato volba umožňuje přenos tepla pouze ve směru normály k dané ploše. Vakuová vrstva uvažuje přenos tepla zářením, vzduchová vrstva uvažuje přenos tepla zářením i konvekcí (obr. 4.4). Tepelný tok zářením program počítá jako by se jednalo o nekonečně rozlehlé rovinné paralelní plochy podle vztahu [15]:

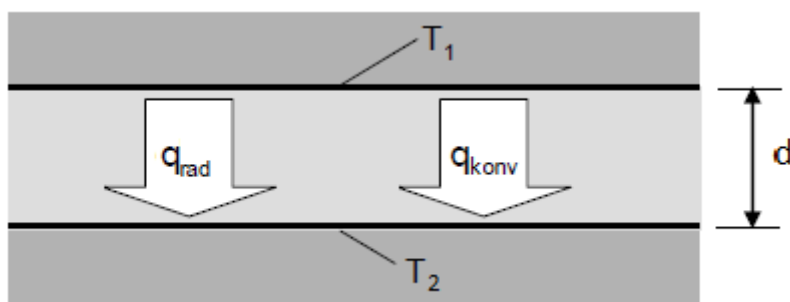
$$\dot{q}_{1-2} = \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} - \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \quad (4.7)$$

kde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ je Stefan-Boltzmannova konstanta, ε_1 a ε_2 jsou poměrné zářivosti povrchů 1 a 2 a T_1 a T_2 jsou teploty povrchů 1 a 2.

Tepelný tok konvekcí se spočte podle následujícího vztahu [15]:

$$\dot{q} = \alpha(T_1 - T_{vzd}), \quad (4.8)$$

přičemž T_{vzd} je teplota vzduchu a spočte se jako $T_{vzd} = \frac{(T_1 + T_2)}{2}$.



Obr. 4.4: Přenos tepla vzduchovou vrstvou [14]

Celkový tepelný tok vzduchovou vrstvou je dán součtem radiačního a konvektivního tepelného toku, pro velice tenké vrstvy se konvektivní část nahrazuje konduktivní. V nastavení je třeba zadat součinitel přestupu tepla α na povrchu kolem vzduchové vrstvy a také emisivity těchto povrchů.

3.2 Přenos tepla konvekcí

Tato kapitola je vytvořena na základě [15]. Přenos tepla konvekcí se skládá ze dvou mechanismů:

- Prvním je difúze -KONDUKCE.
- Druhým mechanismem je ADVENCE, kde dochází k tomu, že se velké množství molekul pohybuje kolektivně, ve velkých objemech.

V tomto proudícím objemu si molekuly ponechávají svůj náhodný pohyb, proto je přenos energie dán sloučením těchto mechanismů - KONVEKCIÍ.

Podle povahy proudění lze konvekci rozdělit na:

- Nucenou
- Přírozenou
- Kombinovanou

Pro přenášený měrný tepelný tok konvekcí platí Newtonův ochlazovací zákon:

$$\dot{q} = \alpha(T_w - T_\infty), \quad (4.9)$$

kde α je součinitel přestupu tepla, T_w je teplota povrchu obtékaného tělesa a T_∞ je teplota tekutiny v dostatečné vzdálenosti od povrchu.

Konvekci lze dále rozdělit na:

- Nucenou konvekci při vnějším proudění
- Nucenou konvekci při vnitřním proudění

Dle režimu proudění lze dále konvekci rozdělit na laminární a turbulentní.

Jelikož se režim proudění kolem obtékaného povrchu neustále mění, mění se také součinitel přestupu tepla a tedy i přenášený tepelný tok. Celkový tepelný tok, přenášený z celého povrchu o ploše S se určí integrací lokálního tepelného toku přes povrch S :

$$\dot{Q} = \int_S \dot{q} dS = (T_w - T_\infty) \int_S \alpha dS = \bar{\alpha} S (T_w - T_\infty), \quad (4.10)$$

kde $\bar{\alpha}$ je střední součinitel přestupu tepla pro celý povrch S a jeho definice je:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{S} \int_S \alpha dS. \quad (4.11)$$

Pro rovinnou desku, kdy se α mění pouze ve směru proudění (ve směru osy x) se definice $\bar{\alpha}$ zjednoduší:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{L} \int_0^L \alpha dx. \quad (4.12)$$

Analytická řešení součinitele přestupu tepla v literatuře se vždy zabývají určením Nusseltova čísla Nu . Vztah mezi součinitelem přestupu tepla a Nu je následující:

$$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}, \quad (4.13)$$

kde L je charakteristický rozměr a λ je tepelná vodivost. Nusseltovo číslo je pro nucenou konvekci funkcí Reynoldsova čísla Re a Prandtlova čísla Pr . Pro přirozenou konvekci je Nusseltovo číslo funkcí Grashofova GR a Prandtlova Pr čísla. Vztahy pro výpočet jsou následující:

$$Re = \frac{vL}{\nu}, \quad (4.14) \quad Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu c_p \rho}{\lambda}, \quad (4.15) \quad Gr = \frac{g\beta(T - T_\infty)L^3}{\nu^2}, \quad (4.16)$$

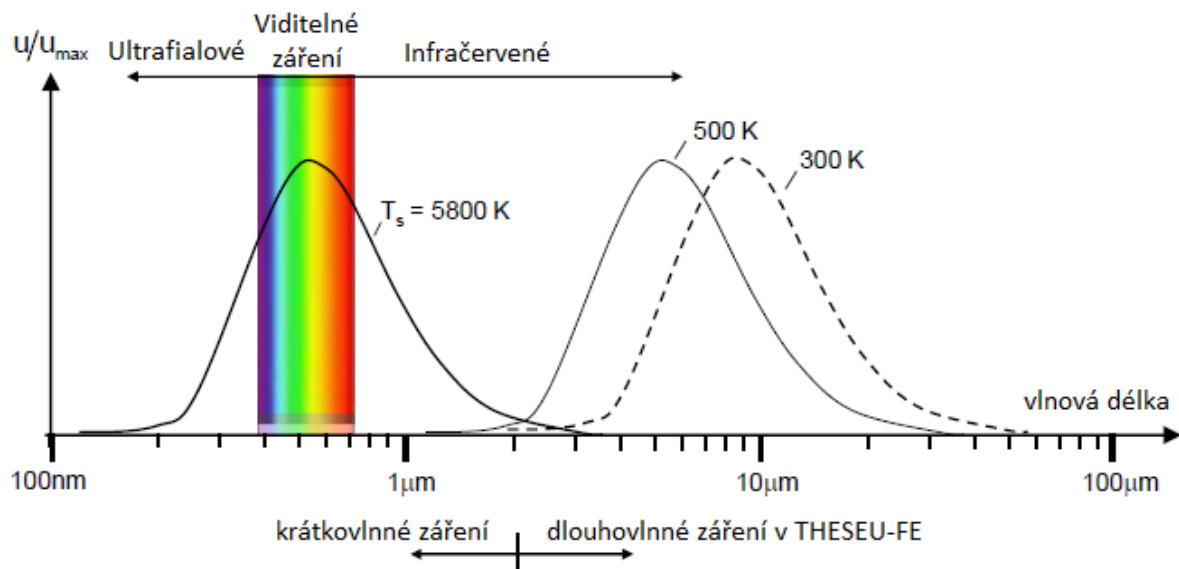
kde ν je rychlost proudění, ν kinematická viskozita, a teplotní vodivost, c_p tepelná kapacita, ρ hustota, λ tepelná vodivost, g gravitační zrychlení, β součinitel objemové roztažnosti a T je teplota. Vše se vztahuje k proudící tekutině.

V [14] je přenos tepla konvekci rozdělen do těchto kapitol:

- Nucená konvekce na desce
- Nucená konvekce uvnitř trubky
- Přirozená konvekce na desce

V této práci je vzhledem k neznámým podmínkám proudění vzduchu kolem lodžie zadán součinitel přestupu tepla na všechny stěny ručně a program konvekci počítá podle výše uvedených vztahů.

3.3 Přenos tepla radiací



Obr. 4.5: Spektrální hustoty energie černého tělesa a vyznačení rozsahu spektra slunečního záření [14]

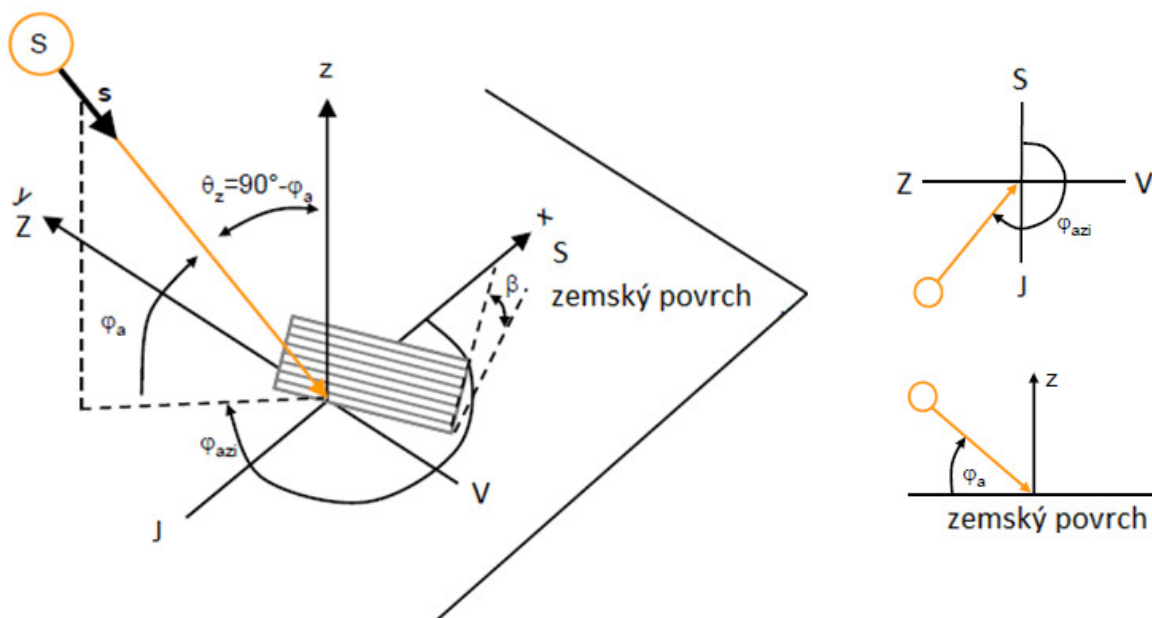
Na obr. 4.5 jsou zobrazeny spektrální hustoty energie černého tělesa v závislosti na vlnové délce. Pro přenos tepla radiací uvažuje THESEUS-FE dva typy řešičů. První se zabývá přímým a difúzním krátkovlnným zářením (200-2500 nm) od Slunce. Solární tepelné toky z krátkovlnného záření jsou u transienčních simulací aktualizovány na začátku každého časového kroku.

Druhý typ se zabývá dlouhovlnným zářením mezi plochami o různé teplotě uvnitř radiační kavity (pojem vysvětlen na str. 25). Při nahrazení reálného tělesa šedým tělesem lze uvažovat difúzní odraz, nebo jej neuvažovat u černého tělesa. Tepelné toky dlouhovlnným zářením jsou aktualizovány při každé nelineární iteraci.

3.3.1 Krátkovlnné záření (sluneční)

Slunce se skládá z atomárního vodíku s malou příměsí helia a malým množstvím dalších prvků. Zdrojem sluneční energie je přeměna vodíku na helium pomocí termionukleární reakce, která probíhá ve středních oblastech Slunce. K přeměně dochází při teplotě $13 \cdot 10^6$ K, tlaku $2 \cdot 10^{10}$ Mpa. Povrchová teplota Slunce je přibližně 5000 K. Do kosmického prostoru vyzařuje $3,85 \cdot 10^{26}$ W v celém rozsahu spektra od 10^{-10} m až do největších centimetrových a metrových délek. Na cestě k Zemi dlouhé 150 milionů km není sluneční záření ničím pohlcováno a přichází na hranici atmosféry v původní podobě, ve které opustilo Slunce. Atmosféra Země sahá až do výšky přesahující 1000 km a je složena především z dusíku a kyslíku. Ve výškách nad 60 km jsou tyto atmosférické plyny ionizovány ultrafialovým a rentgenovým zářením (ionosféra), ve výškách 20 - 30 km je ultrafialové záření zachycováno v tzv. ozonoféře. [16]

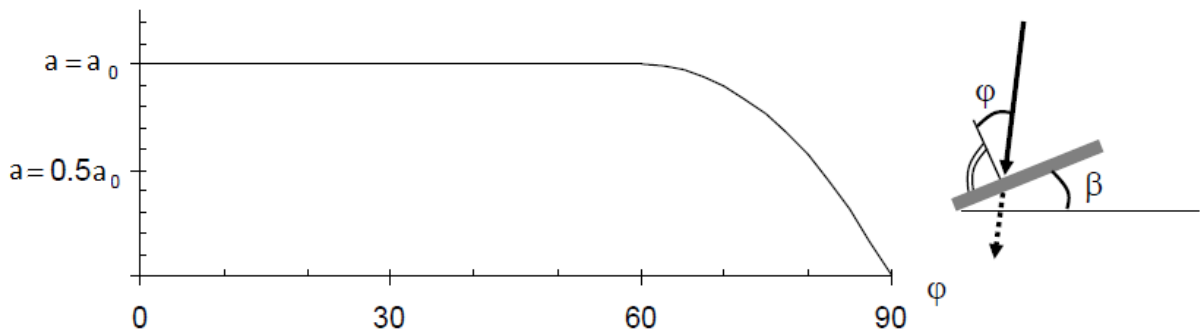
Při čisté obloze dopadá kolem 90 % slunečního záření na zemský povrch jako přímé záření a kolem 10 % jako difúzní záření. V programu je třeba zadat sluneční azimut φ_{azi} , výšku Slunce nad obzorem φ_a , intenzitu přímé sluneční radiace na povrch kolmý k záření I_d a difúzní sluneční radiaci na vodorovný povrch I_{dif} jako funkci denní doby. Definice slunečních úhlů jsou zobrazeny na obr. 4.6.



Obr. 4.6: Definice slunečních úhlů [14]

Pro krátkovlnné záření je nutné zadat absorptanci a . THESEUS-FE ji přepočítá v závislosti na úhlu dopadu záření podle následujících vztahů, význam použitých úhlů je patrný z obr. 4.7.

$$\begin{aligned} \varphi < 60^\circ \quad a(\varphi) &= a_0, \\ \varphi > 60^\circ \quad a(\varphi) &= a_0 \cdot 4 \cos(\varphi)[1 - \cos(\varphi)]. \end{aligned} \quad (4.17)$$



Obr. 4.7: Automaticky upravovaná krátkovlnná absorptance [14]

Pokud se jedná o povrch s nenulovou transmisivitou, je nutné zadat absorptanci a a transmitanci t , které závisí na úhlu dopadu φ . Reflektance r se dopočítá ze vztahu:

$$r = 1 - a - t. \quad (4.18)$$

Pro přímou sluneční radiaci je určení úhlu dopadu φ jednoduché, ale pro difúzní sluneční radiaci je tento úhel neznámý. Některé vztahy v literatuře však berou v úvahu přenos difúzního záření skrz sklo s různým úhlem sklonu β :

$$\begin{aligned} \varphi_{eff, obloha} &= 59,7 - 0,1388\beta + 0,001497\beta^2, \\ \varphi_{eff, zem} &= 90 - 0,5788\beta + 0,002693\beta^2. \end{aligned} \quad (4.19)$$

První vztah platí pro difúzní záření od oblohy, druhý platí pro difúzní záření vlivem odrazu od země.

3.3.1.1 Krátkovlnné záření (sluneční) na vnější povrch

Tepelný tok zářením dopadající na vnější povrch obsahuje přímou sluneční radiaci a difúzní sluneční radiaci od oblohy a země:

$$\dot{q} = I_d \cos(\varphi) + I_{dif} F_{obloha} + I_{zem} F_{zem} r_{zem}, \quad (4.20)$$

kde r_{zem} je reflektivita na zemském povrchu, F_{obloha} a F_{zem} jsou úhlové součinitele, které THESEUS-FE určí podle následujících vztahů:

$$\begin{aligned} F_{obloha} &= [1 + \cos(\beta)]/2, \\ F_{zem} &= [1 - \cos(\beta)]/2. \end{aligned} \quad (4.21)$$

Celkový sluneční tepelný tok může být rozdělen na absorbovaný \dot{q}_a , odražený \dot{q}_r a transmitovaný \dot{q}_t , přičemž pro neprůhledné povrchy ($t = 0$) platí:

$$\begin{aligned}
\dot{q}_a &= aI_d \cos(\varphi) + a_0 I_{dif} F_{obloha} + a_0 I_{zem} F_{zem} r_{zem}, \\
\dot{q}_t &= 0, \\
\dot{q}_r &= (1-a)I_d \cos(\varphi) + (1-a_0)I_{dif} F_{obloha} + (1-a_0)I_{zem} F_{zem} r_{zem}.
\end{aligned}
\tag{4.22}$$

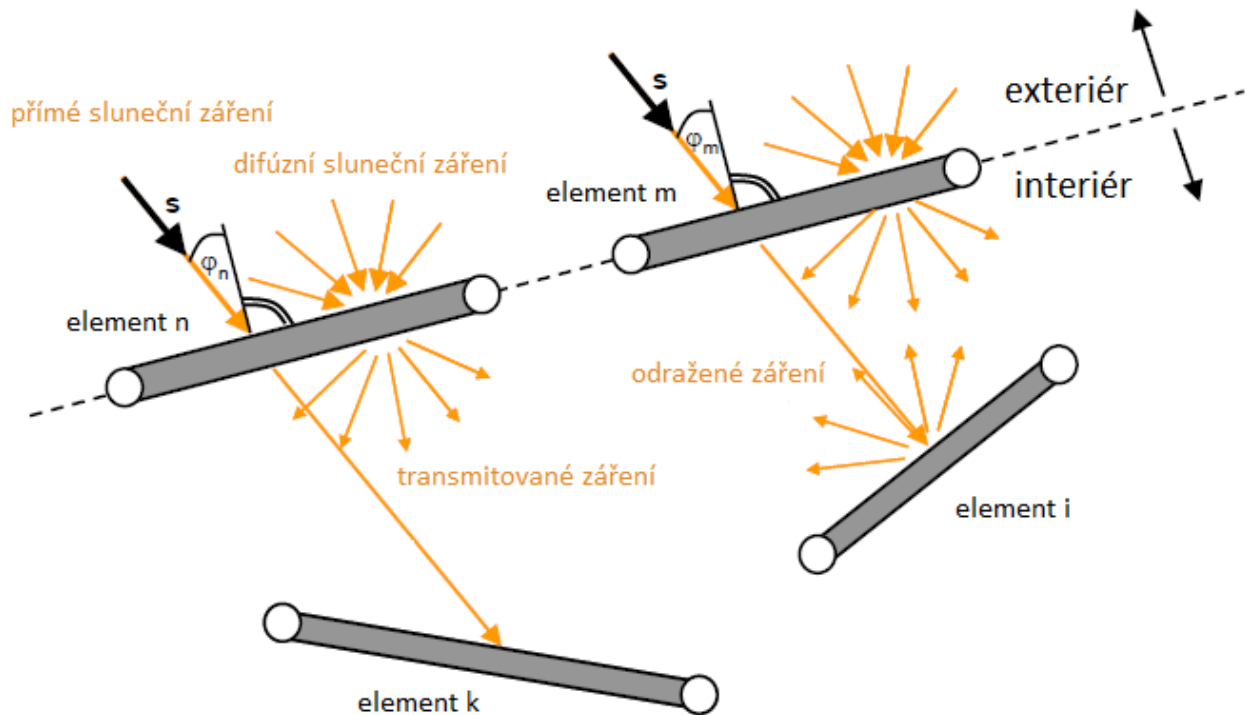
Rozdíl mezi a a a_0 je na obr. 4.7. Pro skla silně závisí krátkovlnné radiační vlastnosti povrchu (a, t, r) na úhlu dopadu. Jak již bylo zmíněno, úhel dopadu pro přímou a difúzní sluneční radiaci není stejný. Z tohoto důvodu se pro sluneční záření na skleněný vnější povrch použijí tyto vztahy:

$$\begin{aligned}
\dot{q}_a &= a(\varphi)I_d \cos(\varphi) + a(\varphi_{eff,obloha})I_{dif} F_{obloha} + a(\varphi_{eff,zem})I_{zem} F_{zem} r_{zem}, \\
\dot{q}_t &= t(\varphi)I_d \cos(\varphi) + t(\varphi_{eff,obloha})I_{dif} F_{obloha} + t(\varphi_{eff,zem})I_{zem} F_{zem} r_{zem}, \\
\dot{q}_r &= r(\varphi)I_d \cos(\varphi) + r(\varphi_{eff,obloha})I_{dif} F_{obloha} + r(\varphi_{eff,zem})I_{zem} F_{zem} r_{zem}.
\end{aligned}
\tag{4.23}$$

