



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra konstrukcí pozemních staveb**

**Algoritmy ovládání pohyblivého systému venkovního
stínění kancelářských budov**

Dynamic control strategies of moving shading systems in
office buildings

Diplomová práce

Autor: Bc. Hana Frčková

Vedoucí práce: Ing. Pavel Kopecký, Ph.D.

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí – zaměření Konstrukce budov

leden 2019



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Frčková

Jméno: Hana

Osobní číslo: 424448

Zadávací katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí - zaměření Konstrukce budov

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Algoritmy ovládání pohyblivého systému venkovního stínění kancelářských budov

Název diplomové práce anglicky: Dynamic control strategies of moving shading systems in office buildings

Pokyny pro vypracování:

1) Diplomantka sestaví stručný přehled o současném stavu problematiky snižování solárních tepelných zisků v kancelářských budovách venkovními systémy stínění.

2) Diplomantka provede sledování provozu systému venkovního stínění a teploty vnitřního vzduchu v budově A, ČVUT, FSv a vyhodnotí získané údaje.

3) Diplomantka vytvoří možné varianty logických algoritmů pro ovládání systému venkovního stínění. Tyto varianty ovládání budou použity v simulaci tepelného chování modelové kanceláře. Bude vyhodnocen dopad algoritmu ovládání systému venkovního stínění na potřeby tepla a tepelný komfort.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Pavel Kopecký, Ph.D

Datum zadání diplomové práce: 1.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 7. 1. 2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

1.10.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Kopeckého, Ph.D. a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V dne

.....

Bc. Hana Frčková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat především panu Ing. Pavlu Kopeckému, Ph.D. za poskytnutí veškerých podkladů a skvělý přístup při vedení mé práce a Ing. Kamilu Staňkovi, Ph.D. za poskytnutí výpočetního modelu žaluzie s kódem pro výpočet F_{sh} a tabulkového procesoru v MS Excel pro přepočet solárního ozáření na skloněnou rovinu.

Dále bych chtěla poděkovat všem účastníkům sledování provozu žaluzií na budově A Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Poděkování patří také Josefu Matouškovi a Ing. Tomáši Veselému za odborné konzultace.

Abstrakt

Stále častěji se dnes v mírném podnebném pásu můžeme při vyšších venkovních teplotách setkat s nadměrně vysokými teplotami v interiéru, které mají negativní vliv na komfort a pracovní výkon uživatelů kancelářských budov obzvláště u těch bohatě prosklených. Cílem této práce je na modelovém příkladu ukázat, jaký mají současně užívané způsoby ovládání pohyblivého systému stínění dopad na komfort uživatelů a na potřeby energie potřebné k udržení optimálních podmínek vnitřního prostředí. Na výpočetním modelu kanceláře v modelové budově jsou simulovány dopady způsobů ovládání pohyblivého systému stínění, které jsou vyhodnoceny na základě časově proměnné účinnosti stínicího systému a vlivu na úroveň denního osvětlení. Při simulaci se sledují především průběhy teplot vnitřního vzduchu, potřeba tepla na vytápění a počet hodin, kdy teplota vnitřního vzduchu přesahuje určité prahové hodnoty, na které se navrhují systémy chlazení. Každý způsob ovládání má příznivé dopady v jiném období. Například v přechodných obdobích na jaře a na podzim je příznivější ovládání podle vnitřní teploty kvůli redukci potřeby tepla na vytápění. Ale toto ovládání v letním období způsobuje úplné zastínění. Úplné odstínění solárních tepelných zisků pomáhá tepelné pohodě uživatelů, ale nelze sledovat pouze tepelnou pohodu, je nutné se ohlédnout i na další složky vnitřního prostředí, především světelnou pohodu. Pro zajištění optimálních podmínek vnitřního prostředí je tedy nutné ovládat stínicí systém podle více informací, které je potřeba vhodně zkombinovat. Stínicí systém by měl fungovat jen část roku, kdy teplota vnitřního vzduchu překračuje určitou hodnotu, a měl by reagovat na solární ozáření, které by měl maximálně odstínit. Takže by měl v letním období stínit pořád, ale méně při zatažené obloze a v částech dne, kdy je solární ozáření nižší.

Klíčová slova

denní osvětlení při stínění, ovládání pohyblivých stínicích systémů, tepelná pohoda, účinnost žaluzie

Abstact

It is very frequent nowadays to encounter extremely high temperature in the interior. This happens even in our mild climate zone when the temperature outside gets high. High temperature in the interior has a negative effect on the comfort and performance of users in office buildings, especially in case of high glass walls. The goal of this work is to show a model example and illustrate how current moving shading system affects comfort of users and how it influences need of energy for maintaining optimal conditions of the interior. A model office in a model building was used for calculations and simulations of different control strategies of moving shading system. Assessment was performed according to time variable of efficiency of shading system as well as the influence on the level of daylighting. In the simulation we observe mainly the courses of temperature of inner air, need of heat for heating and the amount of hours when temperature of inner air exceeds certain threshold value. It is also important to consider design of cooling systems in case of high temperature outside. Every control strategie has positive effects in different season of the year. For instance in transitional period of spring and autumn it is better to control shading according to interior temperature because need for heating is reduced. But this control in summer causes total shade. Total shade of solar heat profit helps thermal comfort of users but we should not observe thermal comfort only. It is necessary to consider other aspects of interior, especially light comfort. To secure optimal conditions of interior it is essential to control shading system based on more information which must be combined properly. The shading system should be in operation just for a part of the year, when the temperature of interior exceeds certain level and the system should respond to solar radiation which should be shaded in the maximum level. Therefore, the system should make shade in summer all the time but when it is cloudy and solar radiation is lower, shading can be lower.

Keywords

shading and daylighting, control of moving shading systems, thermal comfort, venetian blinds efficiency

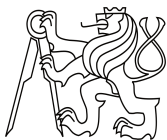
Seznam zkratek (veličin)

F_{sh}	[-]	korekční činitel stínění
Q_s	[Wh/m ²]	množství solární energie dopadající na zastíněnou plochu
Q_{se}	[Wh/m ²]	množství solární energie dopadající na nezastíněnou plochu
G_{Gt}	[W/m ²]	globální solární ozáření na skloněnou rovinu
U	[W/(m ² .K)]	součinitel prostupu tepla
g	[-]	energetická propustnost zasklení
τ	[-]	světelná propustnost zasklení
D	[%]	činitel denní osvětlenosti
D_m	[%]	průměrný činitel denní osvětlenosti
D_{min}	[%]	minimální činitel denní osvětlenosti
E_m	[lx]	osvětlenost v interiéru na vodorovné rovině
E_h	[lx]	osvětlenost v exteriéru na nezastíněné vodorovné rovině
θ_{rm}	[°C]	klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pro vyhodnocovaný den
θ_{rm-1}	[°C]	klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pro předchozí den
θ_{ed-1}	[°C]	denní střední teplota venkovního vzduchu pro předchozí den
n_{50}	[1/h]	intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa
T_{ai}	[°C]	teplota vnitřního vzduchu
T_{ae}	[°C]	teplota vnějšího vzduchu

Obsah

1. Úvod	10
1.1 Obecně.....	10
1.2 Současný stav problematiky.....	11
Dynamické stínění	11
Vliv větrání.....	12
Definice přehřívání.....	12
Systémy venkovního stínění.....	14
1.3 Pohyblivé systémy stínění a jejich technická řešení [19].....	20
1.4 Cíle práce	27
2. Reálný provoz modelové kancelářské budovy se systémem venkovního stínění ...	28
2.1 Úvod.....	28
2.2 Popis měření.....	30
2.3 Provoz systému venkovního stínění.....	34
2.4 Tepelné posouzení.....	36
2.4.1 Posouzení průběhů vnitřních teplot	36
2.4.2 Posouzení tepelné pohody podle ČSN EN 15251 [8].....	40
2.4.2.1 Popis metody.....	40
2.4.2.2 Výsledky a hodnocení.....	43
3. Korekční činitel stínění pro pohyblivé systémy	48
3.1 Model	48
3.2 Varianty nastavení žaluzií	49
3.3 Popis metody výpočtu	53
3.4 Výsledky a hodnocení	54
4. Vliv žaluzií na denní osvětlení	58
4.1 Činitel denní osvětlenosti.....	58