3.3.1.2 Krátkovlnné záření (sluneční) na vnitřní povrch

Tepelný tok slunečním zářením dopadajícím na element v interiéru se skládá z přímé a difúzní solární radiace, která projde vnějším povrchem a difúzní sluneční radiace od dalších elementů v interiéru (obr. 4.8). Tepelný tok slunečním zářením dopadající na vnitřní element k je:

$$\dot{q} = t(\varphi_n)I_d \cos(\varphi_k) + \sum_m F_{k-m} \dot{q}_{s,t,dif,n} + \sum_i F_{k-i} \dot{q}_{s,r,i},
\tag{4.24}$$



Obr. 4.8: Sluneční záření transmitované do interiéru [14]

kde F_{k-i} a F_{k-m} jsou úhlové součinitele mezi povrchy k a i nebo k a m , $\dot{q}_{s,t,dif,n}$ je tepelný tok difúzním slunečním zářením, který projde přes element n a $\dot{q}_{s,r,i}$ je tepelný tok difúzním zářením odraženým od elementu i . Záření transmitované do interiéru dopadající na povrch k je na obr. 4.8. Pro vnitřní povrch platí pro absorbovaný \dot{q}_a , odražený \dot{q}_r a transmitovaný \dot{q}_t tepelný tok na element k tyto vztahy:

$$\begin{aligned}\dot{q}_a &= a_k \dot{q}, \\ \dot{q}_t &= t_k \dot{q}, \\ \dot{q}_r &= \dot{q} - \dot{q}_a - \dot{q}_t.\end{aligned}\tag{4.25}$$

3.3.2 Dlouhovlnné záření

Pro čistě dlouhovlnné záření mezi povrchy s teplotními rozdíly vyššími než 100 °C se doporučuje použít kavitu typu GB (Grey Body), ve které se na rozdíl od kavity typu BB (Black Body) uvažuje odraz záření. Pro výpočet radiace uvnitř kavity je vždy požadována matice spočtených úhlových faktorů.

Pro maximální tok, který může být z povrchu vyzářen, platí tzv. Stefan - Boltzmannův zákon [15]:

$$\dot{q} \equiv E_0 = \sigma T_w^4,\tag{4.26}$$

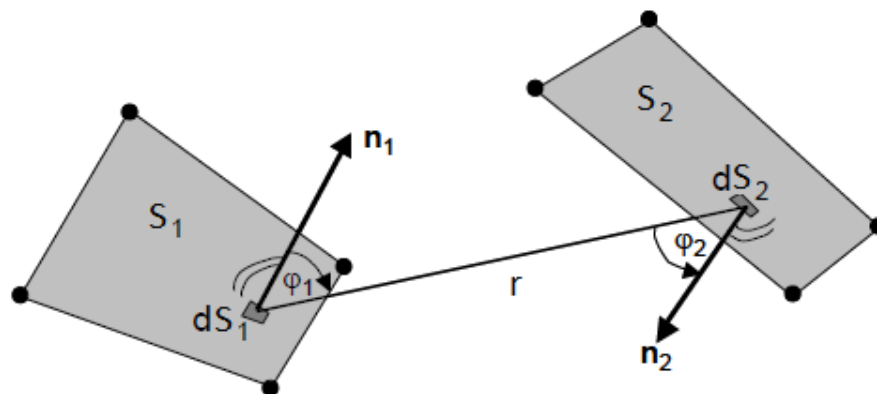
přičemž T_w je teplota povrchu.

Maximální možnou energii vyzáruje pouze ideální zářič, pro reálný povrch platí [15]:

$$E = \varepsilon \sigma T_w^4.\tag{4.27}$$

Pro výpočet dlouhovlnné záření je třeba zadat emisivitu ε povrchu, která je při výpočtu považována za konstantu.

Radiační teplota elementu je uvažována jako konstantní a spočte se jako průměrná hodnota z teplot na okraji elementu.



Obr. 4.9: Model dvou povrchů pro analýzu přenosu tepla zářením [14]

Mezi dvěma černými povrchy S_1 a S_2 dle obr. 4.9 se tepelný tok zářením spočte takto:

$$\dot{Q}_{1-2} = \sigma(T_1^4 - T_2^4)F_{1-2}S_1, \quad (4.28)$$

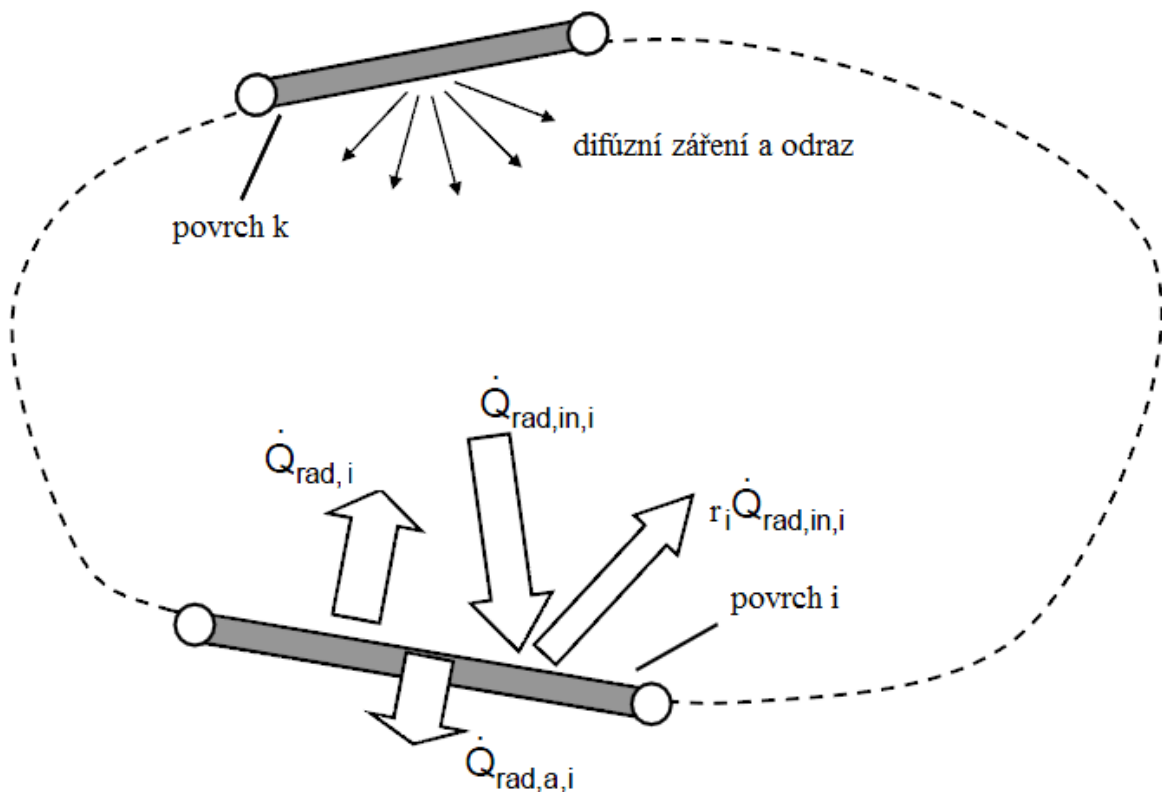
přičemž F_{1-2} je ta část energie, která opouští povrch 1 a dopadne na povrch 2.

Úhlový součinitel lze pomocí označení z obr. 4.9 spočítat následovně:

$$F_{1-2} = \frac{1}{\pi S_1} \int \int_{S_1, S_2} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{r^2} dS_1 dS_2. \quad (4.29)$$

Pro uvažování dlouhovlnné radiace mezi povrchovými elementy se v programu definuje kavita úhlových faktorů. Jedná se o skupinu povrchových elementů, které dohromady vytvoří otevřenou nebo uzavřenou kavitu. To umožní výměnu tepelných toků radiací mezi všemi elementy kavity. Úhlové faktory mezi jednotlivými elementy kavity jsou určovány podle metody Surface-to-Surface, Hemicube a Hemisphere z [22], str. 42 - 48 .

3.3.2.1 Přenos tepla zářením mezi šedými povrchy



Obr. 4.10: Kavita typu GB (Grey Body) [14]

Pro šedé povrchy je reflektance nenulová, část dopadající energie je odražena na jiný povrch a část může být odražena zcela mimo uvažovaný systém [15]. Pro povrch i uvnitř uzavřené kavity je tepelný tok opouštějící tento povrch:

$$\dot{Q}_{rad,out,i} = \varepsilon_i T_i^4 S_i + r_i \dot{Q}_{rad,in,i}, \quad (4.30)$$

přičemž $\dot{Q}_{rad,in,i}$ je tepelný tok dopadající na povrch i zářením a odrazem od povrchů k uvnitř kavity a spočte se takto:

$$\dot{Q}_{rad,in,i} = \sum_{k=1}^{k_{max}} F_{k-i} \dot{Q}_{rad,out,k}. \quad (4.31)$$

Absorbovaný tepelný tok lze spočítat z energetické bilance (jedná se vlastě o „čistou“ vyměňovanou energii mezi povrchem i a povrchy k uvnitř radiální kavity [15]):

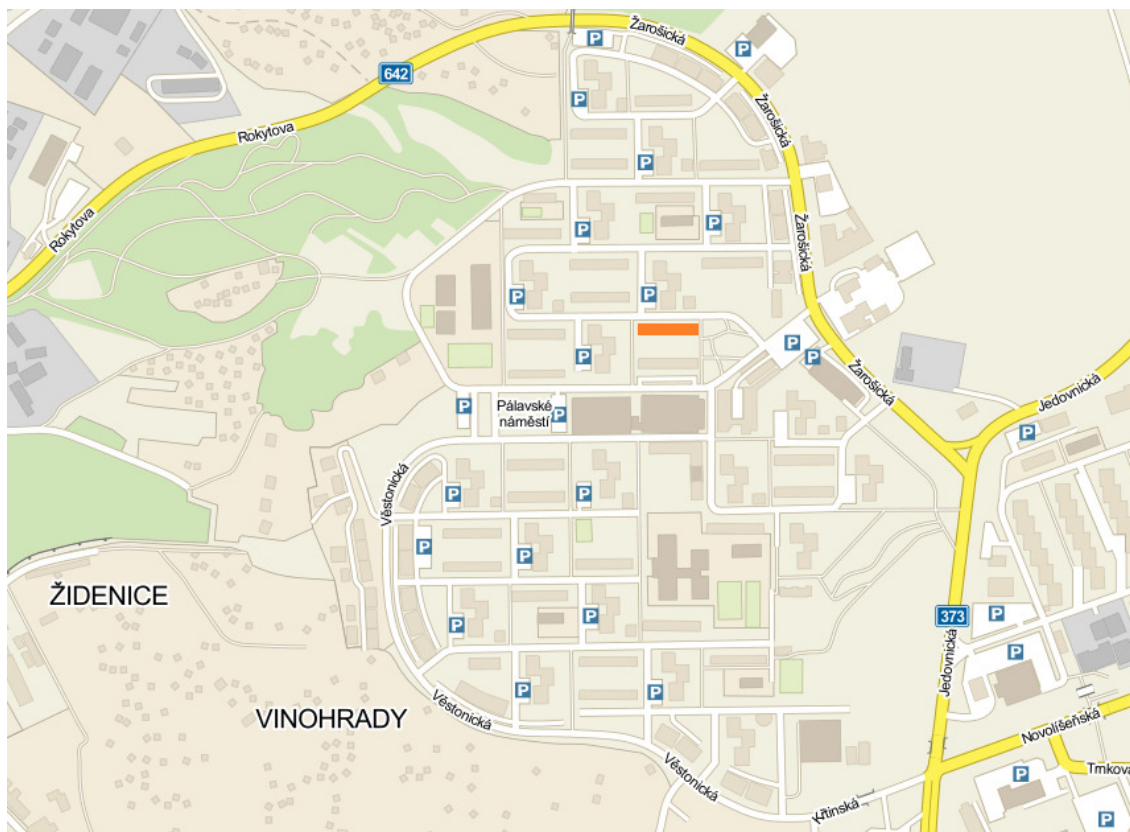
$$\dot{Q}_{rad,a,i} = \dot{Q}_{rad,in,i} - \dot{Q}_{rad,out,i}. \quad (4.32)$$

4 POPIS OBJEKTU A MODELOVÝCH PŘÍPADŮ

Byt, pro který mají být simulace provedeny, je panelové soustavy B 70 s bytovým jádrem B 10 - AC. Jedná se o velmi rozšířené jádro se dvěma oddělenými větracími potrubími, první pro WC a koupelny a druhé pro kuchyně. Použito bylo v objektech projektovaných do r. 1989, ale k jeho osazování docházelo ještě v letech 1990 - 1992 [17]. Varianty větrání vhodné pro různá bytová jádra jsou uvedeny v tab. 5.1, přičemž v bytě je použit individuální rovnotlaký systém s jednou větrací jednotkou s rekuperací tepla.

Tab. 5.1: Způsoby větrání vhodných pro různá bytová jádra vzhledem k počtu stoupacích potrubí [18]

č.	Varianta větrání	Vhodné pro tyto typy bytových jader	Tomu odpovídají tyto panelové soustavy
1	Centrální podtlakový systém	všechny typy kromě šachty typu B 2 - G	všechny typy kromě G 57 s typem šachty B 2 - G
2	Individuální podtlakový systém	všechny typy kromě šachty typu B 2 - G	všechny typy kromě G 57 s typem šachty B 2 - G
3	Centrální rovnotlaký systém	B 6, B 7, B 9, B, 10	NKS 70, BANKS, Larsen - Nielsen, VVÚ ETA, P 1.11, B 70, P 1.21, PS 69/2, VOS
4	Individuální rovnotlaký systém	B 6, B 7, B 9, B, 10	NKS 70, BANKS, Larsen - Nielsen, VVÚ ETA, P 1.11, B 70, P 1.21, PS 69/2, VOS



Obr. 5.1: Orientační mapa polohy objektu

Byt se nachází v Brně na Vinohradech v ulici Bzenecká (obr. 5.1) ve druhém patře panelového domu, přičemž lodžie je orientována přesně jižním směrem. Panelový dům s označením modelové lodžie (obr. 5.2) je sice obklopen dalšími poměrně vysokými stavbami, nicméně ty nestíní modelovanou lodžii ani v zimním období.



Tab. 5.2: Pohled na okolí bytového domu

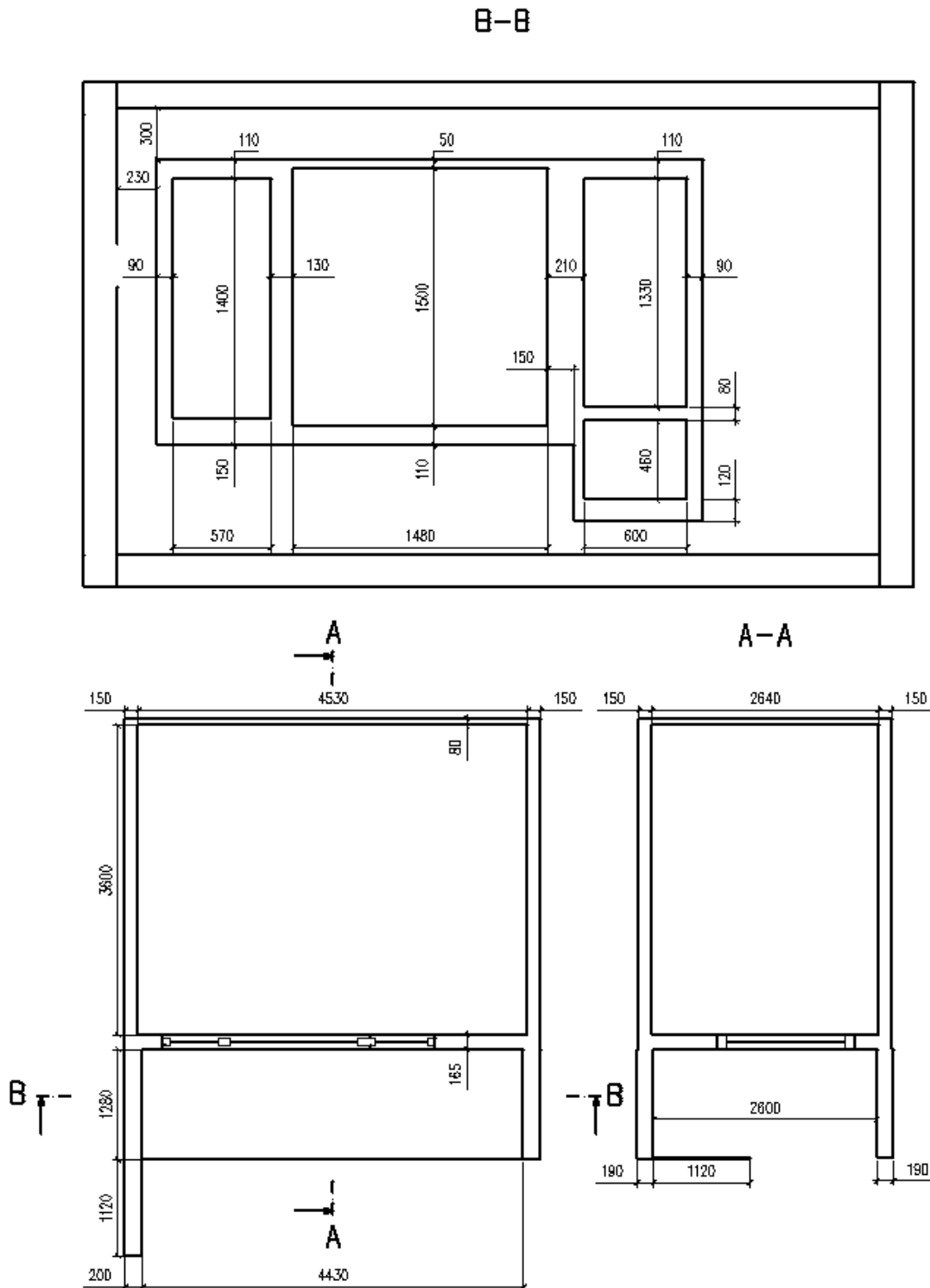
Na obr. 5.3 je detailní pohled na modelovou lodžii, horizontální přesazení bytů 1+1, které je patrné na levé straně lodžie, způsobuje stínění v odpoledních hodinách, a proto je jako podstatný detail zahrnuto do geometrie modelu viz obr. 5.4 a 5.5.



Obr. 5.3: Detailní pohled na lodžii

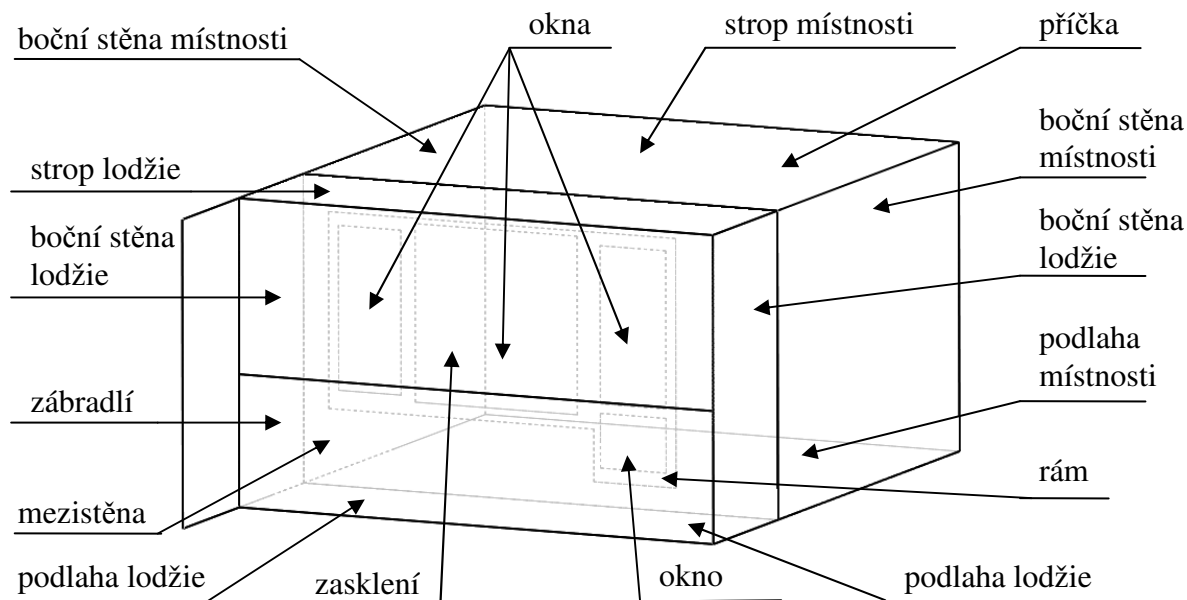
4.1 Podklady pro tvorbu 3D modelu

Potřebné rozměry byly dodány vedoucím práce, skladba stěn byla zjištěna z [19]. Na obr. 5.4 je výkres lodžie s místností s rozměry potřebnými pro vytvoření modelu, přičemž pohled B-B je pro přehlednost zvětšen.



Obr. 5.4: Rozměry potřebné pro vytvoření modelu (pohled B-B je pro zvýšení přehlednosti zvětšen)

Stěny se skládají z betonu, železobetonu, nebo pěnového polystyrenu, případně z jejich kombinací viz tab. 5.2, přičemž označení jednotlivých stěn je na obr. 5.5. V místnosti je na podlaze koberec. Vzhledem k tomu, že simulace mají smysl pro typizovaný byt, je skladba stěn co nejjednodušší, zanedbány jsou proto například omítky, linoleum na podlaze lodžie atd.



Obr. 5.5: Schematické znázornění lodžie s místností

Tab. 5.2: Skladba stěn

Název	Materiál	Tloušťka [m]
Strop a podlaha lodžie	Železobeton	0,19
Boční stěny lodžie	Železobeton	0,08
	Pěnový polystyren	0,06
	Železobeton	0,06
Mezistěna	Železobeton	0,06
	Pěnový polystyren	0,04
	Železobeton	0,065
Strop a podlaha místnosti	Železobeton	0,15
	Koberec	0,005
Boční stěny místnosti	Železobeton	0,15
Příčka	Beton	0,08
Štítové panely (obr. 6.4)	Železobeton	0,15
	Pěnový polystyren	0,06
	Železobeton	0,06

Tab. 5.3: Vlastnosti stěn

Materiál	ρ [kg/m ³]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	c_p [Jkg ⁻¹ K ⁻¹]	ε [-]
Beton	2300	1,3	1020	0,91
Železobeton	2400	1,58	1020	0,91
Pěnový polystyren	40	0,037	1370	-
Rám okna PVC	1380	0,2	1100	0,92
Koberec	160	0,065	1880	0,95

Potřebné vlastnosti materiálů jsou uvedeny v tab. 5.3 podle [20], emisivity materiálů jsou použity z [21]. Zasklení lodžie je ze skla Pilkington energiKare™ Optifloat tl. 6 mm, okna a dveře jsou tvořeny dvojitým sklem Pilkington energiKare™ Optifloat tl. 4 mm, mezi kterými je vzduchová vrstva tl. 16 mm, rám je z PVC. Na zábradlí je použito drátěné sklo tl. 6 mm.

Potřebné vlastnosti transparentních částí modelu jsou uvedeny v tab. 5.4, pro zasklení a okna byly vlastnosti zjištěny z [22].

Tab. 5.4: Vlastnosti transparentních částí modelu

Materiál	ρ [kg/m ³]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	c_p [Jkg ⁻¹ K ⁻¹]	ε [-]	a [-]	t [-]
Zasklení	2500	1,57	730	0,84	0,14	0,79
Zábradlí	2600	1,60	800	0,84	0,30	0,60
Okna	2500	1,57	730	0,84	0,13	0,74

4.2 Popis řešených modelových případů

Simulace byly provedeny pro sedm dnů, vždy pro jeden průměrný den z měsíců říjen - duben, meteorologická data jsou podrobněji popsána v kap. 6.5. V těchto měsících má zasklení lodžie smysl, protože teplota vzduchu v zasklené lodžii bude větší než v nezasklené, čímž se sníží tepelné ztráty větráním a prostupem tepla. Pro vyhodnocení topné sezóny bylo uvažováno, že topná sezóna začíná 1.října a končí 30.dubna.

4.2.1 Větrání

V místnosti za lodžii bude umístěna větrací rekuperační jednotka, která bude zajišťovat větrání daného bytu. Existuje několik způsobů, jak stanovit množství větracího vzduchu. Podle [23] by pro zajištění minimální obnovy vzduchu kvůli dýchání postačovalo přivádět 6 - 9 m³/h na osobu. Kvůli dalším parametrům, např. oděrům, výparům z vybavení atd. je dle výpočtů a studií nutné přivádět 16 - 25 m³/h čerstvého vzduchu na osobu. V bytě jsou vyměněna okna, která mají nízkou hodnotu spárové průvzdušnosti a podle [23] se bude intenzita výměny vzduchu v bytovém objektu zajištěná infiltrací takovými okny pohybovat pod $n=0,05$ h⁻¹. Při ploše bytu 84 m² a výšce 2,6 m je objem bytu 218 m³, infiltrací okny se tak může vyměňovat vzduch cca 10 m³/h. Pro simulace bylo uvažováno množství větracího vzduchu pro větrací jednotku 25 m³/h na osobu, přičemž v bytě byly uvažovány 3 osoby přítomné po celý den, takže množství větracího vzduchu je 75 m³/h. Další simulace jsou provedeny pro případ, že pro výpočet větracího vzduchu by byla použita intenzita výměny vzduchu $n=0,5$ h⁻¹. V tomto případě vychází objemový tok větracího vzduchu 109 m³/h.

Lze očekávat, že vyšší množství venkovního vzduchu nasávaného do lodžie bude ve sledovaném období teplotu vzduchu v lodžii snižovat.

4.2.2 Okolní lodžie

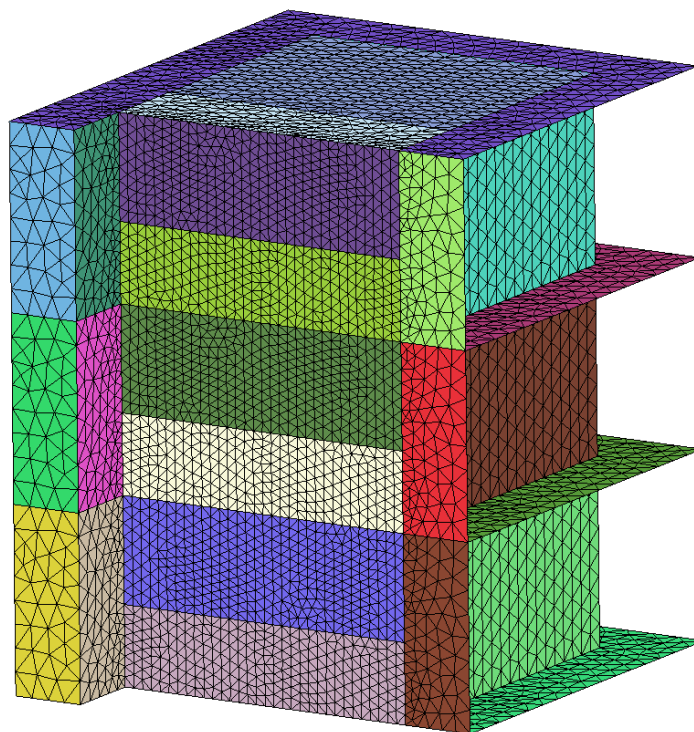
Do simulací je zahrnut také vliv okolních lodžii. Uvažovány jsou případy, že tyto lodžie jsou nebo nejsou zasklené. Pokud budou okolní lodžie zasklené, bude mít vzduch v těchto lodžii vyšší teplotu a tepelné ztráty přes strop a podlahu modelové lodžie budou tudíž nižší.

5 SIMULACE LODŽIE PROGRAMEM THESEUS-FE

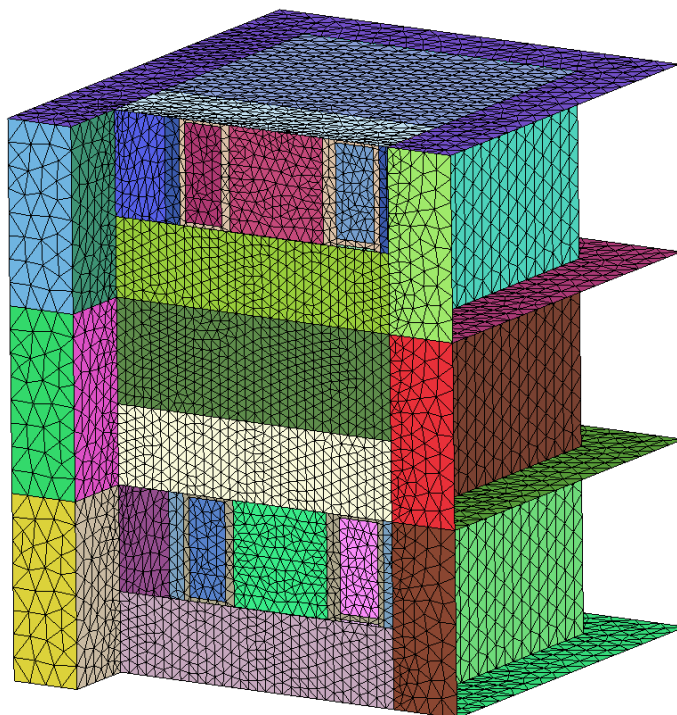
5.1 Geometrický model

Pro vytvoření geometrického modelu byl použit program SolidWorks Premium 2010. Model byl vytvořen pomocí ploch typu záplata. Nejprve bylo vytvořeno jedno patro, které se skládá z lodžie a přiléhající místnosti za lodžii. Následně byl model z několika důvodů rozšířen o další dvě patra, které sledované patro obklopují. Za prvé kvůli tomu, že se bude vyhodnocovat vliv zasklení okolních lodžií na teplotu ve sledované lodžii, za druhé kvůli dosažení přesnějších výsledků ve sledované lodžii, jelikož by teplota vzduchu v sousedních lodžiích byla neznámá. Pro zvýšení reálnosti modelu byly mezi patry vytvořeny části podlah a stropů kvůli vedení tepla. Na levé straně lodžie byly vytvořeny plochy, kvůli simulaci vedení tepla ve stavebních konstrukcích.

Po dokončení modelu následovalo vytvoření sítě výpočetních buněk, k čemuž byl použit program STAR-CCM+. Nejdříve bylo nutné model opravit, protože obsahoval volné hrany, což bránilo vytvoření povrchové sítě. Použita byla tetrahedrální síť se základní délkou hrany buňky 0,3 m. Na prosklených částech modelu a rámu oken a dveří byla nastavena minimální velikost buňky 0,075 m (25 % základní buňky) a cílová velikost buňky 0,15 m (50 % základní buňky). Byly vytvořeny dvě varianty, přičemž u varianty A (obr. 6.1) jsou okolní lodžie zasklené, zatímco u varianty B nikoliv (obr. 6.2).



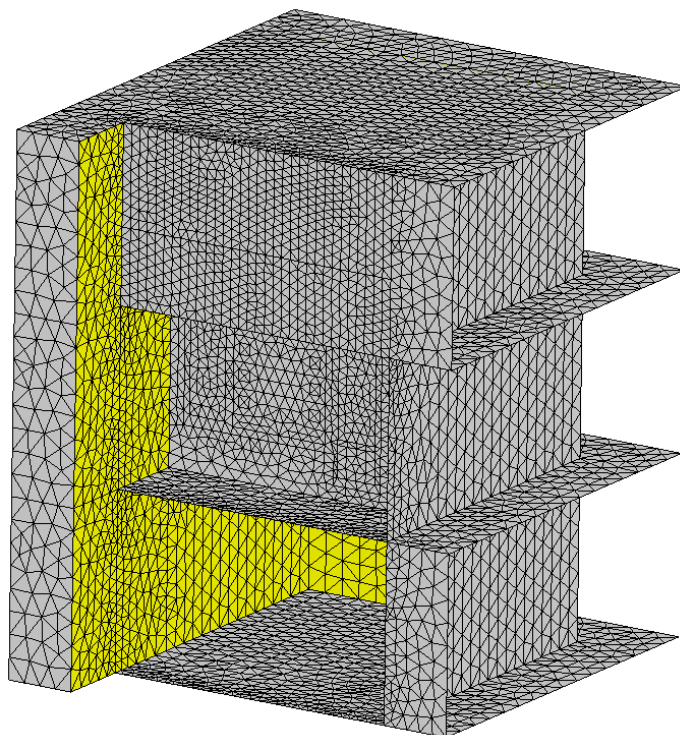
Obr. 6.1: Varianta A



Obr. 6.2: Varianta B

5.2 Materiály a skladba stěn

Skladby stěn, jejich materiály a vlastnosti již byly uvedeny v kap. 5.1. Jak již bylo zmíněno v kap. 4.1.2, jednotlivé vrstvy se zadávají směrem od negativní strany (žluté) k pozitivní (šedé), umístění pozitivních stran v modelu je uvedeno na obrázku 6.3.

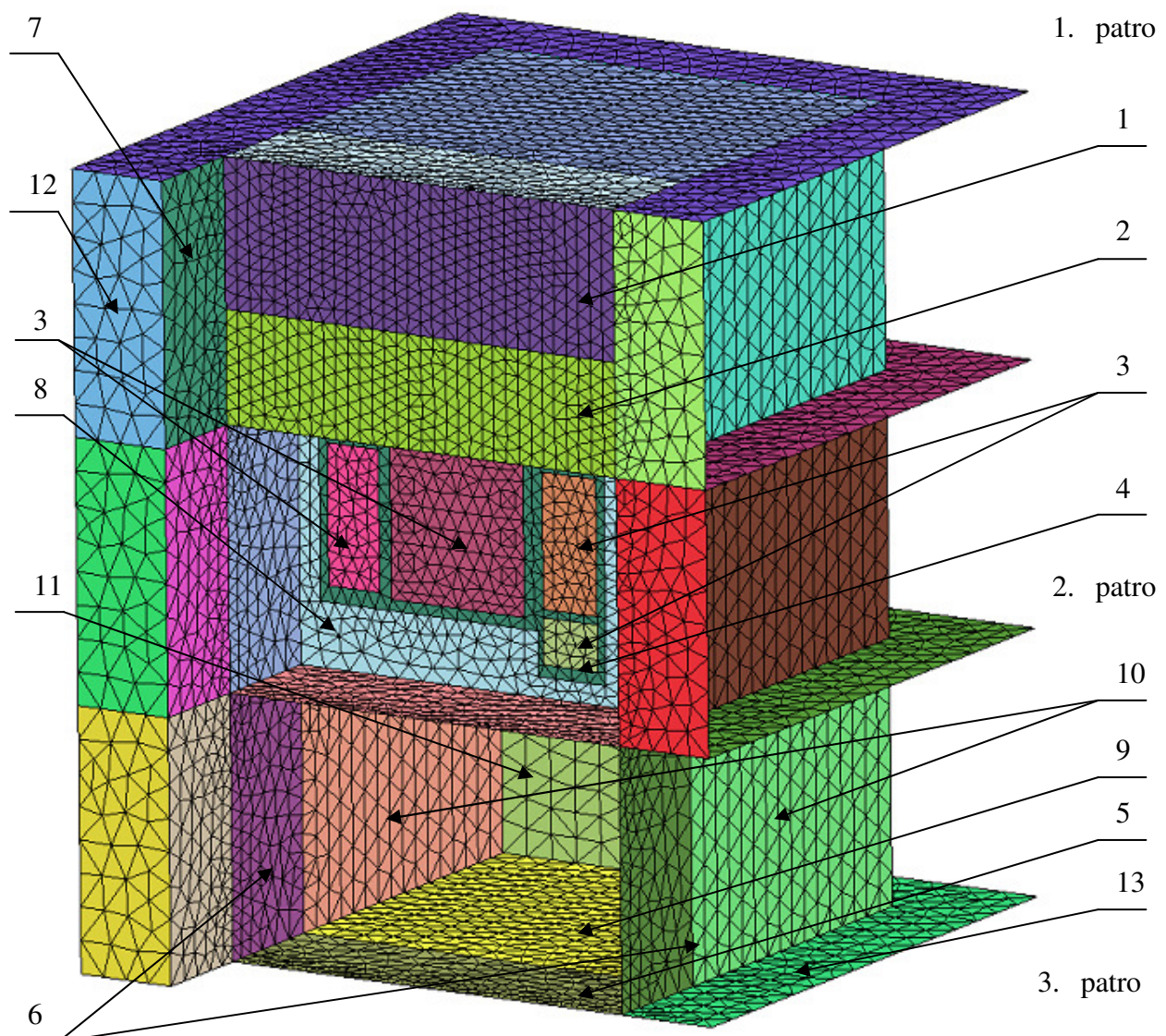


Obr. 6.3: Pozitivní (šedé) a negativní (žluté) strany modelu

5.3 Přenos tepla

5.3.1 Konvekce

Přenos tepla konvekcí se řídí podle rovnice 4.9 a v THESEU-FE 4.0 se nastavuje v položce BC-C. Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně je volen $8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ a na vnější straně $23 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Na stěnách lodžii byla nastavena konvekce do vzduchové zóny v lodžii, na stěnách místností konvekce do vzduchového objemu místnosti. Lodžie, které jsou ve skutečnosti pod a nad modelem (přízemí a 4. patro), byly uvažovány jako nezasklené. Nastavení konvekce na jednotlivé strany stěn pro variantu A i B je v tab. 6.1.



Obr. 6.4: Označení ploch

Plochy z tab. 6.1, u kterých není index za tečkou, jsou společné pro všechna patra, indexy za tečkou 0, 1, 2, 3 značí patro, ve kterém se plocha nachází dle obr. 6.4, index 0 označuje patro pod prvním patrem. Potřebné vysvětlivky k této tabulce jsou v tab. 6.2.