4.2	Model	59
4.3	Varianty nastavení žaluzií	61
4.4	Výsledky a hodnocení	62
5.	Algoritmy pro ovládání žaluzií a jejich simulace	65
5.1	Popis modelové kanceláře	65
5.2	Vnější okrajové podmínky	66
5.3	Předpoklady	67
5.4	Výpočetní model	69
5.5	Počáteční úvaha	70
5.6	Základní algoritmy ovládání stínicího systému	75
5.7	Dopady řízení žaluzií podle základních algoritmů	76
5.7.1	Vliv na teplotu vnitřního vzduchu a potřebu tepla na vytápění	76
5.7.2	Vliv na tepelnou pohodu podle EN 15251 [8]	79
5.7.3	Vliv zvýšeného ranního větrání okny	81
5.7.4	Vliv nastavení požadované hodnoty (set-point) u algoritmů	84
5.8	Výsledné rozšíření základních algoritmů	86
5.9	Diskuse	90
6.	Závěr	91
	Seznam použité literatury	95
	Seznam ilustrací	97
	Seznam tabulek	100
	Seznam příloh	100



1. Úvod

1.1 Obecně

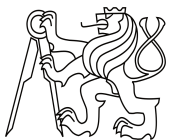
V minulém století byl tepelný návrh budovy založen na návrhu výkonu zdroje tepla, který kompenzoval tepelné ztráty v zimním období, ale výkony nebyly příliš regulovány. A proto, že tepelná izolace obálky budov nebyla tak kvalitní, potřeby tepla na vytápění dosahovaly vysokých hodnot. Na základě stále většího tlaku na úsporu energií získávají dnes obálky budov mnohem lepší tepelně-izolační vlastnosti a tepelné ztráty a potřeby tepla na vytápění se redukuje. Tepelné zisky však ve značné míře zůstávají a nabývají na významu, obzvláště v letním období, kdy vlivem lepších tepelně izolačních vlastností tepelná energie setrvává uvnitř budov a způsobuje zvyšování teploty vzduchu a následně přehřívání interiéru. Navíc zdroje tepelných zisků v kancelářských budovách působí často v časovém souběhu a představují tak mnohem větší riziko zvýšení vnitřní teploty. Téma letní tepelné stability tedy nabývá na důležitosti a je čím dál aktuálnější.

Okna zajišťují přísun přirozeného denního světla a architektura si žádá maximální míru prosklení budov. S tím ale přichází právě problém většího množství solárních tepelných zisků, ze kterých setrvává tepelná energie v interiéru a podporuje jeho přehřívání. To má nejen v letním období negativní vliv na komfort a zdraví uživatelů a v neposlední řadě i na potřebu energie spojenou s použitím chladících zařízení.

Kanceláře jsou místa, kde velký počet zaměstnanců tráví většinu pracovní doby, takže je velmi důležité, aby byly navrženy a postaveny tak, aby svým uživatelům poskytovaly maximální komfort, a to především vizuální komfort, tepelný komfort a také kvalitní vnitřní vzduch. Kvalita vnitřního prostředí totiž ovlivňuje výkonnost a produktivitu jejich uživatelů.

V této práci chci poukázat nejen na vliv letního přehřívání na komfort uživatelů administrativních budov, ale i na potenciál optimálního používání stínících systémů.

Nelze říci, že stínící systémy vyřeší tento problém, ale mohou pomoci při jeho řešení s nižšími náklady než u strojního chlazení. A také mohou hrát velkou roli v případech, že systém strojního chlazení selže nebo se porouchá.



1.2 Současný stav problematiky

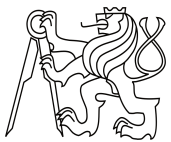
Dynamické stínění

Už v roce 2011 dánští akademičtí pracovníci publikovali článek, který se zabývá přehříváním v kancelářských budovách [1]. Na modelové kanceláři byl zkoumán vliv stínění na celkovou spotřebu energie, parametry vnitřního prostředí a vizuálního komfortu uživatelů pomocí počítačové simulace. Výsledky simulace ukázaly potenciál použití dynamického systému stínění v kancelářských budovách pro snížení potřeby energie na chlazení a zároveň pro zajištění dostupnosti denního světla a možnosti pohledů ven na fasádách orientovaných k jihu. Na fasádách orientovaných k severu jsou vhodnější pevné stínicí systémy nebo žádné. Nelze však tyto výsledky použít obecně, protože v simulaci byly uvažovány specifické okrajové podmínky, např. typ stínění apod.

Návrh dynamických (pohyblivých) systémů ovšem vyžaduje integrované simulace, a tedy sofistikovanější nástroje, které nejsou běžně používané při návrhu budov. Řešení letní tepelné ochrany pomocí optimálního řízení stínicích systémů také prodlužuje a zesložituje návrh budovy a sofistikované stínicí systémy stavbu prodražují. Stavebníci tak pod tlakem právě na snížení nákladů výstavby tomu věnují méně pozornosti. [3]

Jejich význam se ale možná zvýší po zavedení plánovaných přísnějších předpisů a požadavků EPBD 3 [2] pro výkony zdrojů chladu u budov s téměř nulovou spotřebou energie. Nové i stávající budovy mají být stále efektivnější, a to vyžaduje využívání modernějších technologií s nižšími potřebami energie. Toto snižování potřeb energií ovšem neznamená snížení nákladů na výstavbu.

Stavební průmysl však stále ve velké míře čelí požadavkům na snížení nákladů na výstavbu a zvýšení rychlosti výstavby. To vede k používání lehkých materiálů, tenkých konstrukcí a tenkých desek. Tím ubývá v konstrukcích akumulční hmota potřebná ke zmírnění teplotních výkyvů způsobenými velkými tepelnými zisky v letních dnech a budovy jsou tak náchylnější k přehřívání v interiéru. Tendence k přehřívání je pak ještě umocňována ve městech, kde jsou noci teplejší kvůli tepelným ostrovům způsobeným velkou mírou zpevněných ploch. [3]



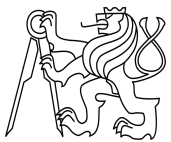
Vliv větrání

Jestliže se opakuje několik dní s vyššími venkovními teplotami po sobě, nahromadí se teplo z tepelných zisků v obalových konstrukcích interiéru. Teplo v interiéru pak představuje dominantní škodlivinu, kterou je potřeba odvést, protože nadměrné množství škodlivin vyvolává u uživatelů pocit únavy, a tím ho omezuje při práci nebo odpočinku. Pro odvod škodlivin se v administrativních budovách navrhují systémy mechanického větrání. Návrh množství přiváděného vzduchu určuje ta škodlivina, která má vzhledem ke svému limitu nejvyšší koncentraci. Ale čím je vyšší koncentrace škodliviny, tím jsou vyšší potřeby vzduchu k jejímu odvedení, a tím je jeho přívod vzduchu energeticky náročnější. Také přívod vyššího množství větracího vzduchu vyžaduje vyšší rychlosti proudění, a ty mohou způsobovat nepříjemné pocity jako např. průvan. [32]

V létě je vhodné využít „nočního větrání“ v nočních a brzkých ranních hodinách pomocí oken. Tak lze zajistit, že do interiéru pronikne nejchladnější venkovní vzduch za celých 24 hodin, který naakumulované teplo z obalových konstrukcí odebere. [4]

Definice přehřívání

Přehřívání lze chápat jako narušení tepelné pohody uživatelů při vysokých teplotách, ale zatím neexistuje jednoznačná všeobecně uznávaná definice pro přehřívání. Jsou nějaká běžně uznávaná kritéria, ale ta nejsou zcela univerzální a mají spíše statickou povahu, tzn. je určena nějaká prahová hodnota, nad kterou se předpokládá, že dochází k přehřívání. Kritéria se ale vyvíjí. Masivní vývoj je zaznamenán ve Velké Británii, kde sdružení CIBSE vydává na základě výzkumu různá doporučení, např. GUIDE A [5] nebo TM52 [6], kde se objevují limity a postupy pro zabránění přehřívání, které nejsou založeny na pouhém posouzení počtu hodin, kdy teplota překročí nějakou limitní hodnotu. Tato doporučení začínají pomalu promítat i do celoevropských předpisů. Např. britský standard ASHRAE Standard 55 [7] a další evropské předpisy jako EN 15251, který byl implementován i do českých technických norem [8], berou ohled i na různé další faktory ovlivňující tepelný komfort, jako rychlost metabolismu a izolace oděvu uživatelů, teplota vzduchu, střední radiační teplota, rychlost proudění vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Také vznikají adaptivní metody hodnocení tepelného komfortu, které předpokládají, že



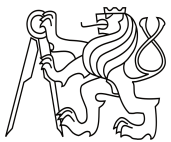
uživatel očekává nějaké podmínky vnitřního prostředí a přizpůsobuje se jim např. změnou oděvu, použitím stínících prostředků (rolety, žaluzie apod.) nebo manuálním větráním pomocí oken a dveří.