Tab. 6.1: Nastavení konvekce a radiace

Číslo	Název	Varianta A						Varianta B					
		Konvekce		P.radiace		D.radiace		Konvekce		P.radiace		D.radiace	
		P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N
1.1	Zasklení	23	8	A	A	A	N	-	-	-	-	-	-
1.2		23	8	A	A	A	N	-	-	-	-	-	-
1.3		23	8	A	A	A	N	-	-	-	-	-	-
2.1	Zábradlí	23	8	A	A	A	N	23	8	A	A	A	N
2.2		23	8	A	A	A	N	23	8	A	A	A	N
2.3		23	8	A	A	A	N	23	8	A	A	A	N
3.1	Okna	8	8	A	A	N	N	23	8	A	A	N	N
3.2		8	8	A	A	N	N	8	8	A	A	N	N
3.3		8	8	A	A	N	N	23	8	A	A	N	N
4.1	Rám okna	8	8	A	A	N	N	23	8	A	A	N	N
4.2		8	8	A	A	N	N	8	8	A	A	N	N
4.3		8	8	A	A	N	N	23	8	A	A	N	N
5.0	Strop lodžie	8	23	A	A	N	N	23	23	A	A	N	N
5.1		8	8	A	A	N	N	8	23	A	A	N	N
5.2		8	8	A	A	N	N	23	8	A	A	N	N
5.3		23	8	N	A	N	N	23	23	N	A	N	N
6.1	Boční stěny lodžie	8	8	N	A	N	N	8	23	N	A	N	N
6.2		8	8	N	A	N	N	8	8	N	A	N	N
6.3		8	8	N	A	N	N	8	23	N	A	N	N
7.1	Boční stěny	23	8	N	A	N	A	23	8	N	A	N	A
8.1	Mezistěna	8	8	A	A	N	N	23	8	A	A	N	N
8.2		8	8	A	A	N	N	8	8	A	A	N	N
8.3		8	8	A	A	N	N	23	8	A	A	N	N
9	Stropy a podlahy místnosti	8	8	A	A	N	N	8	8	A	A	N	N
10	Boční stěny místnosti	8	8	N	A	N	N	8	8	N	A	N	N
11	Příčka	8	8	N	A	N	N	8	8	N	A	N	N
12	Štítové panely	23	8	A	N	A	N	23	8	A	N	A	N
13	Prodloužení stropů a podlah	8	8	N	N	N	N	8	8	N	N	N	N

Tab. 6.2: Vysvětlivky k tabulce 6.1

P.radiace	Přímá sluneční radiace
D.radiace	Difúzní sluneční radiace
P	Pozitivní strana
N	Negativní strana
A	Ano
N	Ne
8	Součinitel přestupu tepla $\alpha=8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
23	Součinitel přestupu tepla $\alpha=23 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

5.3.2 Krátkovlnná radiace

Krátkovlnné sluneční záření se nastavuje v položce BC-SUN, ve které byly vytvořeny 4 podpoložky (2 pro difúzní a 2 pro přímou sluneční radiaci, přičemž jednou byly vybrány pozitivní a podruhé negativní strany), přičemž nastavení na jednotlivé stěny je v tab. 6.1. Následně bylo třeba definovat Slunce v položce DEFSUN, kam se z tabulky načítá intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou k slunečním paprskům, intenzita difúzní sluneční radiace na vodorovný povrch, sluneční azimut a výška Slunce nad obzorem. Reflektivita okolí byla volena 0,1.

5.3.3 Dlouhovlnná radiace

Pro uvažování dlouhovlnného záření vlivem účinné teploty oblohy (načítané z tabulky) bylo třeba vytvořit kavitu přidáním položky CAVITYs. Tato kavita byla přiřazena k položce BC-VFCAVITY, ve které byly vybrány plochy, mezi kterými se počítají úhlové součinitele (obsahuje 2 podpoložky pro pozitivní a negativní strany). Výběr ploch je shodný s výběrem pro přímou sluneční radiaci z tab. 6.1.

5.3.4 Vzduchová mezera

Jak již bylo zmíněno v kap. 5.1, mezi skly oken je vzduchová mezera, pro kterou bylo třeba zadat vlastnosti popsané v kap. 4.1.5. Součinitel přestupu tepla ve vzduchové vrstvě lze spočítat ze součinitele prostupu tepla celým oknem takto:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_i}} \Rightarrow \alpha_{2,3} = \frac{2}{\frac{1}{U} - \frac{1}{\alpha_e} - 2\frac{\delta}{\lambda} - \frac{1}{\alpha_i}}, \quad (6.1)$$

přičemž součinitel prostupu tepla celým oknem $U = 2,1 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$, součinitel přestupu tepla na vnější straně $\alpha_e = 25 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ a vnitřní straně $\alpha_i = 7,7 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$, tepelná vodivost skla dle tab. 5.4 $\lambda_{1,2} = \lambda = 1,57 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a jeho tloušťka $\delta_{1,2} = \delta = 0,004 \text{ m}$ a $\alpha_2 = \alpha_3$. Po dosazení:

$$\alpha_{2,3} = \frac{2}{\frac{1}{2,1} - \frac{1}{25} - 2\frac{0,004}{1,57} - \frac{1}{7,7}} = 6,6 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}.$$

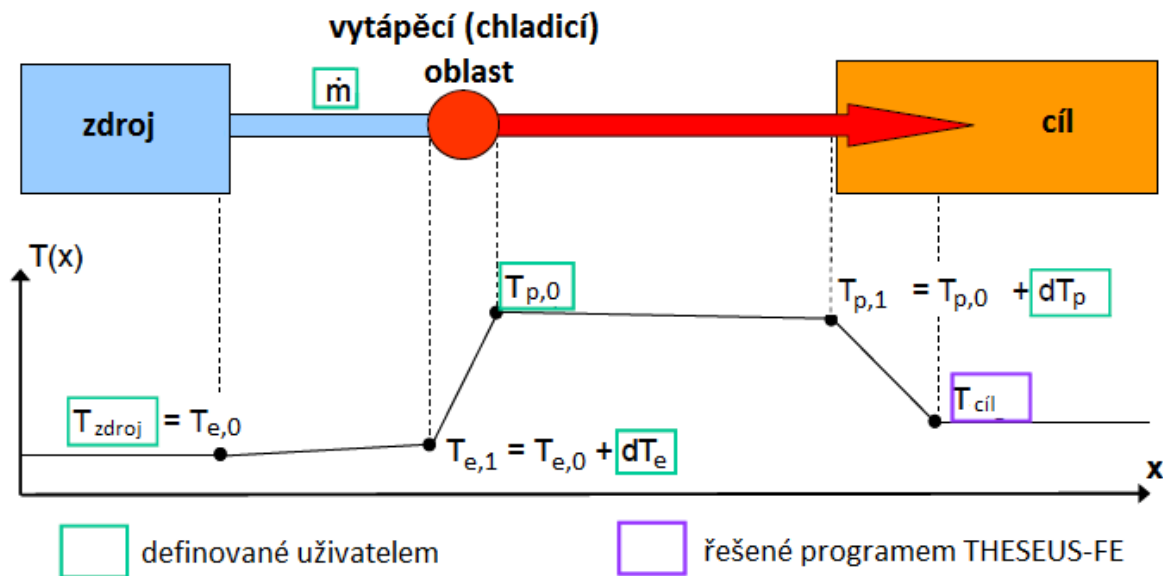
Emisivity povrchů skla byly zadány dle tab. 5.4, přičemž $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,84$. Hodnoty zadané do programu jsou uvedeny v tab. 6.3.

Tab. 6.3: Data pro THESEUS-FE (1)

α	6,4	$[\text{Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}]$
ε_1	0,84	[-]
ε_2	0,84	[-]

5.4 Vzduchové objemy, zóny a ventilace

Větráním v THESEU-FE je nazývána okrajová podmínka pro vzduchové zóny (Airzones) s definovaným hmotnostním tokem \dot{m} ze zdroje do cíle. Cílem musí být vždy vzduchová zóna, zdrojem může být venkovní prostředí s pevně danou teplotou vzduchu a relativní vlhkostí.



Obr. 6.5: Větrání FVT (FRESHAIR-VENTILATION-TEMPERATURE) [14]

V této práci byl jako zdroj vzduchu pro ložnici použit typ FVT, zobrazený na obr. 6.5. Nejdříve bylo třeba vytvořit vzduchovou zónu, které se definuje objemem ($14,7 \text{ m}^3$), počáteční relativní vlhkostí (80 %) a počáteční teplotou (10 °C). Následně se použije typ FVT, kde byla jako cíl vybrána již definovaná vzduchová zóna, zadá se hmotnostní nebo objemový tok vzduchu ($0,0208 \text{ m}^3/\text{s}$ nebo $0,0302 \text{ m}^3/\text{s}$), teplota T_{zdroj} , která je rovna $T_{p,0}$ (nedochází k ochlazování ani ohřívání) a je načítána z tabulky meteorologických stejně jako relativní vlhkost venkovního vzduchu. Teplota dT_e je stejně jako dT_p rovna 0.

Jelikož je větraná pouze sledovaná ložnice, sousední ložnice byly stejně jako všechny místnosti definovány jako objemy vzduchu. Tepelná kapacita a hustota vzduchu jsou počítány jako funkce teploty. Teplota vzduchu v místnostech je pevná 20 °C . Místnosti mají objem $41,5 \text{ m}^3$. Data zadávaná do programu jsou v tab. 6.4.

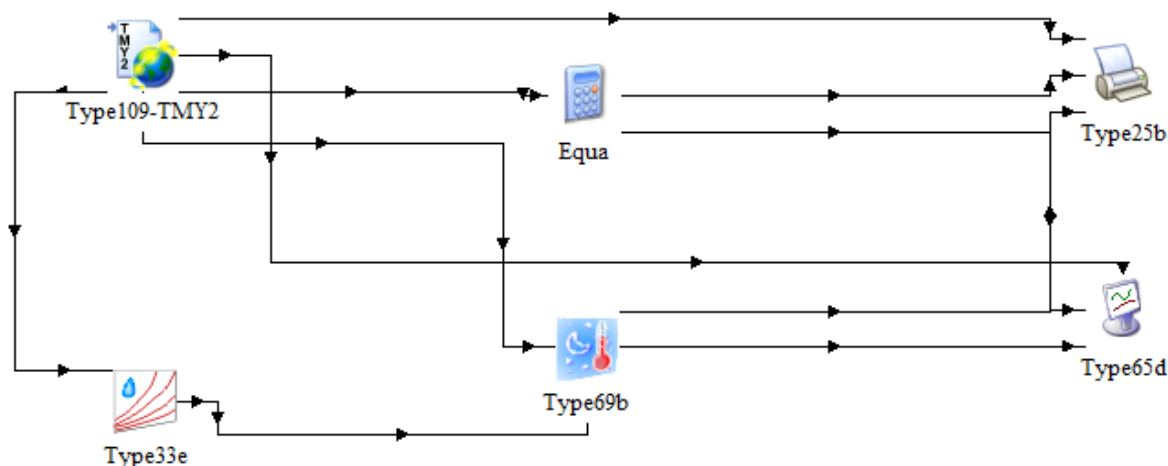
Tab. 6.4: Data pro THESEUS-FE (2)

Objem místnosti	41,5	[m ³]
Objem ložnice	14,7	[m ³]
Počáteční teplota vzduchu v ložnici	10	[°C]
Počáteční vlhkost v ložnici	80	[-]
Teplota vzduchu v místnosti	20	[°C]
Objemový tok vzduchu 1/2	0,0208/0,0302	[m ³ /s]
dT_e, dT_p	0	[°C]

5.5 Meteorologická data

Pro simulace byla použita meteorologická data, která vychází z dat pro typický meteorologický rok (TMY). Metodika jejich tvorby zohledňuje řadu meteorologických jevů v dané lokalitě. Často se používají pro energetické simulace budov pro posouzení nákladů na vytápění a chlazení nebo pro návrh solárních systémů atd. Tato data lze získat např. pomocí programu METEONORM, který obsahuje hodinová data pro více než 1000 lokalit ve více než 150 zemích. Databáze sluneční radiace je získána z měření v období dvaceti let, ostatní parametry jsou získány z období 1961-1990 a 1996-2005. [24]

Data TMY získaná z programu METEONORM pro Brno byla použita jako výchozí meteorologická data.



Obr. 6.6: Použité komponenty programu Trnsys_16

Pro vypsání dat do souboru Excel byl použit program Trnsys_16, schéma je na obr. 6.6. Načítání souboru pro Brno probíhá přes typ 109-TMY2, kalkulačka je zde použita pro přepočítání difúzního a přímého záření z $\text{kJh}^{-1}\text{m}^{-2}$ na Wm^{-2} , pro přepočítání přímého záření na vodorovnou plochu na plochu kolmou ke slunečním paprskům, k přepočtu slunečního azimutu a k přepočtu zenitu na výšku Slunce nad obzorem. Typ 33e je zde pro určení teploty rosného bodu (z teploty a relativní vlhkosti vzduchu), což je potřeba pro typ 69b pro určení účinné teploty oblohy podle [25], pro kterou je třeba určit faktor oblačnosti:

$$c_{obl} = \left(1,4286 \frac{I_{dif}}{I_{glob}} - 0,3 \right)^{0,5}, \quad (6.2)$$

kde I_{dif} a I_{glob} je difúzní a celková sluneční radiace dopadající na vodorovný povrch. Pro noční faktor oblačnosti se použije průměrný faktor oblačnosti přes odpoledne. Atmosférický tlak se spočte podle vztahu:

$$p_{atm} = p_0 e^{-\frac{g p_0 h}{p_0}}, \quad (6.3)$$

kde p_0 a ρ_0 je tlak a hustota při výšce h_0 a h je nadmořská výška, která činí 207 m. n. m.

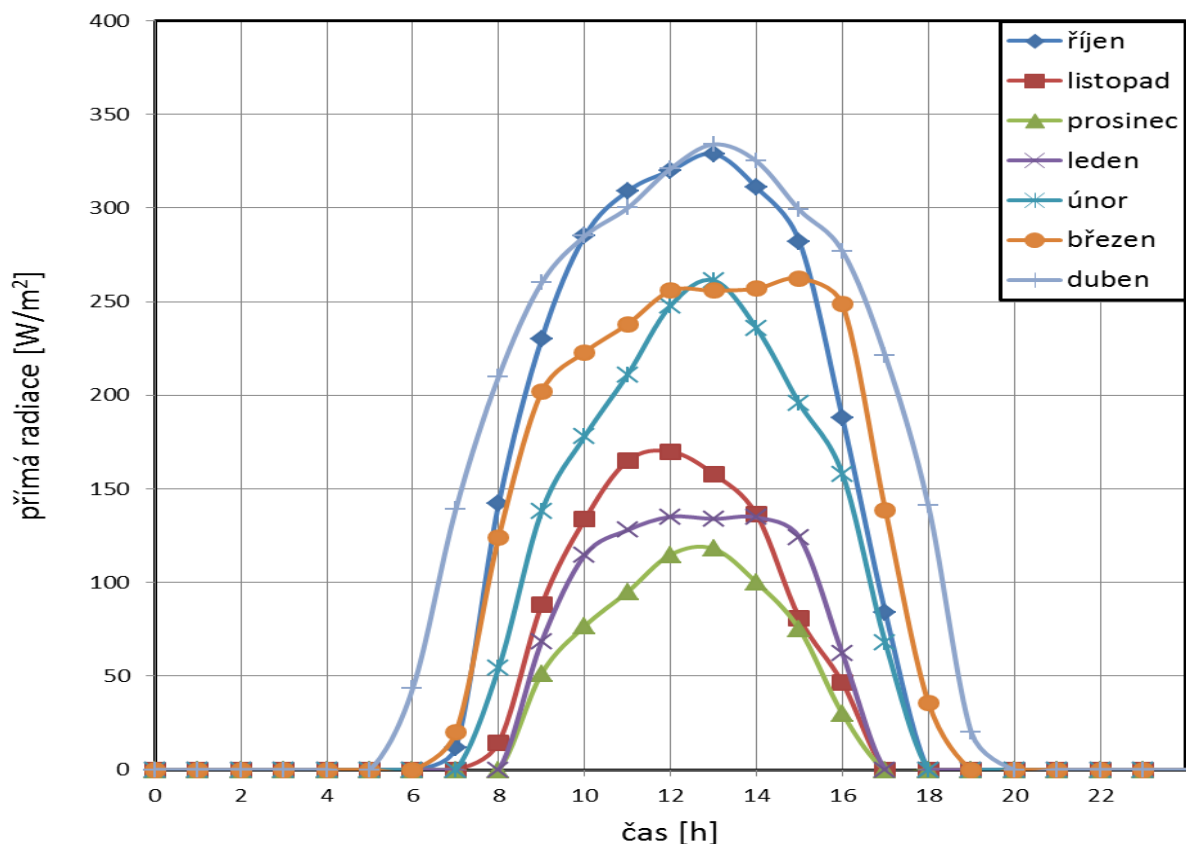
Emisivita oblohy se spočte následovně:

$$\varepsilon_0 = 0,711 + 0,005T_{sat} + 7,3 \cdot 10^{-5}T_{sat}^2 + 0,013 \cos\left[2\pi \frac{\text{čas}}{24}\right] + 12 \cdot 10^{-5}(p_{atm} - p_0), \quad (6.4)$$

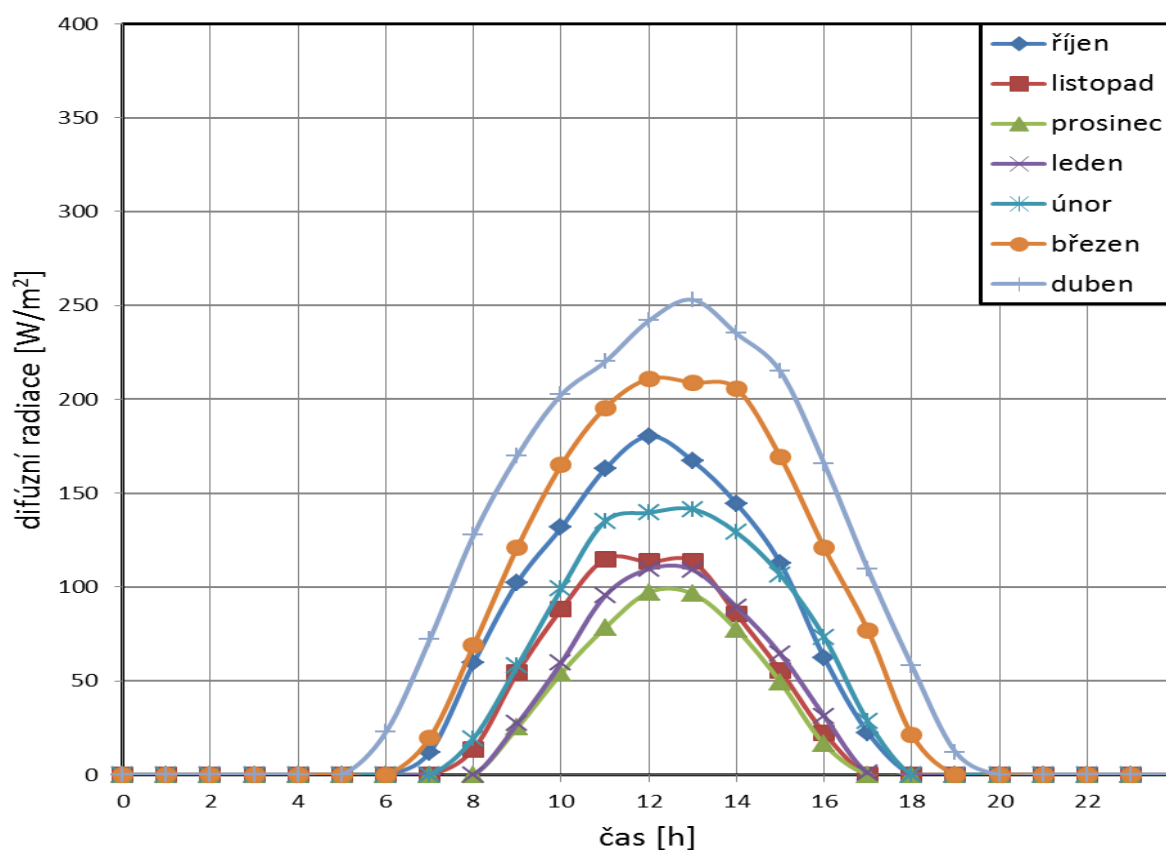
kde T_{sat} je teplota rosného bodu a čas je dán hodinou dne. Účinná teplota oblohy se určí následovně:

$$T_{obl} = T_e(\varepsilon_0 + 0,8(1 - \varepsilon_0)c_{obl})^{0,25}. \quad (6.5)$$

Jak se ukázalo, data vykreslená v Trnsysu pro konkrétní den v měsíci nebyla pro účel této práce použitelná, neboť zohledňují řadu meteorologických jevů v dané lokalitě, např. extrémní průběhy teplot, záření atd. Taková data by byla reprezentativní pouze při simulaci všech dní v měsíci a vyhodnocení celkových výsledků pro celý měsíc. V práci však byly simulovány jen vybrané dny, a proto bylo přistoupeno k vytvoření průměrných dat pro každý měsíc. Takto získané hodnoty přímé sluneční radiace na povrch kolmý ke slunečním paprskům je na obr. 6.7 a difúzní sluneční radiace na vodorovnou plochu na obr. 6.8.



Obr. 6.7: Přímá sluneční radiace na povrch kolmý k slunečním paprskům



Obr. 6.8: Difuzeční sluneční radiace na vodorovný povrch

5.6 Řešič

Jelikož se jedná o časově proměnné simulace, byl vybrán řešič TRANS2. Pro ustálení podmínek jsou ve zdrojové tabulce data pro 3 dny, přičemž vyhodnocena byla data z posledního třetího dne. Vzhledem k tomu, že použitá meteorologická data jsou průměrná s hodinovým intervalem, byl nastaven časový krok simulace 3600 s. Jako počáteční podmínka byla na všechny plochy nastavena teplota 10 °C. Nastavení řešiče je v následující tabulce 6.5.

Tab. 6.5: Řešič

typ řešiče	TRANS2
časový krok	pevný, 3600 s
čas pro ukončení	255600 s
čas pro výpis dat	každých 3600 s
počáteční teplota	10 °C

6 VYHODNOCENÍ SIMULACÍ

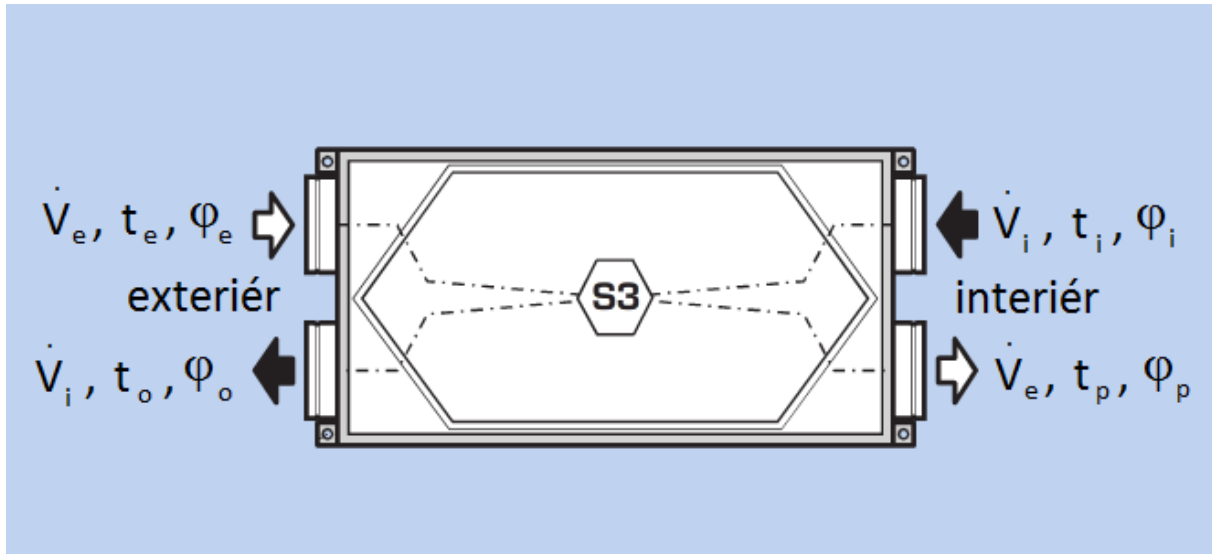
Zasklením lodžie dojde nejen ke snížení tepelných ztrát větráním, ale také prostupem tepla. V praxi zahrnuje součinitel přestupu tepla radiační i konvektivní složku a radiace se dále nezohledňuje. V programu THESEUS-FE je možné vyhodnotit ztrátu prostupem tepla konvekcí i radiací, proto byly do těchto ztrát zahrnuty oba dva mechanismy. Při vyhodnocení simulovaných případů bylo použito označení uvedené v tabulce 7.1. Vzhledem k počtu posuzovaných situací bylo vyhodnocení provedeno nejprve pro případ říjen_75_z a leden_75_z pro jeden den, jakožto zástupců teplého a chladného dne, následně byly mezi sebou porovnány všechny říjnové simulace (celkem čtyři), poté bylo provedeno porovnání všech simulací pro průtok 75 m³/h a na závěr byly vyhodnoceny všechny simulované případy pro celou topnou sezónu.

Tab. 7.1: Řešené případy

Měsíc	Průtok vzduchu	Okolní lodžie	Číslo	Označení
říjen	75 m ³ /h	zasklené	1	říjen_75_z
		nezasklené	2	říjen_75_n
	109 m ³ /h	zasklené	3	říjen_109_z
		nezasklené	4	říjen_109_n
listopad	75 m ³ /h	zasklené	5	listopad_75_z
		nezasklené	6	listopad_75_n
	109 m ³ /h	zasklené	7	listopad_109_z
		nezasklené	8	listopad_109_n
prosinec	75 m ³ /h	zasklené	9	prosinec_75_z
		nezasklené	10	prosinec_75_n
	109 m ³ /h	zasklené	11	prosinec_109_z
		nezasklené	12	prosinec_109_n
leden	75 m ³ /h	zasklené	13	leden_75_z
		nezasklené	14	leden_75_n
	109 m ³ /h	zasklené	15	leden_109_z
		nezasklené	16	leden_109_n
únor	75 m ³ /h	zasklené	17	únor_75_z
		nezasklené	18	únor_75_n
	109 m ³ /h	zasklené	19	únor_109_z
		nezasklené	20	únor_109_n
březen	75 m ³ /h	zasklené	21	březen_75_z
		nezasklené	22	březen_75_n
	109 m ³ /h	zasklené	23	březen_109_z
		nezasklené	24	březen_109_n
duben	75 m ³ /h	zasklené	25	duben_75_z
		nezasklené	26	duben_75_n
	109 m ³ /h	zasklené	27	duben_109_z
		nezasklené	28	duben_109_n

6.1 Úspora větráním

Jako větrací zařízení pro vyhodnocení byla použita jednotka Atrea DUPLEX 230 EC, která obsahuje protiproudý výměník RVU S3 225. Pro vyhodnocení bylo třeba znát teplotu vzduchu za rekuperačním výměníkem pro případy nasávání vzduchu z exteriéru (nezasklená lodžie) a z prostoru lodžie. V zimním období může docházet ke kondenzaci par z odpadního vzduchu, což zvyšuje účinnost rekuperace v důsledku zvýšení tepelného toku při uvolnění skupenského tepla. Tato účinnost je ovlivňována také průtokem vzduchu a poměrem odváděného a přiváděného vzduchu.



Obr. 7.1: Rekuperační výměník RVU S3 [4]

Účinnost rekuperace η podle [4] lze spočítat takto:

$$\eta = \eta_0 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2, \quad (7.1)$$

kde η_0 je základní účinnost zařízení, η_1 korekce závislá na teplotě vnitřního vzduchu t_i , relativní vlhkosti vnitřního vzduchu φ_i , teplotě venkovního vzduchu t_e a poměru odváděného a přiváděného vzduchu \dot{V}_i / \dot{V}_e a η_2 je korekce na poměr odváděného a přiváděného vzduchu \dot{V}_i / \dot{V}_e viz obr. 7.1.

Pokud je známa účinnost rekuperace, lze z následujícího vztahu spočítat teplotu přiváděného vzduchu:

$$\eta = \frac{t_p - t_e}{t_i - t_e}, \quad (7.2)$$

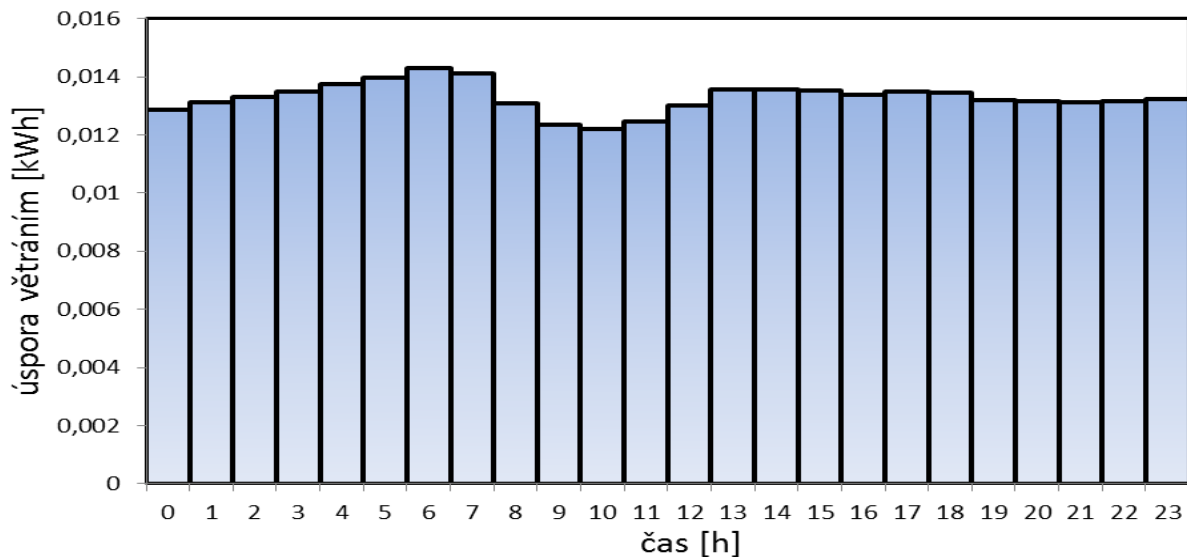
kde t_p je teplota přiváděného vzduchu, t_e je teplota venkovního vzduchu a t_i teplota vzduchu v místnosti, jak je zobrazeno na obr. 7.1.

Vzhledem k tomu, že uvedený postup nebylo možné automatizovat, bylo určení teploty po rekuperaci t_p provedeno pomocí programu ATREA DUPLEX 6.00, odkud byla odečtena konečná účinnost rekuperace a dle vztahu 7.2 spočtena teplota přiváděného vzduchu.

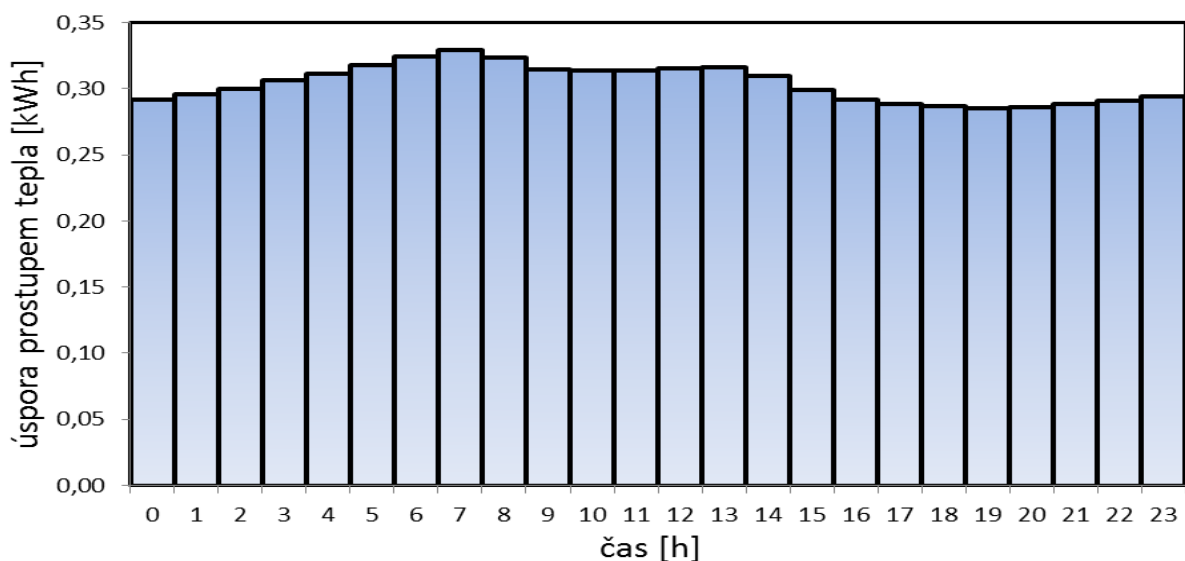
Úspora větráním se pak spočte následovně:

$$Q = c\dot{m}\Delta t\tau, \quad (7.3)$$

kde c je měrná tepelná kapacita vzduchu, \dot{m} hmotnostní průtok vzduchu rekuperační jednotkou a Δt je rozdíl teploty vzduchu po rekuperaci při nasávání vzduchu z nezasklené a zasklené lodžie, časový krok $\tau = 3600$ s. Takto se získala úspora pro každou hodinu simulovaného dne a úspora za den je dána jejich součtem. Úspora tepla větráním po hodinách pro celý den pro říjen_75_z je na obr. 7.2.



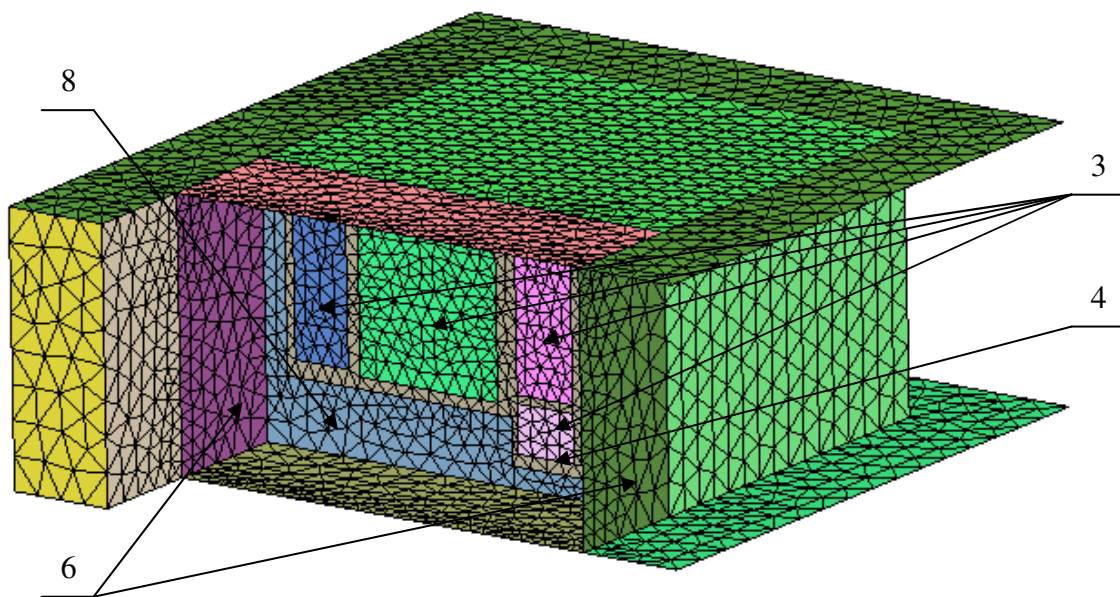
Obr. 7.2: Úspora tepla větráním pro říjen_75_z



Obr. 7.3: Úspora prostupem tepla pro říjen_75_z

6.2 Úspora prostupem tepla

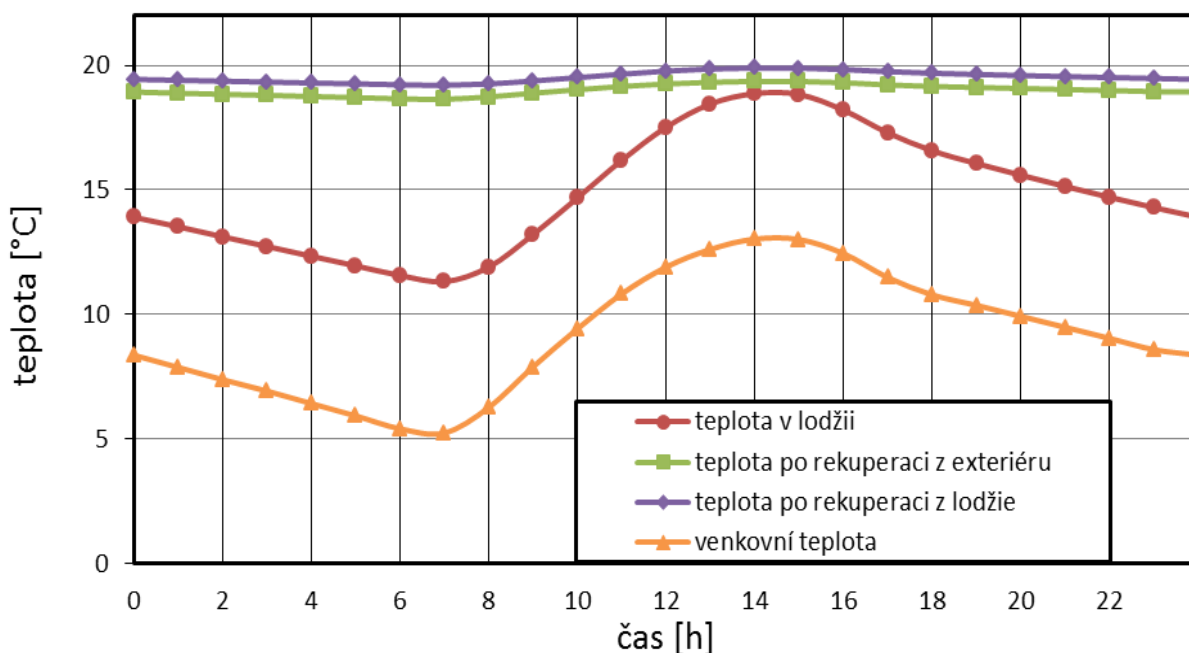
Jak již bylo zmíněno, zasklení lodžie vede také ke snížení tepelných ztrát prostupem tepla. Porovnání tepelných ztrát konvekcí a radiací (prostup tepla) zasklené a nezasklené lodžie bylo provedeno pro plochy 3, 4, 6 a 8 dle obr. 7.4. Z programu THESEUS-FE byly odečteny tepelné toky konvekcí (rovnice 4.9) a radiací (rovnice 4.32) na těchto plochách ze strany vnitřních prostor (místností) a následně byly porovnány mezi zasklenou lodží a nezasklenou v prvním patře dle obr. 6.4. Podobně jako u úspor větráním byla takto získána úspora pro každou hodinu simulovaného dne a úspora za den je dána jejich součtem, příklad opět pro říjen_75_z je na obr. 7.3.