V případě adaptivních metod jsou parametry vnitřního prostředí úzce spojené s klimatickými údaji. Proto pro posouzení tepelného komfortu stávajícího stavu je nutné znát klimatické údaje z řešené lokality. Ne všude jsou data měřena, a tak se většinou používají údaje z nejbližší meteorologické stanice, která ale může být vzdálená i několik desítek kilometrů a hodnocení tak může být zatíženo určitou chybou. Dále vzniká otázka, kde vnitřní teplotu měřit, resp. jakou teplotu s kritérii porovnávat. I když je čidlo pro měření teploty chráněno od zdrojů tepla a od slunečního záření, jde o vlastně nedefinovatelnou směs teplot ovlivněnou různými vlivy. [3]

Adaptivní metodou se může hodnotit celý rok, nějaká kritéria pro období celého roku lze najít, ale shromáždit nepřerušovaný tok dat za celý rok je obtížné. Může být hodnocena i jen část roku, obvykle letní období, resp. období mimo otopnou sezónu. To je podle CIBSE TM52 [6] od 1. května do 30. září. Další neznámá je obsazenost. U administrativních budov je to jednodušší, protože tam existuje nějaká pracovní doba, ale u jiných typů budov, jako např. obytné, to není tak snadné určit a jde o odhad. [3]

Kritéria tepelného komfortu lze použít nejen pro posouzení stávajícího stavu, ale i pro návrh budov. Zaběhlé způsoby pro návrh jsou založeny na hodnocení jevů v ustáleném stavu. Tím však nelze postihnout všechny aspekty, které mohou být časově závislé. Při využití dynamických výpočtu ovšem je problém nejistoty vstupních údajů, a to především ve spojitosti s chováním uživatele. A pokud nejsou jisté vstupy, nemohou být jisté ani výstupy. Sledování a hodnocení stávajících budov může pomoci při výzkumu metod pro tvorbu návrhových tepelných modelů předpovídajících přehřívání. Díky moderní měřicí a sledovací technice lze uskutečnit měřicí experimenty na stávajících objektech, které mohou být nápomocné. Takové experimenty jsou ale velmi náročné, především časově. [3]

Právě zkoumání chování uživatelů není tak jednoduché zhodnotit nebo pak předpovědět. Aby se uživatel cítil příjemně, musí mít možnost individuálně měnit podmínky vnitřního prostředí podle svých vlastních potřeb, např. stínící systémy, větrání



pomocí oken, osvětlení apod. A způsoby ovládání těchto systémů musí být intuitivní, aby byly pro uživatele přijatelné, tedy ne složité. Pokud bude způsob ovládání systémů stínění složitý, nebude systém správně ovládán a nebude tak efektivní a výkonný, jak se předpokládá. Každý uživatel je jiný, má jiné potřeby, a to se těžko dá předepsat do nějakého dynamického modelu. Optimální by bylo, kdyby řídicí systém stínění a větrání automaticky nastavil podmínky tak, aby uživatel neměl potřebu cokoli měnit. [9]

Pouze ruční ovládání uživatelem, především u stínicích systémů, nemusí správně fungovat. Především v letním období nastávají často situace, kdy se interiér přehřívá. Neznamená to však, že stínicí systém nefunguje, ale že není možná použít, protože uživatel tam není. Pokud se stínicí systém nepoužije solární tepelné zisky se ve velké míře dostávají do interiéru, postupně se energie z tepelných zisků akumuluje ve stavebních konstrukcích, protože přebytečné teplo se nestačí odvádět. Tomu lze předejít, pokud se využije automatizovaný dynamický systém stínění, který nepřetržitě reaguje na vnější podmínky, což není v silách uživatele. [9]

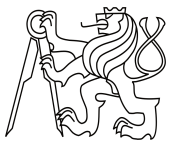
Systémy venkovního stínění

Systémy venkovního stínění se dělí na:

- **pevné (statické, součást stavby)**
 - římsy, clony, slunolamy, stínicí stěny, ...



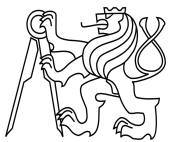
obr. 1 – Pevná clona v kombinaci s fotovoltaickými panely – Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita – Praha Suchdol, zdroj [10]



obr. 2 – Slunolamy – CARMINA – Praha Uhřetěves, zdroj [11]



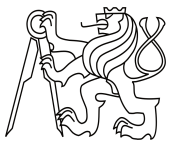
obr. 3 – Vertikální stínící stěny (a žaluzie) – VIG administrativní budova – Praha Karlín, zdroj [12]



- **pohyblivé (dynamické)**
 - markýzy, žaluzie, rolety (kovové, screenové), ...



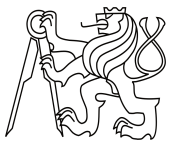
obr. 4 – Markýzy – sklopné (nahore), svislé (dole), zdroj [13]



obr. 5 – Žaluzie – administrativní budova Havířov, zdroj [14]



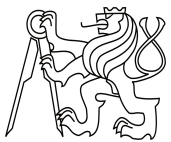
obr. 6 – Rolety kovové (klasické), zdroj [15]



obr. 7 – Screenové rolety – AFI Karlín – Praha Karlín, zdroj [16]



obr. 8 – Detail screenových rolet – TYMO Soběslav (foceno 31.8.2018)



- **inteligentní zasklení [17]**

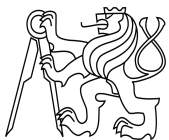
- reflexní, chromogenní – pasivní a aktivní

(pasivní – termochromní, fotochromní; aktivní – gasochromní, elektrochromní)



obr. 9 – Elektrochromní zasklení, zdroj [18]

Mezi nejčastěji užívané stínicí systémy patří motorizované žaluzie, tedy dynamický systém stínění. Dynamické systémy stínění mají snahu dosáhnout rovnováhy mezi dostatečnou úrovní denního osvětlení a ochranou proti slunečnímu záření, a tudíž i energetickou účinností. Pokud jde o energetickou účinnost, v případě motorizovaných žaluzií s inteligentním řízením může dojít ke snížení spotřeby energie o 10-15% ve srovnání se statickými systémy. Zatím nejúčinnější řídicí strategie pro zajištění komfortu i úspory energie je ta, která využívá informace od vnitřní teploty i slunečního záření. [9]



1.3 Pohyblivé systémy stínění a jejich technická řešení [19]

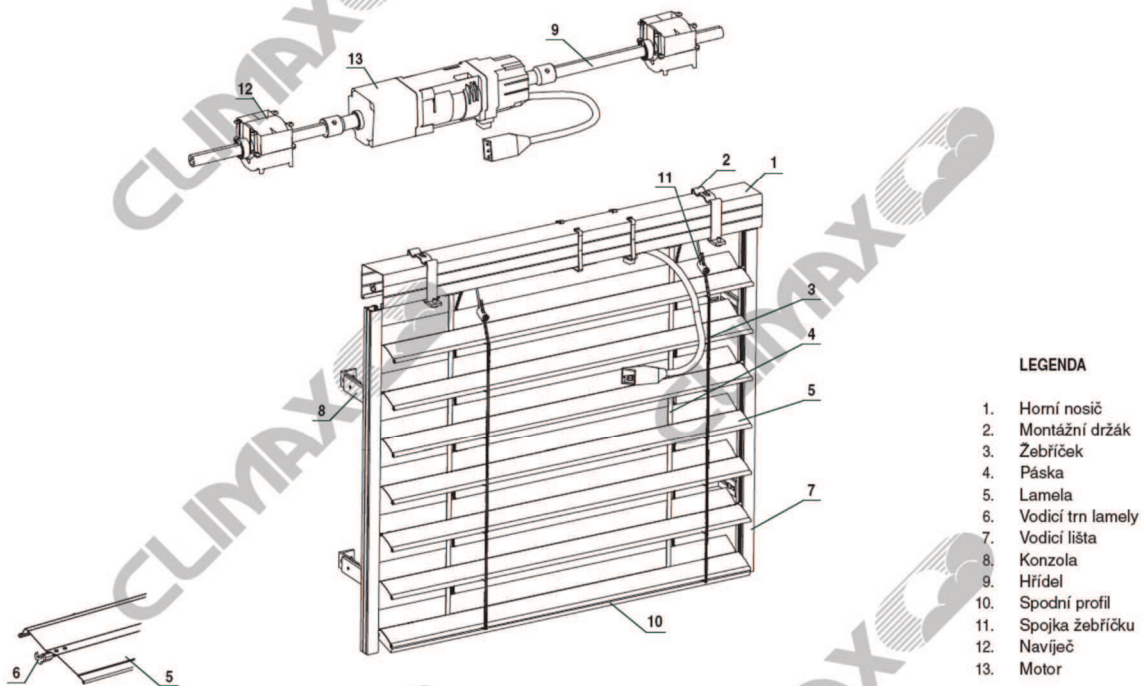
V České republice se pro venkovní stínění nejčastěji používají horizontální žaluzie, viz obr. 5. Oproti klasickým roletám mají nevýhodu v čistitelnosti. Klasické rolety ale neumožňují jemné ladění úrovně denního osvětlení v jakékoli poloze stažení rolet.

V posledních letech se začínají uplatňovat i screenové rolety (z perforované látky), viz obr. 7 a obr. 8. Screenové rolety a rolety obecně ale nejsou vhodné tam, kde není zabudované nucené větrání, protože omezují účinnost okenních otvorů pro přirozené větrání. Další nevýhodou screenových rolet je cena, která je minimálně 2x vyšší než u žaluzií.

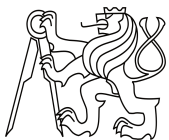
Technické řešení žaluzie:

Žaluzii tvoří sada za studena válcovaných hliníkových lamel připevněných po krajích k lanku nebo řetězu ve vodících lištách, viz obr. 10. Lanka mohou být i volně bez vodících lišt, ale vzhledem k důležitosti funkce lanka to není vhodné.

Venkovní žaluzie Z-90 NOVAL / motor / vodící lišty



obr. 10 – Prvky žaluzie

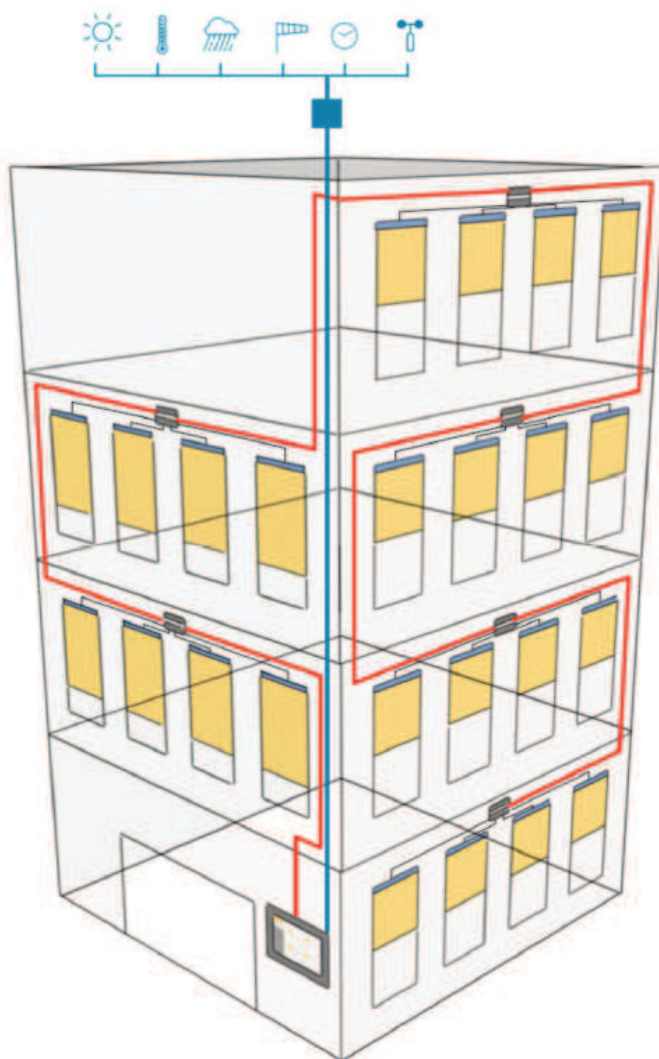


Technické řešení řízení žaluzií (koncových prvků):

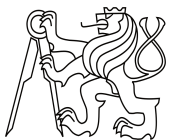
Všechny koncové prvky se dělí do zón s ohledem na:

typ koncových prvků, orientace, u výškových budov výška budovy (vítr), typ provozu apod.

Všechny koncové prvky jsou přes sběrnice zón napojeny na centrální řídicí jednotku (viz obr. 11 – červená čára). Na centrální jednotku jsou pak napojena také čidla (viz obr. 11 – modrá čára). Po vyhodnocení informací od čidel se podle předepsaných pravidel vysílají signály koncovým prvkům k činnosti.



obr. 11 – Schéma řízení stínících prvků



Bezpečnostní čidla:

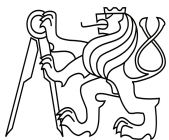
vítr - měří, resp. určuje se rychlost větru pomocí lopatkových nebo polovodičových čidel a směr větru pomocí směrovky nebo také polovodičových čidel,

- odolnost proti větru (třídu odolnosti) určuje výrobce a podle odolnosti se nastavuje rychlost větru, při které se koncový prvek vytáhne zpět do nábalu nebo návínu, aby nedošlo k poškození prvku
- žaluzie s řetězy ve vodících lištách mají nejvyšší odolnost proti větru (až 90 km/h) a nemusí být chráněny proti poškození větrem;
- markýzy mohou být kromě lopatkového či polovodičového čidla také hlídány otřesovým čidlem, které komunikuje s pohonem markýzy radiově
- větrná čidla mohou být vyhřívána, aby námraza nebránila čidlům v činnosti

děšť - určeno především pro látkové koncové prvky – markýzy a screenové rolety, ale může sloužit ke stažení kovových rolet, aby déšť nesoucí nečistoty nezašpinil zasklení oken

- čidlo je vyhříváno, ranní rosa nezpůsobí, že se koncové prvky vytáhnou, ale pokud déšť je intenzivnější, vyhříváním se nestačí voda odpařit, a vyšle se signál k vytažení koncových prvků

Může být žádoucí chránit koncové prvky i proti námraze. Pokud by spodní lišta při plném zatažení rolety nebo žaluzie přimrzla k parapetu nebo vrstvě sněhu na parapetu, mohl by se motor při aktivaci poškodit. Nebezpečí námrazy se detekuje kombinací informací z čidel zjišťujících nízkou venkovní teplotu a přítomnost srážek. Ochranu proti námraze lze zajistit i použitím inteligentního pohonu, který detekuje zvýšený kroučící moment.



Ovládací čidla:

Dále jsou na řídicí systém napojena čidla, na základě kterých se koncové prvky ovládají, aby plnily svůj účel.

sluneční záření

vnější teplota

vnitřní teplota

osvětlení pracovní plochy

Při větším počtu zón může být užito více bezpečnostních čidel.