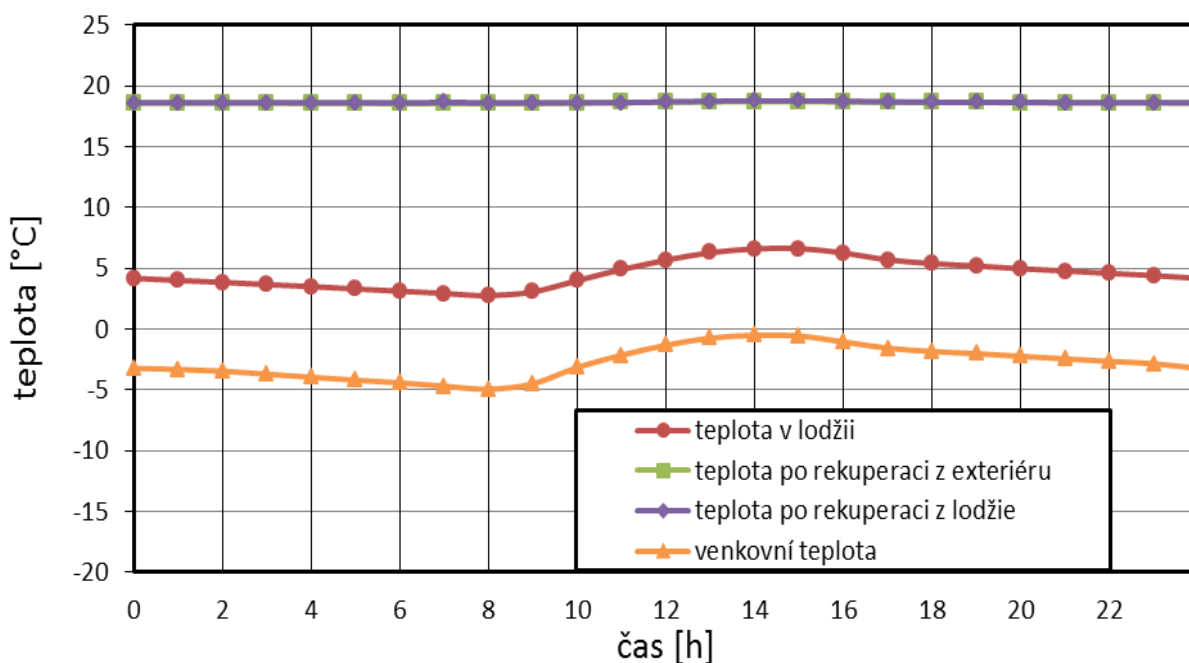
Obr. 7.4: Plochy použité pro vyhodnocení úspor větráním a prostupem tepla

6.3 Denní vyhodnocení pro říjen_75_z a leden_75_z

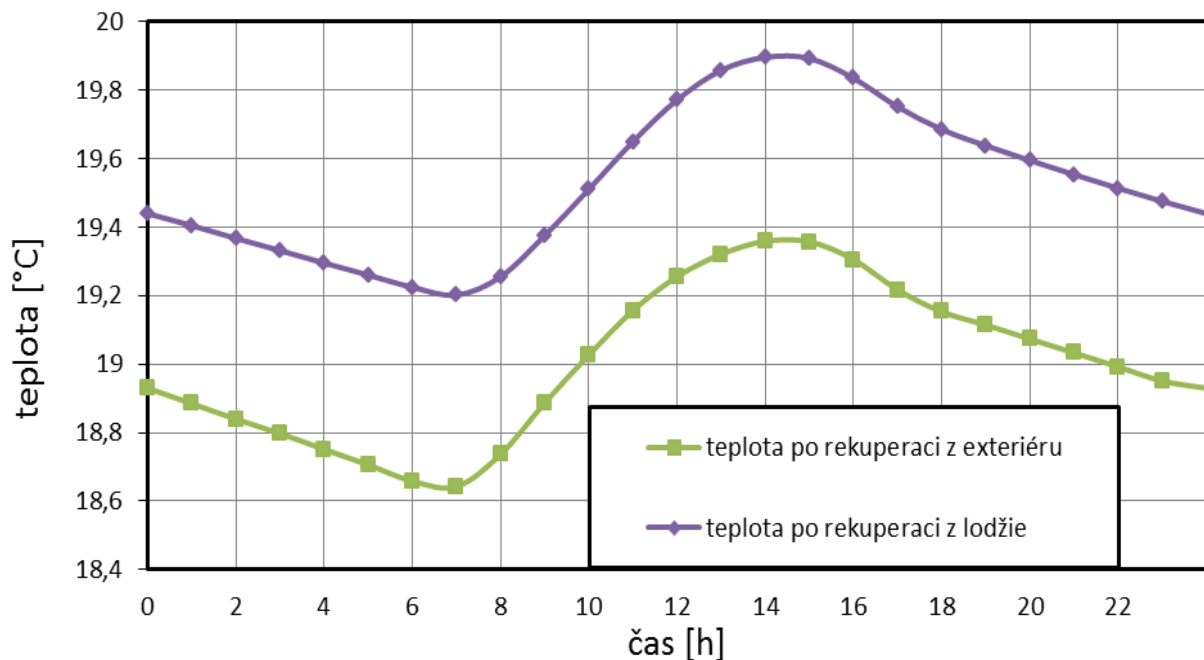
Tato kapitola se věnuje dennímu vyhodnocení pro říjen_75_z a leden_75_z. Na obr. 7.5, resp. 7.6 jsou pro tyto případy zobrazeny závislosti venkovní teploty, teploty vzduchu v ložnici a teploty vzduchu po rekuperaci při nasávání z exteriéru a zasklené ložnice na čase. Teplota vzduchu v ložnici má téměř shodný průběh s venkovní teplotou, ale je v průměru o 5,7 °C (obr. 7.5), resp. o 7,3 °C vyšší (obr. 7.6). Vysoká účinnost rekuperace způsobuje, že teploty po rekuperaci z exteriéru a ložnice jsou si podstatně blíže, což je zobrazeno na obr. 7.7 pro říjen_75_z. Pro tento případ je rozdíl průměrně 0,5 °C, pro leden_75_z je to pouhých 0,04 °C.



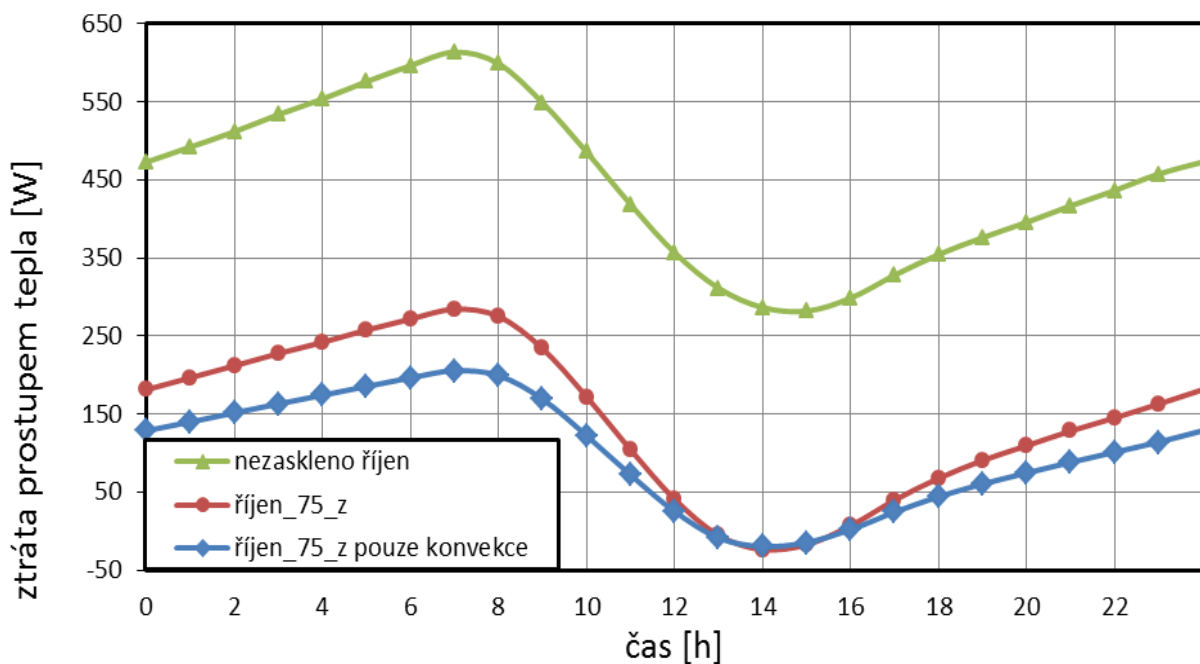
Obr. 7.5: Závislost venkovní teploty, teploty vzduchu v ložnici a teploty vzduchu po rekuperaci při nasávání z exteriéru a zasklené ložnice na čase pro říjen_75_z



Obr. 7.6: Závislost venkovní teploty, teploty vzduchu v ložnici a teploty vzduchu po rekuperaci při nasávání z exteriéru a zasklené ložnice na čase pro leden_75_z



Obr. 7.7: Závislost teploty vzduchu po rekuperaci při nasávání z nezasklené a zasklené lodžie na čase pro říjen_75_z

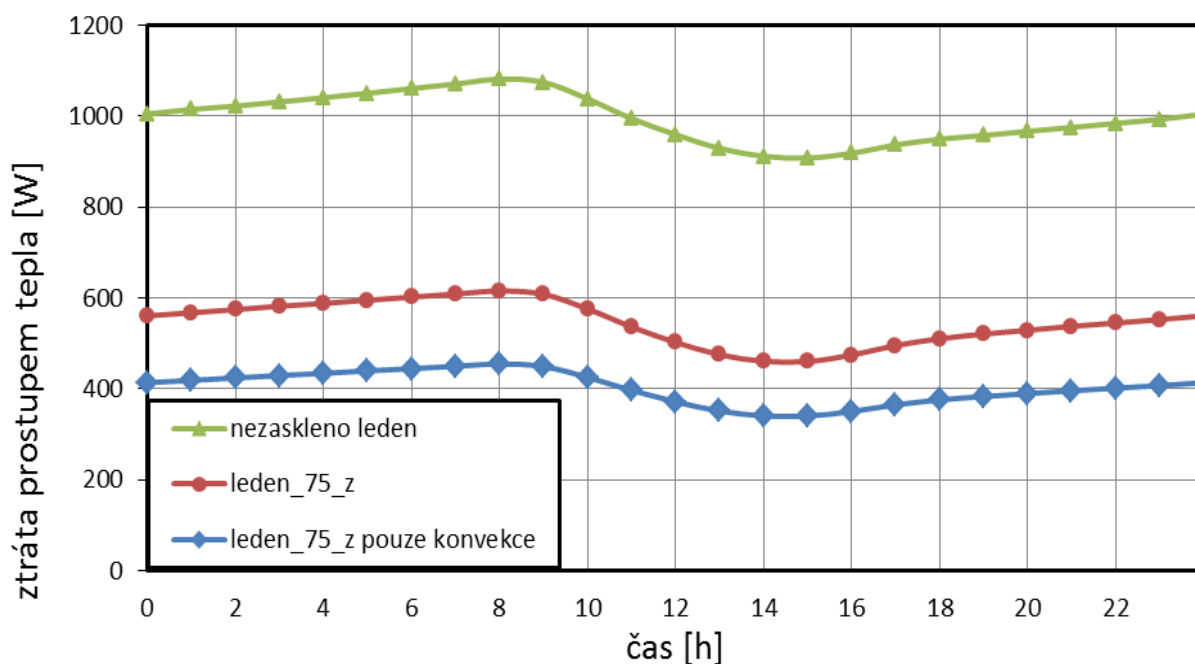


Obr. 7.8: Závislost tepelných ztrát nezasklené a zasklené lodžie na čase pro říjen_75_z

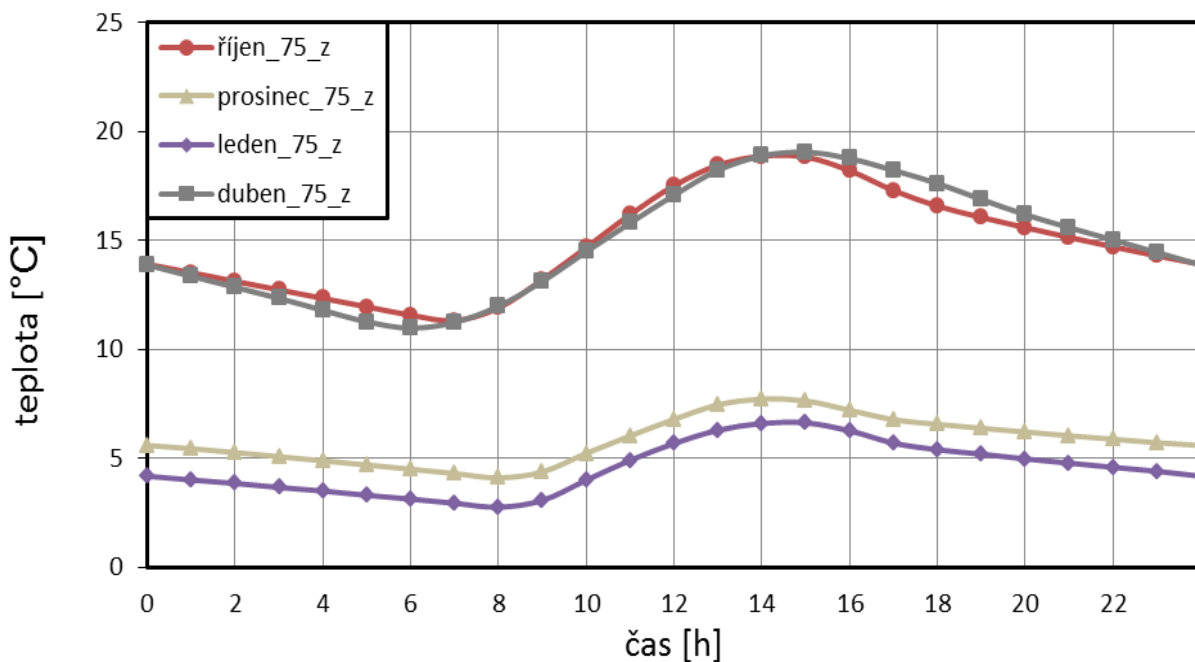
Na obr. 7.8 je zobrazena ztráta prostupem tepla pro zasklenou a nezasklenou lodžii v závislosti na čase pro říjen_75_z. V průměru se tyto křivky liší o 296,5 W a maximum mají v době, kdy má teplota vzduchu minimum (7:00) a naopak minimum mají v době, kdy má teplota maximum (14:00 - 15:00). Dále si lze všimnout, že ztráty prostupem tepla kolem 14:00 jsou záporné, což znamená, že se vlastně jedná o tepelné zisky, protože teploty stěn jsou vyšší než teploty vzduchu v místnosti a teplo je do místnosti dodáváno. Rozdíl tepelné ztráty prostupem tepla při uvažování pouze konvekce, nebo konvekce a radiace činí 41,8 W.

Ve 14:00 je ztráta prostupem tepla tvořena téměř výhradně konvekcí, což může být způsobeno dopadajícím slunečním zářením, které v místě dopadu ohřeje podlahu místnosti, takže se tepelná ztráta radiací sníží (v tomto případě zisk), zatímco teplota v místnosti je stále konstantní 20 °C a teplota mezistěny se zvýší minimálně.

Pro leden_75_z se ztráty prostupem tepla mezi zasklenou a nezasklenou lodžii v průměru liší o 450 W (obr. 7.9), v případě uvažování pouze konvekce se tepelná ztráta prostupem liší o 593 W, radiální složka zde má na tepelnou ztrátu podstatný vliv.



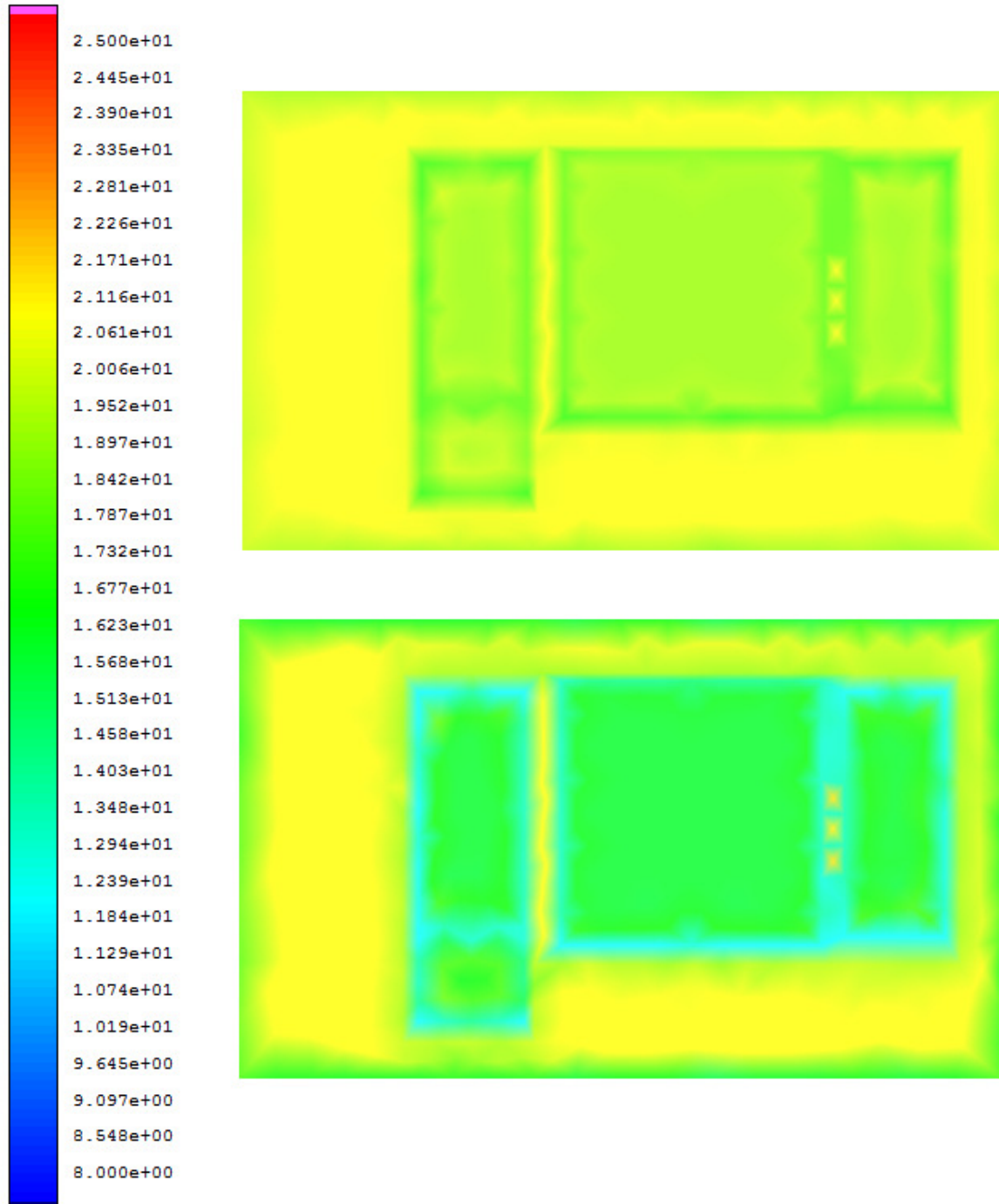
Obr. 7.9: Závislost tepelných ztrát nezasklené a zasklené lodžie na čase pro leden_75_z