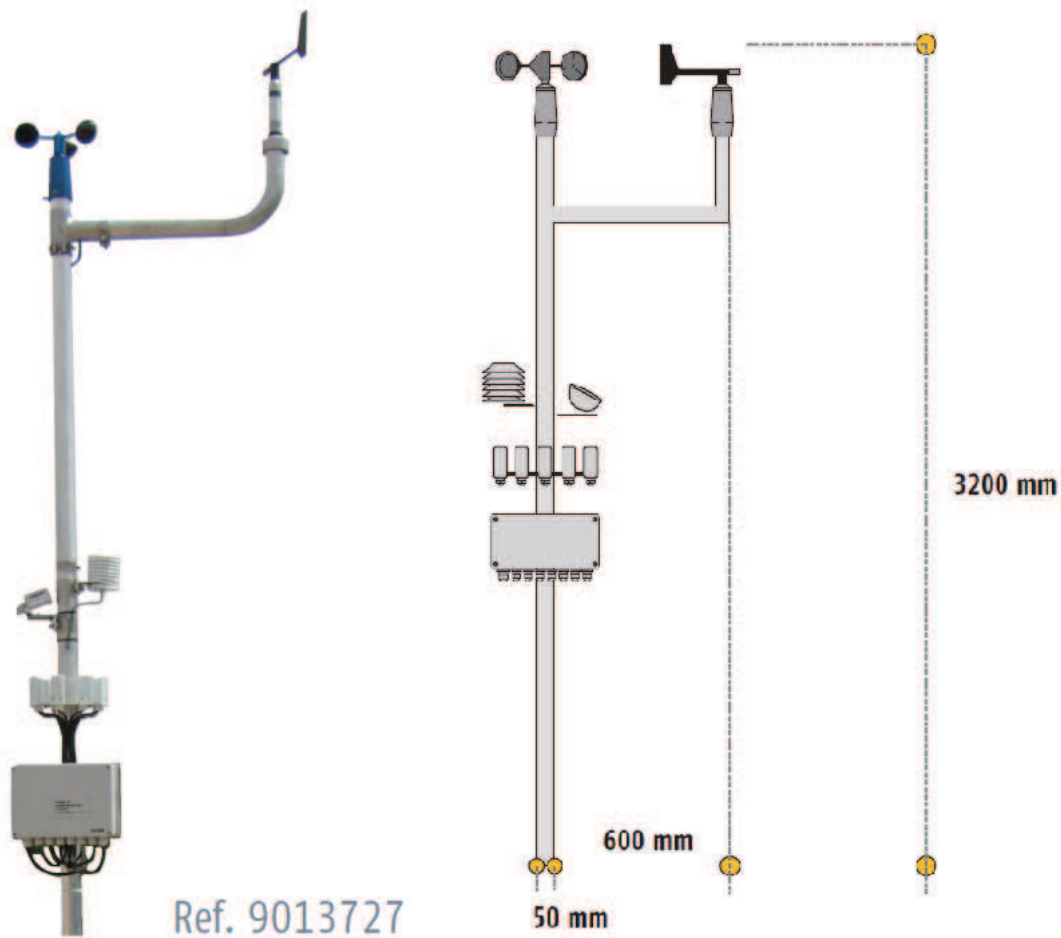
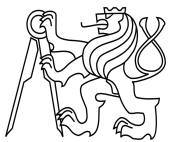
Čidla jsou nejčastěji propojena s řídicí jednotkou a koncovými prvky pomocí kabelů, protože je toto řešení spolehlivější a méně provozně náročné než bezdrátové propojení, např. kvůli nutnosti výměny baterií.

Většinou se venkovní čidla shlukují na jedno měřicí místo a všechna čidla jsou napojena do sběrné skříně, odkud vede jen jeden komunikační kabel do centrální řídicí jednotky, viz obr. 12.

Venkovní čidla nesmí být ve větrném nebo slunečním stínu.

Čidla na fasádě, obzvláště větrná lopatková čidla, jsou specifickým prvkem, který mohou architekti vnímat jako rušivý element, a tak bývají sloučená čidla převážně na střeše objektu.

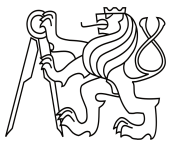
Vyvíjí se i kompaktní zařízení s funkcí více čidel, která nejsou příliš prostorově náročná. Mají tvar houby, jde o tzv. „hřibové čidlo“, viz obr. 13. V tomto zařízení o rozměrech 10x10 cm je integrováno až 25 čidel. Pro určení rychlosti a směru větru slouží právě polovodičová čidla - „plíšek“ po obvodu nohy.



obr. 12 – Venkovní čidla – větrná čidla, teplotní čidlo, dešťové čidlo, sluneční čidla, skříň
vnějších čidel



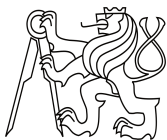
obr. 13 – Hřibové čidlo 10x10 cm



Podle čeho se stínicí systém ovládá:

- **vnější sluneční záření**
 - koncové prvky se uvedou do chodu při překročení určité intenzity slunečního záření
- **vnitřní teplota / vnější teplota**
 - koncové prvky se uvedou do chodu při překročení určité teploty
- **osvětlenost pracovní plochy**
- **časový rozvrh**
 - předem se nastavují dny v týdnu a hodiny zatažení nebo vytažení koncových prvků
- **různé kombinace čidel**
 - Vnitřní teplota a osvětlenost pracovní plochy (**interiérové sluneční čidlo s teplotní automatikou**). Koncové prvky se uvedou do chodu při překročení určité teploty, ale pouze do takové polohy, aby osvětlenost pracovní plochy neklesla pod určitou mez.
 - Vnitřní a vnější teplota. Může být kombinováno řízení stínicích systému a nočního provětrání napojením na automaticky otevíravé okenní otvory (ventilační okna). Tento systém je použit např. v KKVC ve Zlíně (Krajské kulturní a vzdělávací centrum). Noční větrání, resp. otevření ventilačních oken, se aktivuje, když uvnitř je teplota o 5 °C více než venku. Proto je nutné kombinovat informace z čidla vnitřní teploty a vnější teploty (=prostorový termostat).

Mateřská společnost SOMFY a.s. ve Francii vyvíjí systém založený na předpovědi počasí, kdy v řešeném místě je na centrální řídicí jednotku napojen GPS modul, který udává poloha a přijímá předpověď.



Chytřejší systémy mohou být napojeny na další systémy technického zařízení budov – vytápění, chlazení, větrání a osvětlení – a být součástí celého systému MaR = měření a regulace. Pro tuto aplikaci musí jednotlivé systémy „mluvit stejným jazykem“ a tak vznikl standardizovaný systém inteligentní elektrické instalace KNX založený na síti komunikačního protokolu pro inteligentní budovy řízené systémovými instalacemi.

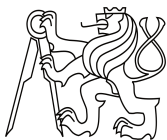
Kombinace manuálního a automatického ovládání

Je dobré umožnit uživateli, aby měl možnost ovládat stínicí prvky podle vlastních potřeb, ale pouze manuální ovládání není optimální.

Možností kombinace automatického a manuálního ovládání:

- pouze manuální ovládání uživatelem (možnosti manuálního ovládání: nástěnný ovladač, dálkový ovladač, aplikace v chytrém telefonu)
- uživatel může manuálně vypnout automatický režim, ale pak ho musí opět zapnout (spíše pro použití v domácnostech)
- uživatel může kdykoli stínicí systém ovládat, systém pracuje pouze podle pokynů uživatele, ale po určeném časovém intervalu systém sám přejde do automatického režimu (např. PNCII v Bratislavě používá intervaly po 6 hodinách během dne, ČSOB v Praze používá interval kolem 15 minut a více v závislosti na ročním a časovém období)
- pouze automatický režim bez možnosti změny uživatelem (např. budova Volkswagen Financial Services v Praze)

Pokud koncové prvky provádí akci od automatického nastavení, manuální ovladače nefungují.



Počítačové modelování

Existují návrhové softwary, kde se vytvoří model řešené budovy se stínicími prvky, objekt se umístí do lokality a natočí ke světovým stranám, fasády se rozdělí na zóny a každé zóně se nastaví, podle čeho se budou stínicí prvky řídit, aby ve vnitřním prostředí byly požadované parametry a podmínky. Toto nastavení se pak předá správci budovy, který obsluhuje centrální řídicí jednotku.

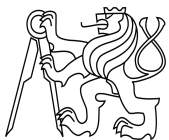
Každé nastavení má časovou prodlevu, kdy řídicí jednotka začne dělat nějakou akci. Např. pokud bezpečnostní čidlo na vítr zaznamená rychlost větru více než je předepsaná hodnota po dobu minimálně 2 s a směr větru náleží chráněnému úhlu fasády, koncové prvky se vytáhnou a mohou být staženy až když čidlo nezaznamená předepsanou rychlost déle než 15-20 minut. Nebo u venkovního slunečního záření se koncové prvky zatáhnou, pokud po dobu 3 minut svítí více než předepsaná hodnota a vytáhnou se když 20 minut nesvítí více než předepsaná hodnota. Limitní hodnoty pro stažení a vytažení se mohou lišit.

Jsou i sofistikovanější nástroje pro modelování řízení stínicích systémů, které kombinují více technických systémů zařízení budov, ale takový návrh může být až několikanásobně dražší.

1.4 Cíle práce

Cíle této diplomové práce jsou:

- zhodnocení reálného provozu venkovního pohyblivého stínicího systému modelové budovy,
- sledování dopadů algoritmů pro řízení venkovních pohyblivých stínicích systémů, zejména pro potřeby tepla na chlazení v letním období a komfort uživatelů,
- komplexní zhodnocení algoritmů z hlediska jejich efektivity (snížení rizika přehřívání, či snížení potřeby tepla na chlazení při současném zachování přístupu denního světla, a při zachování nízké potřeby tepla na vytápění).

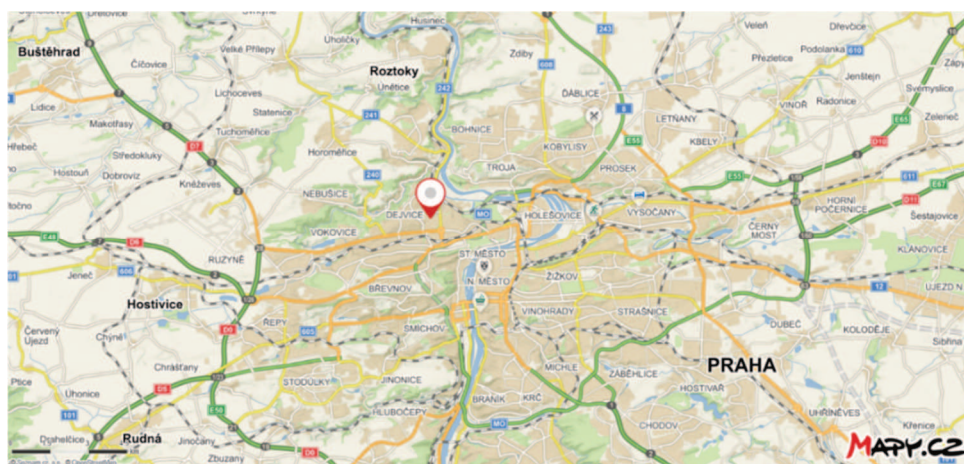


2. Reálný provoz modelové kancelářské budovy se systémem venkovního stínění

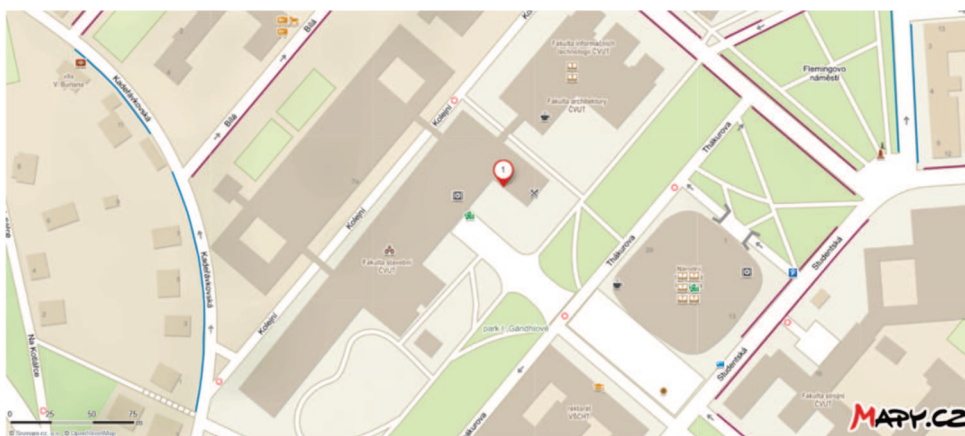
2.1 Úvod

Součástí práce bylo i sledování provozu systému venkovního stínění na jihozápadní fasádě budovy A Fakulty stavební ČVUT v Praze (Praha 6 – Dejvice, viz obr. 14 a obr. 15) a současně sledování vlivu stínění na teplotu vzduchu v modelové místnosti.

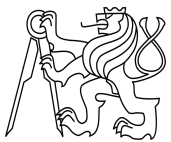
Jde o administrativní budovu, ale se zvláštním provozem. Budova je především školské zařízení, resp. univerzita. Na úrovni univerzity však místnosti akademických pracovníků slouží spíše administrativním účelům.



obr. 14 – Širší vztahy 1, zdroj [20]



obr. 15 – Širší vztahy 2, zdroj [20]



obr. 16 – Jihozápadní fasáda budovy A Fakulty stavební ČVUT v Praze a charakteristický výsek obvodového pláště, zdroj [21] a [22]

Tato výšková budova o 14 nadzemních podlažích s výškou 51,5 m má pravoúhlý tvar, půdorys tvoří obdélník 55,2x20,2 m s delšími stranami orientovanými na jihozápad a severovýchod. Budova má železobetonovou skeletovou nosnou konstrukci s lehkým obvodovým pláštěm děleným na okenní pás a neprůhledný pás (viz obr. 16). Konstruktivní výška jednoho podlaží je 3,6 m a výška okenního pásu je 1,8 m, takže plášť je prosklený z 50%. Parametry obvodového pláště [22]:

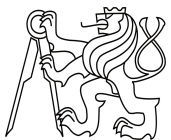
$$\text{Součinitel prostupu tepla celkový} \quad U_m = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla zasklení} \quad U_g = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

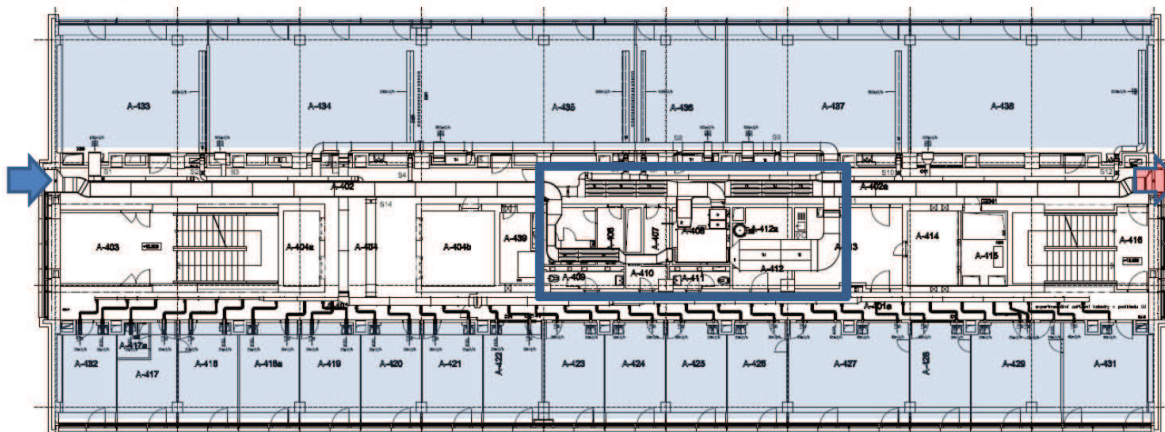
$$\text{Součinitel prostupu tepla neprůsvitné části} \quad U_{\text{opaque}} = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Půdorys (na obr. 17) je členěn na 3 hlavní podélné trakty. V krajních traktech jsou umístěny učebny na severovýchodní straně a kanceláře na jihozápadní straně. Ve středním traktu se nachází především sociální zázemí a komunikační prostory (chodby, výtahy, schodiště).

Pouze 4.NP je vybaveno systémem mechanického větrání a jsou větrány místnosti přilehlé k jihozápadní a severovýchodní fasádě, viz obr. 17.



4.NP



obr. 17 – Půdorys 4.NP vybaveného systémem mechanického větrání, zdroj [22]

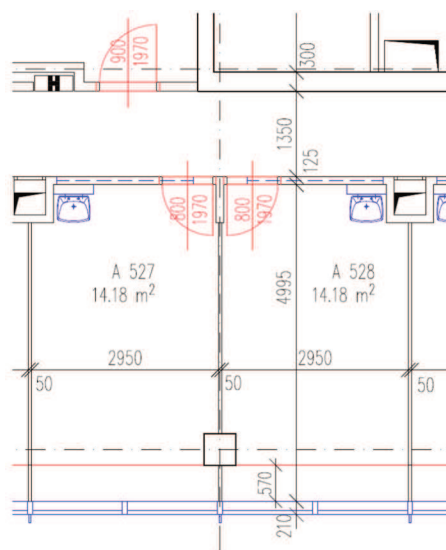
Jako venkovní stínění jsou použity motorizované žaluzie s individuálním ovládáním, viz obr. 16. V místnostech jsou instalovány také vnitřní žaluzie.