Obr. 7.10: Závislost teploty vzduchu v lodžii na čase pro vybrané případy

Na obr. 7.10 jsou zobrazeny průběhy teplot vzduchu v lodžii pro dva nejchladnější a dva nejteplejší případy (zasklené okolní lodžie, 75 m³/h). Z tohoto obrázku je patrné, že v lednu je tato teplota nejnižší a říjen se částečně překrývá s dubnem. Protože tyto dny představují extrémní případy, byly vybrány do porovnání simulací právě říjen a duben.

teplota [°C]

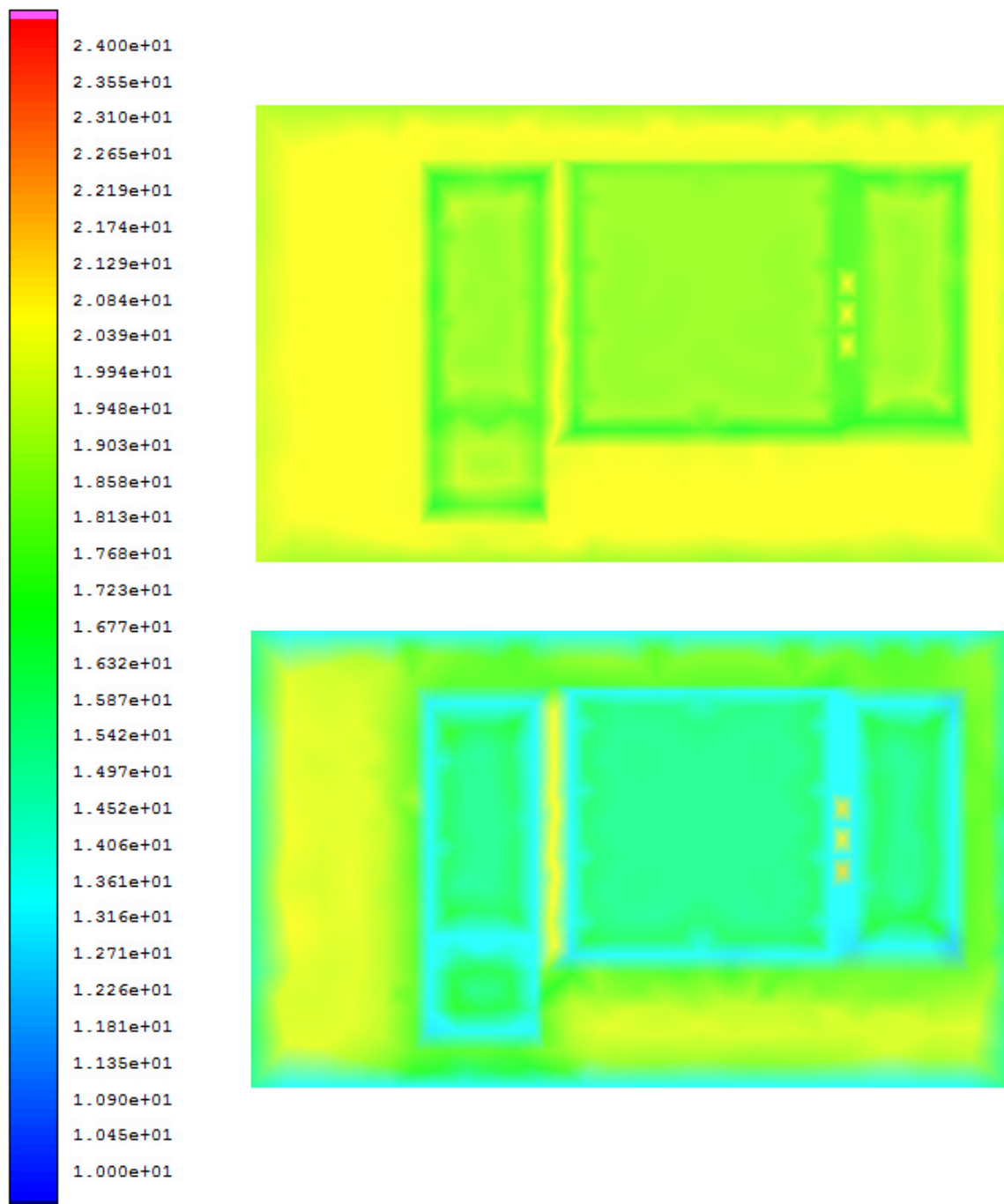


Obr. 7.11: Teplota zdi s okny ze strany místnosti (říjen_75_z) pro zasklenou (nahore) a nezasklenou (dole) lodžii v 0:00

Teplota mezistěny (zeď, okna a rám okna) ze strany místnosti ovlivňuje nejen tepelné ztráty, ale také tepelnou pohodu v místnosti. Na obr. 7.11 je na této stěně zobrazena teplota pro říjen_75_z pro zasklenou lodžii (nahore) a nezasklenou lodžii (dole) pro čas 0:00, takže

na stěnu nedopadá sluneční záření. Průměrná teplota stěny pro zasklenou ložnici je 18,9 °C, zatímco pro nezasklenou ložnici 17 °C. Tato teplota je z programu přímo odečítána, protože jednotlivé části mezistěny (okna, dveře atd.) byly před spuštěním simulace označeny pod společnou plochu v položce set. Z obr. 7.11 je patrné, že nejteplejší je zeď, dále okna a nejchladnější je rám okna.

teplota [°C]



Obr. 7.12: Teplota mezistěny ze strany místnosti pro říjen_75_z (nahore) a leden_75_z (dole)

Na obr. 7.12 je tato teplota zobrazena pro říjen_75_z (nahore) a leden_75_z (dole), teplota mezistěny pro první případ je již dříve zmíněných 18,9 °C, pro druhý 16,6 °C.

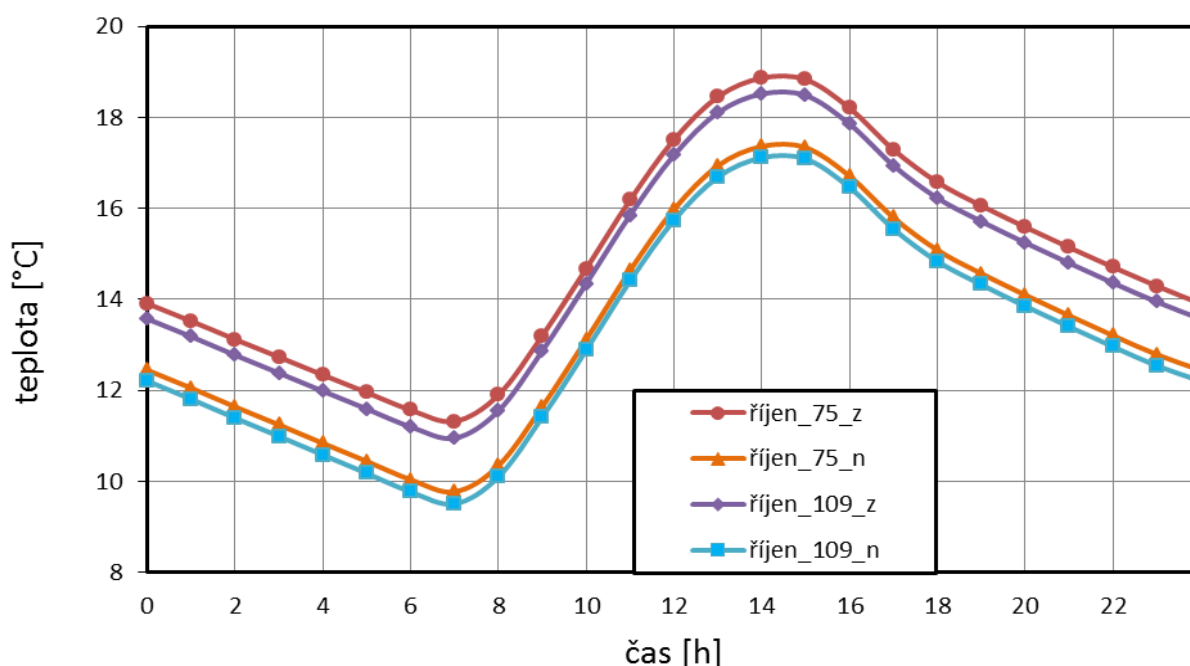
6.4 Denní vyhodnocení pro všechny říjnové simulace

Na obr. 7.13 je zobrazena závislost teploty vzduchu v loďii na čase pro říjnové simulace. Nejvyšší teplota vzduchu v loďii vychází pro případ, kdy jsou okolní loďie zasklené a průtok vzduchu je nejmenší (říjen_75_z), zatímco nejnižší teplota vzduchu v loďii je při nejvyšším průtoku vzduchu a nezasklených okolních loďiích (říjen_109_n), průměrné teploty vzduchu v loďii jsou v tab. 7.2.

Tab. 7.2: Průměrné teploty vzduchu v loďii

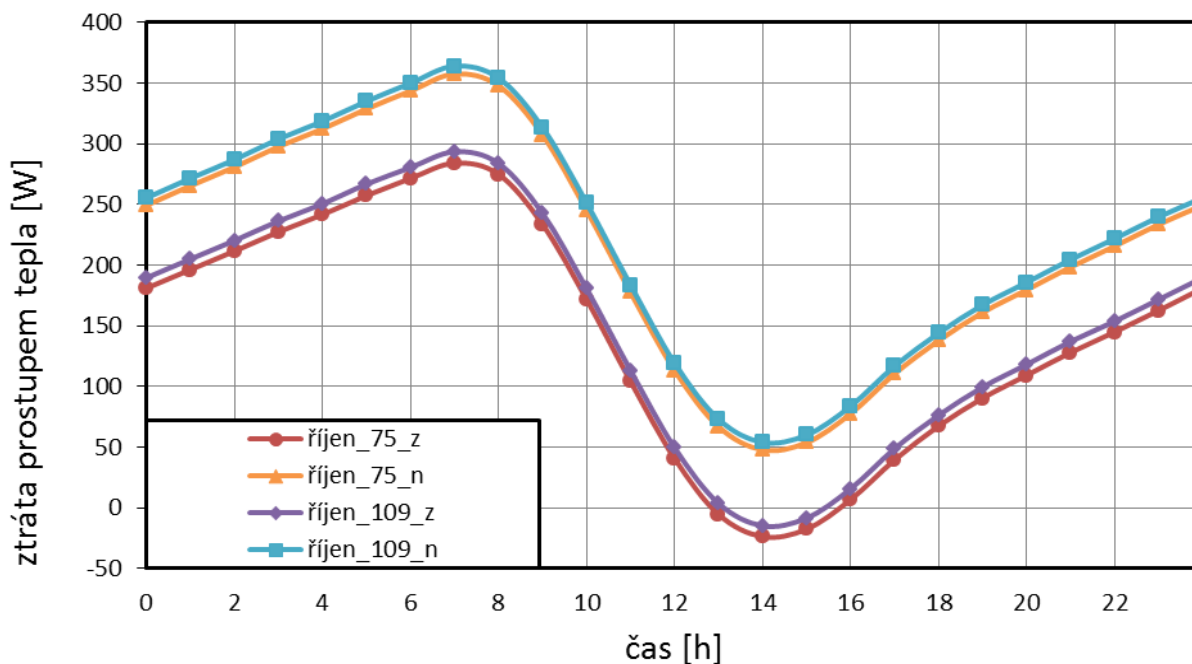
případ	teplota v loďii [°C]
říjen_75_z	14,9
říjen_75_n	13,4
říjen_109_z	14,6
říjen_109_n	13,2

Z těchto výsledků vyplývá, že v případě simulací, které se liší pouze průtokem vzduchu, je rozdíl teplot menší než u simulací, které se liší zasklením okolních loďiích. Zasklení loďiích má proto větší vliv na teplotu vzduchu v loďii než zvolený průtok vzduchu.



Obr. 7.13: Závislost teploty vzduchu v loďii na čase pro říjen_75_z, říjen_75_n, říjen_109_z a říjen_109_n

Úspora větráním je tím vyšší, čím více se větrá. Vyšších úspor se dosáhne zasklením okolních loďiích. To je v protikladu s úsporou prostupem tepla, protože čím více se větrá, tím nižší je teplota vzduchu v loďii a dochází k větším ztrátám prostupem tepla (obr. 7.14). Při porovnání případu říjen_75_z a říjen_109_z bylo zjištěno, že zvýšený průtok vzduchu přinese vyšší úsporu energie i přes vyšší ztráty prostupem tepla (úspora 1,9 MJ/den větráním oproti zvýšeným ztrátám prostupem tepla 0,77 MJ/den).



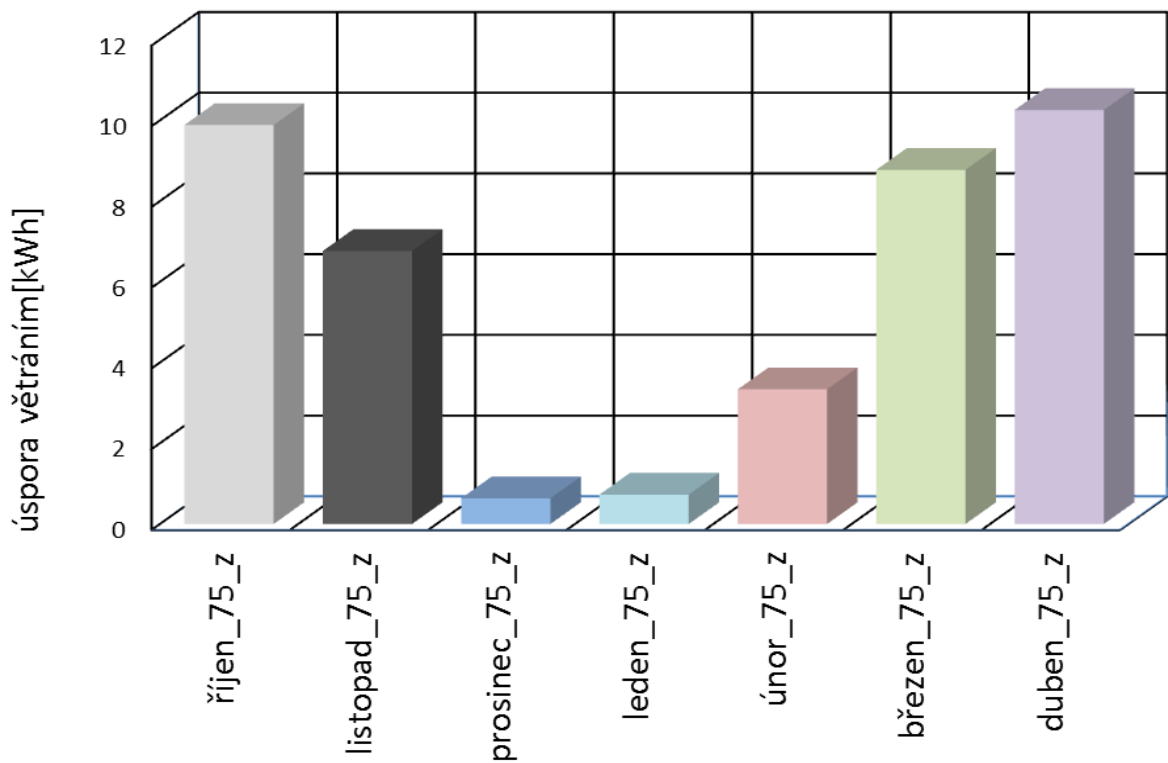
Obr. 7.14: Závislost ztráty prostupem tepla na čase pro říjen_75_z, říjen_75_n, říjen_109_z a říjen_109_n

6.5 Měsíční vyhodnocení pro průtok 75 m³/h a zasklených okolních lodžii

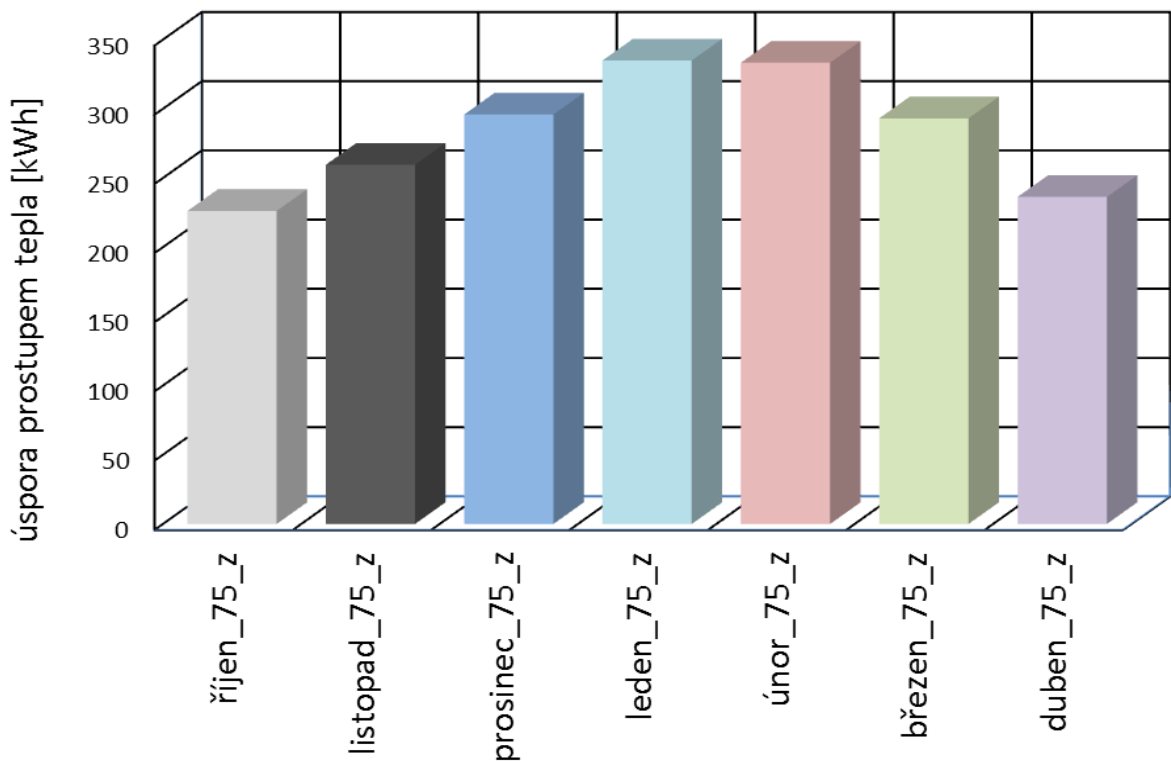
Úspora větráním a prostupem pro průtok vzduchu 75 m³/h a při zasklených okolních lodžii je zobrazena na obr. 7.15 resp. 7.16. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tab. 7.3, ze které vyplývá, že nejvyšší úspory prostupem tepla 334,90 kWh se dosáhne v lednu, nejnižší 226,22 kWh v říjnu. Oproti tomu nejnižších úspor větráním 0,64 kWh se dosáhne v prosinci a nejvyšších 10,26 kWh v dubnu. Pro zajímavost je v této tabulce uvedena úspora větráním (větráním*) pro případ, že v rovnici 7.3 bude rozdíl teplot tvořit venkovní teplota a teplota vzduchu v lodžii. Úspory pak vycházejí podstatně vyšší a téměř kopírují průběh ztrát prostupem tepla, protože není uvažován rekuperátor a nedochází tak ke kondenzaci vlhkosti z odpadního vzduchu, což zvyšuje účinnost rekuperace, snižuje teplotní rozdíl a tím i úspory větráním, jak se tomu děje v případě s rekuperátorem.