2.2 Popis měření

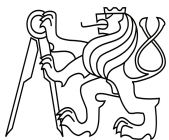
Měření probíhalo od 15.5.2018 do 1.10.2018. Záměrem bylo měření teploty a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu a sledování použití venkovního stínění – motorizovaných žaluzií s individuálním ovládáním.

Celkem bylo sledováno 7 místností na jihozápadní fasádě a také střední trakt. 3 místnosti v 5.NP (A527, A528, A529), 4 místnosti ve 4. NP (A420, A426, A429, A431) a střední trakt také ve 4.NP. Místnosti mají půdorysný rozměr 3,0 x 5,0 m, viz obr. 18, parapet je vysoký 1,2 m a hluboký 0,5 m. Světlá výška 3,3 m.

Pouze místnost A426 je větší, zaujímá prostor dvou běžných kanceláří.



obr. 18 – Půdorys sledovaných místností

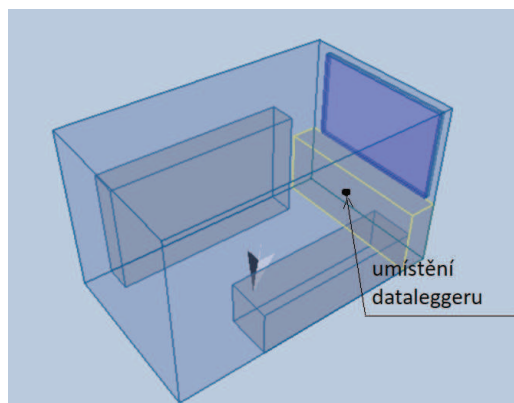


V každé sledované místnosti byl umístěn Comet datalogger – 7x Teploměr-vlhkoměr a 1x 4kanálový teploměr. Dataloggery měří teplotu vzduchu s přesností $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost vzduchu s přesností $\pm 2,5\%$. Mezi dataloggery se naměřené hodnoty lišily o $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ a $\pm 4\%$ RV (viz obr. 19). Tato odchylka je považována za přijatelnou.

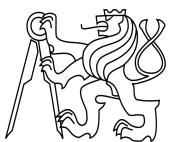


obr. 19 – Srovnání údajů na datalogrech

Pro umístění dataloggeru byla zvolena poloha pod parapetem, aby měření teploty vzduchu nebylo ovlivněno přímým slunečním zářením, viz obr. 20. Ale naměřená teplota je ovlivněna sáláním z okolních povrchů, teplotou povrchu, na kterém je umístěna atp., takže nelze přesně popsat, zda jde o teplotu vzduchu („dry-bulb temperature“), střední radiační teplotu nebo výslednou teplotu. Víceméně to je nedefinovatelná směs více teplot, ale pro účely diplomové práce bude uvažováno, že jde o teplotu vzduchu.



obr. 20 – Umístění dataloggerů



Do sledovaných místností byl dán dotazník pro zjištění potřebných údajů. Některé dotazníky byly vyplňovány pečlivěji než jiné. Viz následující obr. 21.

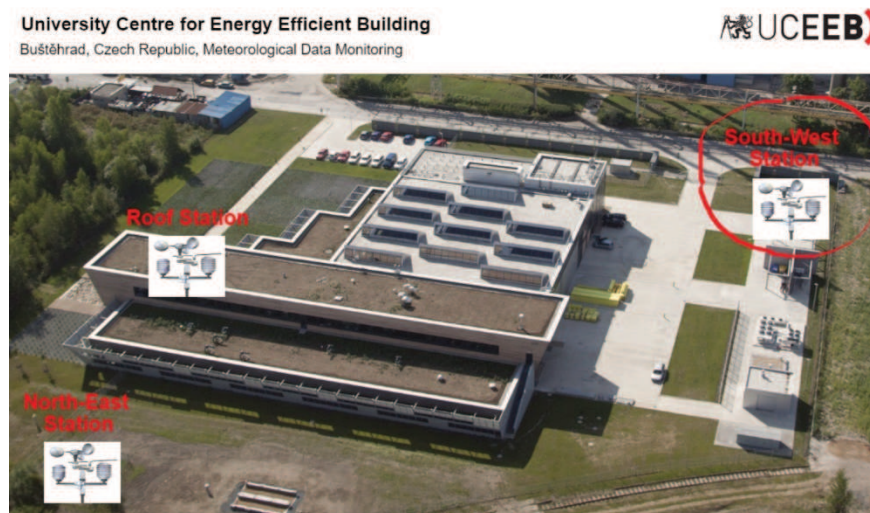
The image shows two examples of questionnaires. The left one is handwritten and the right one is typed. Both are tables with columns for date, time, and various parameters.

Když dotazník je vyplněn, znamená to, že dotazník je vyplněn a údaje jsou správné.			
Dotazník			
Datum	Čís. dot.	Zároveň (ANO/NE)	Poznámka
01.08.2018			
02.08.2018			
03.08.2018			
04.08.2018			
05.08.2018			
06.08.2018			
07.08.2018			
08.08.2018			
09.08.2018			
10.08.2018			
11.08.2018			
12.08.2018			
13.08.2018			
14.08.2018			
15.08.2018			
16.08.2018			
17.08.2018			
18.08.2018			
19.08.2018			
20.08.2018			
21.08.2018			
22.08.2018			
23.08.2018			
24.08.2018			
25.08.2018			
26.08.2018			
27.08.2018			
28.08.2018			
29.08.2018			
30.08.2018			
31.08.2018			