Tab. 7.3: Průměrné teploty vzduchu v lodžii

Úspora/měsíc [kWh]	říjen 75_z	listopad 75_z	prosinec 75_z	leden 75_z	únor 75_z	březen 75_z	duben 75_z
větráním	9,89	6,76	0,64	0,73	3,33	8,77	10,26
větráním*	107,46	108,61	120,70	137,10	143,75	132,36	113,40
prostupem tepla	226,22	259,58	295,90	334,90	333,33	293,14	236,36
celkem	236,11	266,34	296,54	335,63	336,66	301,91	246,62
celkem*	333,68	368,19	416,60	472,00	477,08	425,50	349,76



Obr. 7.15: Úspora větráním po měsících pro průtok vzduchu $75 \text{ m}^3/\text{h}$ a zasklených okolních lodžích



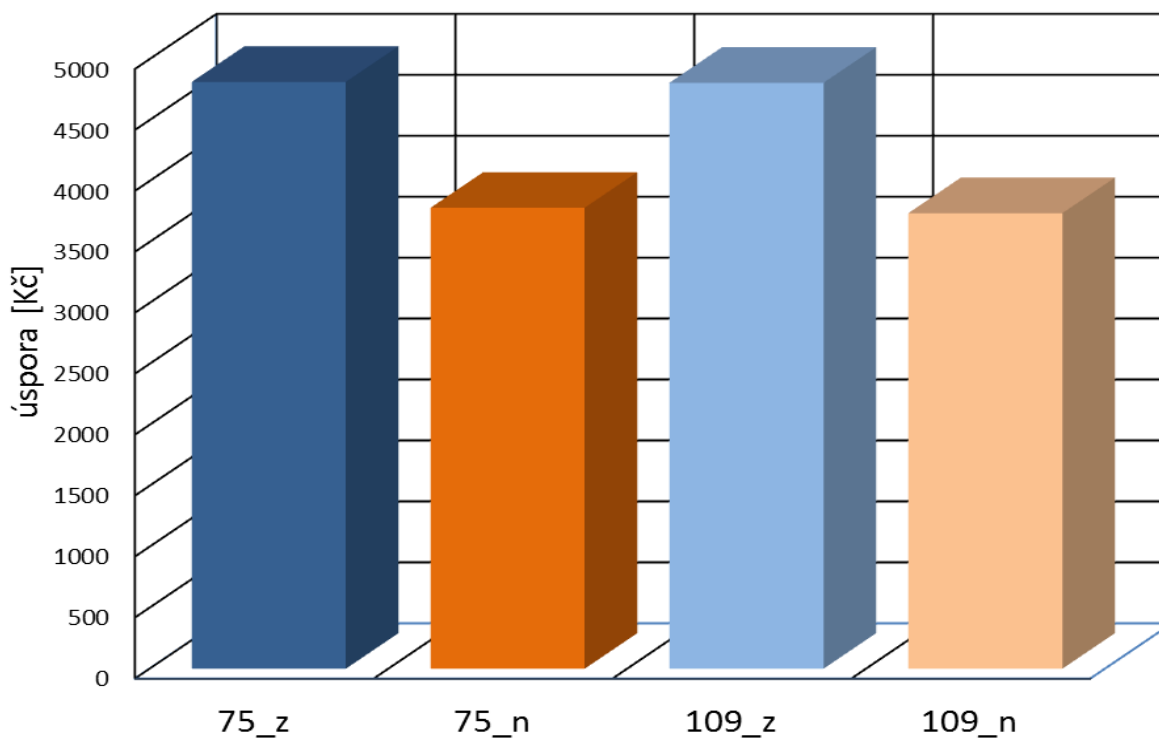
Obr. 7.16: Úspora prostupem tepla po měsících pro průtok vzduchu $75 \text{ m}^3/\text{h}$ a zasklených okolních lodžích

6.6 Vyhodnocení pro topnou sezónu

Úspora tepla větráním, prostupem tepla a celkově pro celou topnou sezónu pro případ 75_z (75 m³/h, okolní lodžie zasklené) je uvedena v tab. 7.4. Z těchto hodnot vyplývá, že úspora prostupem tepla je podstatně větší než úspora větráním. V případě, že by se uvažovala pouze úspora větráním, nemělo by zasklení energetický resp. ekonomický význam, při celkovém vyhodnocení se však jedná o zajímavou investici. Pokud bude uvažována cena tepla podle [26] 662,1 Kč/GJ, je možné úspory vyhodnotit ekonomicky, což je uvedeno v grafu 7.17, přičemž nejvyšší úspora činí 4814 Kč pro 75_z a nejnižší 3737 Kč pro 109_n.

Tab. 7.4: Úspora větráním a prostupem tepla

úspora [kWh]	75_z	75_n	109_z	109_n
větráním	40	25	89	60
prostupem tepla	1979	1562	1928	1508
celkem	2019	1587	2017	1568



Obr. 7.17: Celková úspora v Kč za topnou sezónu

6.7 Shrnutí výsledků

Z výsledků vyplývá, že v případě simulací, které se liší pouze průtokem vzduchu, je rozdíl teploty vzduchu v ložnici menší než u simulací, které se liší zasklením okolních ložnic, takže zasklení ložnice má větší vliv na teplotu v ložnici než průtok vzduchu.

Úspora větráním je tím vyšší, čím více se větrá, což je v protikladu s úsporou prostupem tepla, protože čím více se větrá, tím nižší je teplota vzduchu v ložnici a tím větší jsou ztráty prostupem tepla. Při porovnání dvou případů bylo zjištěno, že zvýšený průtok vzduchu přinese vyšší úsporu energie i přes vyšší ztráty prostupem tepla.

Účinnost rekuperace silně závisí na kondenzaci vlhkosti z odpadního vzduchu, a proto jsou v zimním období teploty vzduchu po rekuperaci ze zasklené a nezasklené ložnice prakticky stejné a tím pádem i úspora tepla při větrání je minimální. Tento fakt pak vede k tomu, že v zimě je nejvyšší úspory dosahováno především díky snížení tepelných ztrát stavebními konstrukcemi přiléhajícími k ložnici. Dalším přínosem díky předehřevu větracího vzduchu je zmírnění provozních problémů se zamrzáním výměníku v chladných měsících (prosinec, leden, únor). Při zamrznutí výměníku musí být jednotka buď odstavena z provozu a musí se čekat na samovolné roztání ledu, nebo se sníží množství přiváděného vzduchu regulací otáček ventilátoru po dobu potřebnou k odmrazení odpadním vzduchem. V obou případech se sníží provozuschopnost systému v období, kdy je rekuperace tepla nejpotřebnější.

Nejvyšších úspor se dosáhne zasklením okolních ložnic a zvýšením množství větracího vzduchu (jen do určité míry). Zasklením ložnice dojde ke zvýšení povrchové teploty stěny mezi místností a ložnicí, snížení tepelných ztrát a ke zlepšení tepelné pohody v místnosti. Prodlouží se také doba používání ložnice během roku, kterou je pak možno využívat jako zimní zahradu, zvýší se ochrana před nepříznivými vlivy počasí (déšť, kroupy atd.), v nižších patrech se sníží riziko vloupání atd. Zasklení je možné realizovat pomocí bezrámového či rámového systému, oba systémy potřebují pravidelnou údržbu a čištění a v každém případě je nutné ložnici větrat, aby nedocházelo k tvorbě plísní.

7 ZÁVĚR

Cílem této práce je posouzení zasklené lodžie pro předešev větracího vzduchu pomocí simulačního softwaru. V teoretické části jsou uvedeny způsoby pasivního využití slunečního záření se zaměřením na lodžie, dále jsou zde popsány způsoby větrání bytů a popis větrací jednotky použité pro vyhodnocení simulací. Čtvrtá kapitola je věnována přenosu tepla v programu THESEUS-FE s ohledem na mechanismy použité v simulovaných případech.

Praktická část poskytuje seznámení se s objektem, následuje popis řešených modelových případů a vytvoření geometrického modelu (dvě varianty). Simulace byly provedeny pro sedm dnů, vždy po jednom dni z měsíců říjen - duben, pro průtok vzduchu $75 \text{ m}^3/\text{h}$ a $109 \text{ m}^3/\text{h}$ a v úvahu byla vzata varianta, že okolní lodžie mohou či nemusí být zasklené. Jako meteorologická data byla použita data TMY (typický meteorologický rok), která bylo nutno s ohledem na jejich vlastnosti zprůměrovat pro každý posuzovaný měsíc v uvažovaném období topné sezóny od 1. října do 31. dubna.

Pro komplexní vyhodnocení úspor zasklením lodžie je provedeno nejen vyhodnocení z hlediska větrání, ale také tepelných ztrát prostupem tepla. Výsledky jsou nejprve prezentovány pro říjnový a lednový den (zástupci teplého a chladného dne), průtok vzduchu $75 \text{ m}^3/\text{h}$ a zasklené okolní lodžie, následně je tento případ porovnán s ostatními variantami pro říjnový den (kombinace průtoku vzduchu $75 \text{ m}^3/\text{h}$ a $109 \text{ m}^3/\text{h}$ a okolní lodžie zasklené či nezasklené), dále jsou vyhodnoceny úspory po jednotlivých měsících při průtoku vzduchu $75 \text{ m}^3/\text{h}$ a zasklených okolních lodžích a nakonec jsou vyhodnoceny topné sezóny (kombinace průtoku vzduchu $75 \text{ m}^3/\text{h}$ a $109 \text{ m}^3/\text{h}$ a okolních lodžích zasklených či nezasklených).

Z provedených simulací vyplynulo, že na snížení tepelných ztrát má větší vliv zasklení okolních lodžii než zvýšení průtoku vzduchu. Nejvyšší úspory tepla při větrání se dosáhne v dubnu a nejnižší v prosinci, u ztrát prostupem tepla se nejvyšší úspory dosáhne v lednu a nejnižší v říjnu. Větráním je za topnou sezónu možné při průtoku vzduchu $75 \text{ m}^3/\text{h}$ a zasklených okolních lodžích uspořit 40 kWh a prostupem tepla 1979 kWh, z čehož plyne, že na celkové úspoře má větrání minimální podíl. Pro tento případ se dosáhne celkové úspory 4814 Kč. Je to způsobeno mj. tím, že účinnost rekuperace je vysoká a teploty po rekuperaci ze zasklené a nezasklené lodžie jsou si tudíž blízké. V případě, že by se při vyhodnocení úspor větráním vycházelo z rozdílu teploty v zasklené a nezasklené lodžii, byla by úspora vyšší.

Práce prezentuje výsledky získané ze simulace reálné lodžie při použití zjednodušení vyplývajících z použitého simulačního postupu. Meteorologická data byla upravena tak, aby lépe reprezentovala typický den v každém měsíci uvažované topné sezóny. V práci nebyla posuzována návratnost investice do podobného systému, protože přesně nelze odhadnout náklady na její realizaci, ale byly vyčísleny celkové úspory na vytápění při uvažování cen tepla platných pro Brno. Zasklení lodžie má také sekundární výhody, které nelze finančně vyhodnotit. Patří sem zvětšení obytného prostoru, snížení prašnosti, hluku a zatékání do lodžie, prodloužení doby pobytu v lodžii během roku, další ochrana proti násilnému vniknutí a v neposlední řadě i zlepšení estetických vlastností lodžii, pokud je zasklení provedeno vhodným systémem a v rámci komplexní revitalizace bytových domů.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUMM, O. *NÍZKOENERGETICKÉ DOMY*. 1., české vyd. Praha: Grada Publishing, 1999. ISBN 80-7169-657-9.
- [2] *Trombeho stěna: základní informace* [online]. 2008 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <<http://www.envic-sdruzeni.cz/aktuality/aktuality-obsah/trombeho-stena-zakladni-informace.htm>>.
- [3] MATUŠKA, T. Transparentní tepelné izolace a jejich využití v solární technice. [online]. 2000 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <<http://www.4-construction.com/cz/clanek/transparentni-tepelne-izolace-a-jejich-vyuziti-v-solarni-technice/>>.
- [4] *Atrea* [online]. Jablonec nad Nisou: ATREA, c 1998-2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://www.atrea.cz/>>.
- [5] BARTÁK, K. *BALKONY A JEJICH OPRAVY*. Praha: Grada Publishing, 2002. ISBN 80-247-0715-8.
- [6] PROVAZNÍK, I. Zasklívací systémy pro lodžie a balkony. In: *Ivo Provazník: Balkón pro Vás zasklí* [online]. Havlíčkův Brod, 2010 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://www.zaskleny-balkon.cz/zasklivaci-systemy/>>.
- [7] CHYSKÝ, J. a K. HEMZAL a kol. *Větrání a klimatizace*. 3., zcela přeprac. vyd. Praha: BOLIT - B press, 1993. TECHNICKÝ PRŮVODCE, 31. ISBN 80-901574-0-8.
- [8] TYWONIAK, J. Větrání budovy a šíření vzduchu podle ČSN 73 0540-2. In: *Tzbinfo* [online]. 31.10.2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/7981-vetrani-budovy-a-sireni-vzduchu-podle-csn-73-0540-2>>.
- [9] DUFKA, J. *VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE DOMŮ A BYTŮ*. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2005, 160 s. Profi & hobby; 113. ISBN 80-247-1144-3.
- [10] CIFRINEC, I. Větrání bytových domů - Základy teorie větrání. In: *Tzbinfo* [online]. 26.5.2010 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani>>.
- [11] *Poznámky z přednášek* doc. Ing. Evy Janotkové, CSc, 2012.
- [12] ZMRHAL, V. a J. PETLACH. Systémy větrání obytných budov. In: *Tzbinfo* [online]. 17.10.2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>>.
- [13] Větrací jednotky firmy Nativa. In: *Tzbinfo* [online]. Mikulov, 28.5.2007 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/4154-vetraci-jednotky-firmy-nativa>>.
- [14] *THESEUS-FE: Theory Manual*. Version 4.0. Německo: P+Z Engineering GmbH, 2011.
- [15] JÍCHA, M. *PŘENOS TEPLA A LÁTKY*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-2029-4.
- [16] CIHELKA, J. *SOLÁRNÍ TEPELNÁ TECHNIKA*. 1. vyd. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.
- [17] KOUBKOVÁ, I. Modernizace bytových jader. In: *Tzbinfo* [online]. 3.7.2006 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/3398-modernizace-bytovych-jader>>.

- [18] Panelové domy: Vlastnosti bytových jader z pohledu větrání. *EkoWATT: CENTRUM PRO OBNOVITELNÉ ZDROJE A ÚSPORY ENERGIE* [online]. Praha, 15. Leden 2010 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://panelovedomy.ekowatt.cz/vetrani/24-vlastnosti-bytovych-jader-z-pohledu-vetrani>>.
- [19] WITZANY, J. *Komplexní regenerace nosné konstrukce panelových domů stavební soustavy B 70*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004. Regenerace panelových domů. ISBN 80-86364-64-X.
- [20] REINBERK, Z. Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci. In: *Tzbinfo* [online]. 2.9.2003 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_katalog.html>.
- [21] LABOUTKA, K. Součinitelé sálání a poměrné tepelné pohltivosti. In: *Tzbinfo* [online]. 2001 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/56-soucinitele-salani-a-pomerne-tepelne-pohltivosti>>.
- [22] [online]. Tokyo: Nippon Sheet Glass Co., c 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <<http://www.pilkington.com/>>.
- [23] JINDRÁK, M. Zkušenosti z větrání bytových domů v ČR (I). In: *Tzbinfo* [online]. 7.5.2007 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/4104-zkusenosti-z-vetrani-bytovych-domu-v-cr-i>>.
- [24] METEONORM: *Handbook part 1: Software*. Version 6.0. Švýcarsko: METEOTEST, 9.12.2010.
- [25] *TRNSYS 16: Mathematical Reference*. Wisconsin-Madison: Solar Energy Laboratory, c 2006.
- [26] TEPLÁRNY BRNO: CENÍK TEPLA. [online]. Brno: Teplárny Brno, c 2011-2012, 1.1.2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <<http://www.teplarny.cz/cz/cenik-tepla>>.

9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Název
EF	Energetická fasáda
TI	Transparentní izolace
TUV	Teplá užitková voda
ZZT	Zpětné získávání tepla
VZT	Vzduchotechnická jednotka
GB	Grey body (šedé těleso)
BB	Black body (černé těleso)
TMY	Typical meteorological year (typický meteorologický rok)
FVT	Freshair-ventilation-temperature (vzduch-větrání-teplota)

Symbol	Název	Jednotka
T	Teplota	[K]
\dot{q}	Měrný tepelný tok	[Wm ⁻²]
λ	Tepelná vodivost	[Wm ⁻¹ K ⁻¹]
$\bar{\nabla}T$	Teplotní gradient	[Km ⁻¹]
ρ	Hustota	[kgm ⁻³]
c	Tepelná kapacita	[Jkg ⁻¹ K ⁻¹]
k_{ij}	Symetrický tenzor	[-]
Γ	Označení povrchu	[-]
t, τ	čas	[s]
\bar{s}	Pozice	[-]
Ω_e	Konečný element	[-]
w	Hmotnost	[kg]
σ	Stefan-Bolzmannova konstanta	[-]
ε	Emisivita	[-]
α	Součinitel přestupu tepla	[Wm ⁻² K ⁻¹]
\dot{Q}	Tepelný tok	[W]
S	Plocha	[m ²]
L	Charakteristický rozměr	[m]
Nu	Nusseltovo číslo	[-]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
Pr	Prandtlovo číslo	[-]
GR	Grasshofovo číslo	[-]
v	Rychlost proudění tekutiny	[ms ⁻¹]
ν	Kinematická viskozita	[m ² s ⁻¹]
g	Gravitační zrychlení	[ms ⁻²]
β	Součinitel objemové roztažnosti	[K ⁻¹]
φ_a	Výška slunce nad obzorem	[°]
φ_{azi}	Sluneční azimut	[°]
I_d	Intenzita přímé sluneční radiace na povrch kolmý k záření	[Wm ⁻²]
I_{dif}	Intenzita difúzní sluneční radiace na vodorovný povrch	[Wm ⁻²]
a, t, r	Absorptance, transmitance, reflektance	[-]

Symbol	Název	Jednotka
φ	Úhel dopadu (kap. 4.3.1)	[°]
β	Úhel sklonu povrchu (kap. 4.3.1)	[°]
F	Úhlový součinitel	[-]
i, j, k	Element	[-]
r	vzdálenost	[m]
n	Intenzita výměny vzduchu	[h ⁻¹]
U	Součinitel prostupu tepla	[Wm ⁻² K ⁻¹]
δ	Tloušťka	[m]
c_{obl}	Faktor oblačnosti	[-]
p	Tlak	[Pa]
h	Nadmořská výška	[m]
η	Účinnost	[-]
\dot{V}	Objemový tok vzduchu	[m ³ /s]

Index	Název
ved	Vedení
rad	Radiace
konv	Konvekce
i, j	Souřadnice
1-2, k-i	Mezi povrchem 1 a 2, resp. k a i
vzd	Vzduch
w	Povrch
∞	Nekonečně vzdálený
ki, km	Úhlový součinitel mezi povrchy k a i resp. k a m
in, out	Dopadající na povrch, odcházející z povrchu
p	Při konstantním tlaku
e,i	Vnější, vnitřní
glob	celkový
atm	Atmosférický
sat	Rosný bod
obl	Obloha

10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Excel s daty pro vyhodnocení

Příloha 2 Vstupní soubory všech simulací