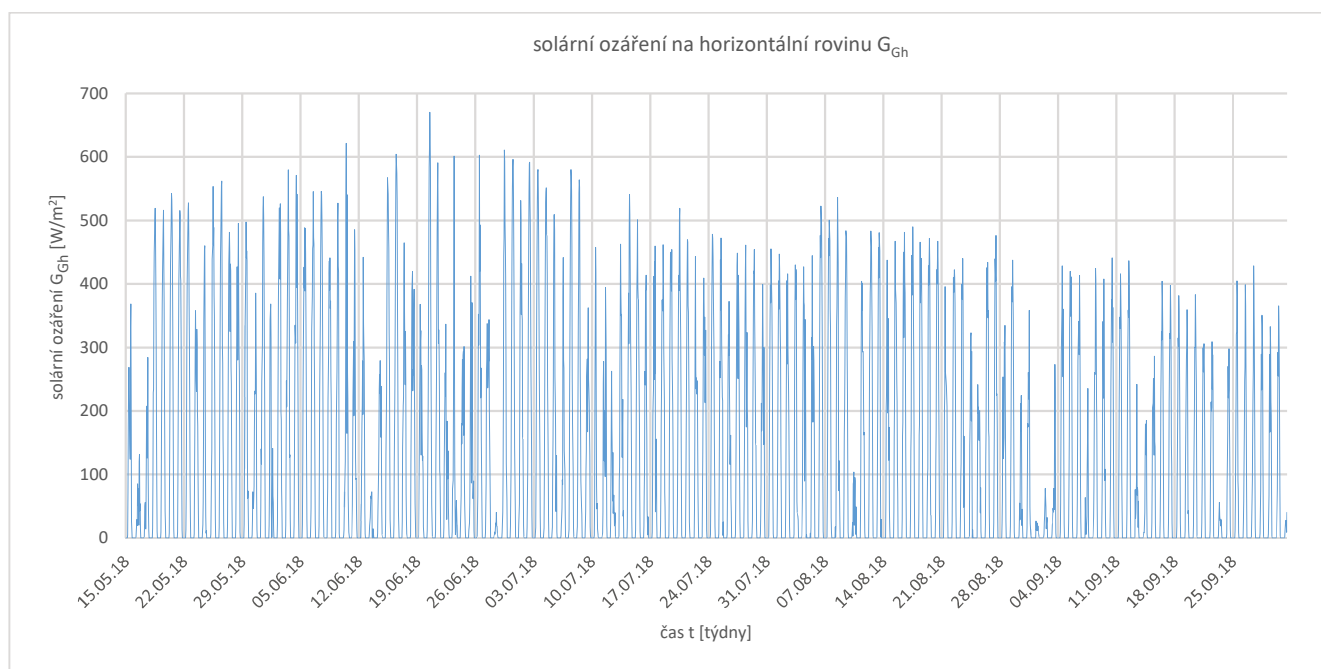
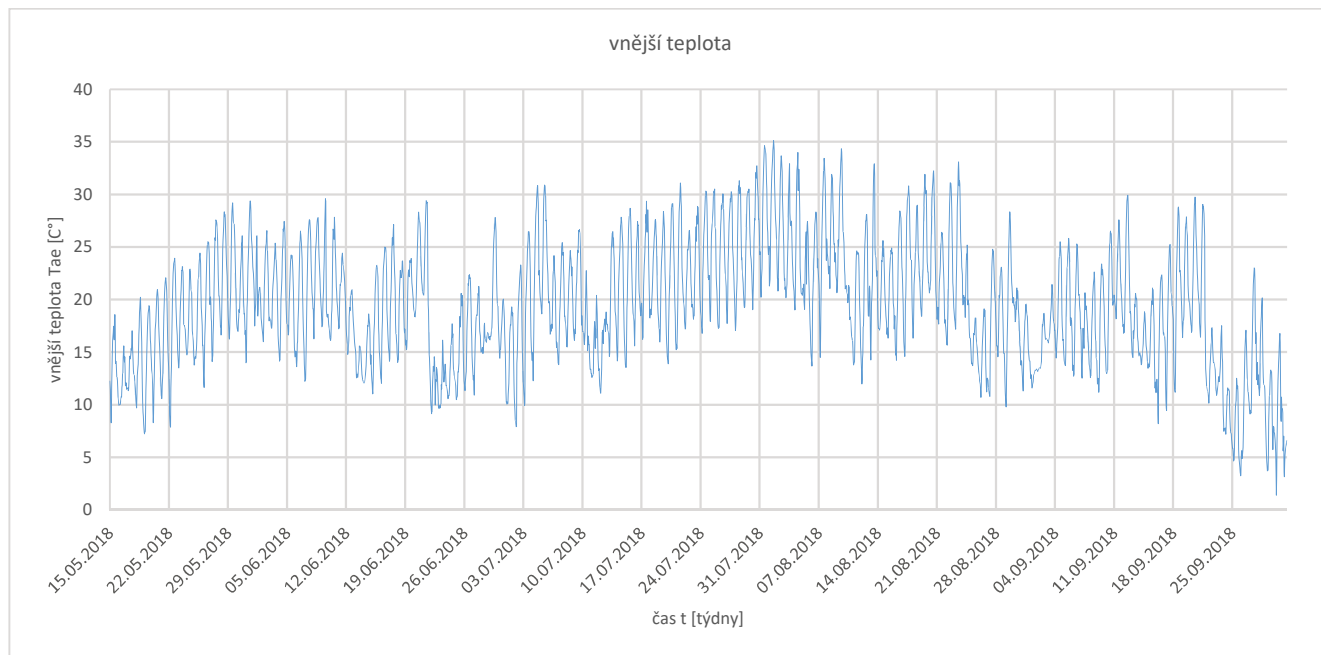
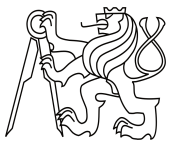
Tento dotazník je používán pro sledování, externí parametry jsou definovány v tabulce			
Když			
Datum	Čís. dot.	Zároveň (ANO/NE)	Poznámka
01.08.2018			
02.08.2018			
03.08.2018			
04.08.2018			
05.08.2018			
06.08.2018			
07.08.2018			
08.08.2018			
09.08.2018			
10.08.2018			
11.08.2018			
12.08.2018			
13.08.2018			
14.08.2018			
15.08.2018			
16.08.2018			
17.08.2018			
18.08.2018			
19.08.2018			
20.08.2018			
21.08.2018			
22.08.2018			
23.08.2018			
24.08.2018			
25.08.2018			
26.08.2018			
27.08.2018			
28.08.2018			
29.08.2018			
30.08.2018			
31.08.2018			

obr. 21 – Ukázka vyplňovaných dotazníků

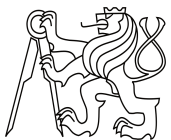
Vnější okrajové podmínky byly získány z nejbližšího dostupného zdroje – meteorostanice při UCEEB v Buštěhradě, konkrétně stanice jihozápadní orientace, viz následující obr. 22. Meteorostanice je vzdálená 16,5 km vzdušnou čarou od řešené fasády. Meteorostanice měří v minutových intervalech více údajů. Pro účely této práce se využijí údaje pro teplotu vzduchu ve 2 m nad zemí [°C], sluneční ozáření na horizontální rovinu [W/m²] viz obr. 23. Bylo přihlédnuto i ke směru a rychlosti větru. Údaje o větru jsou důležité, protože rychlost větru je hlavní bezpečnostní faktor pro vytažení žaluzií.



obr. 22 – Meteorostanice UCEEB, zdroj [23]



obr. 23 – Vnější okrajové podmínky z meteorologie, zdroj [23]

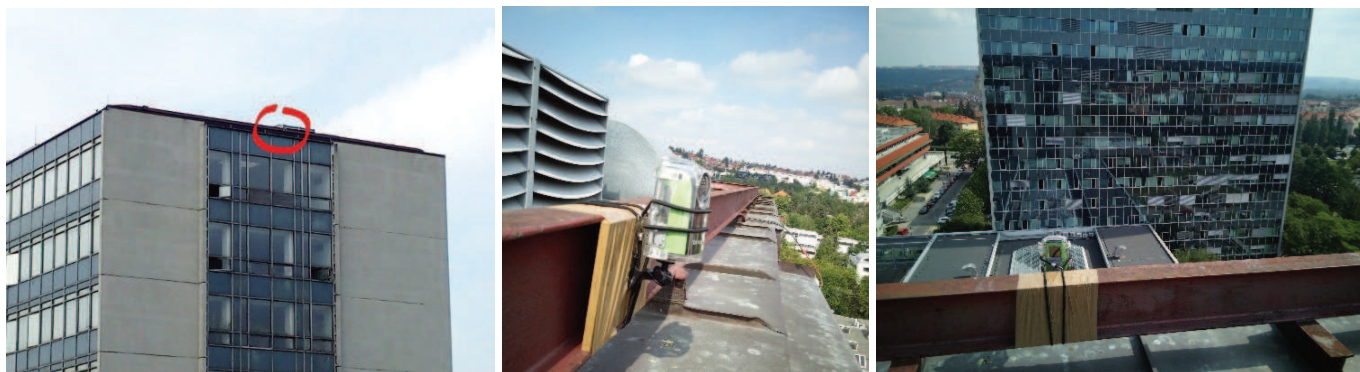


2.3 Provoz systému venkovního stínění

Dále byl sledován provoz systému venkovního stínění pomocí časosběrné kamery BRINNO BCC100. Kamera byla umístěna na střechu protějščí budovy (viz obr. 24) a snímala řešenou fasádu po 10 minutách (viz obr. 25).

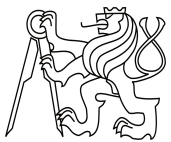
Získané snímky musely být ručně zpracovány. Možná by se daly snímky zpracovat pomocí výpočetní techniky, ale vytvoření takového nástroje by bylo časově náročné a složité, protože během dne se mění u jednotlivých bodů obrazu jasy, barvy, odlesk od přímých slunečních paprsků atd., a vlastnosti bodů obrazu také záleží na povětrnostních podmínkách – jasno, zataženo, déšť, viz obr. 25.

Kvůli technickým problémům jsou časosběrná data pouze z období 23.5.2018-27.6.2018 a 17.9.2018-2.10.2018.

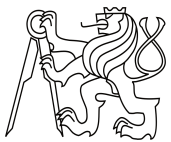


obr. 24 – Časosběrná kamera

Při velmi jasných dnech je žádoucí maximálně využít stínící prostředky, aby se zamezilo nadbytku solárních tepelných zisků. Na posledních snímcích obr. 25 jsou vidět velmi jasné červenové dny a pokrytí fasády použitými žaluziemi. Žaluzií je zde využita přibližně pouze polovina. Z toho vyplývá, že pouze individuální ruční ovládání není optimální.



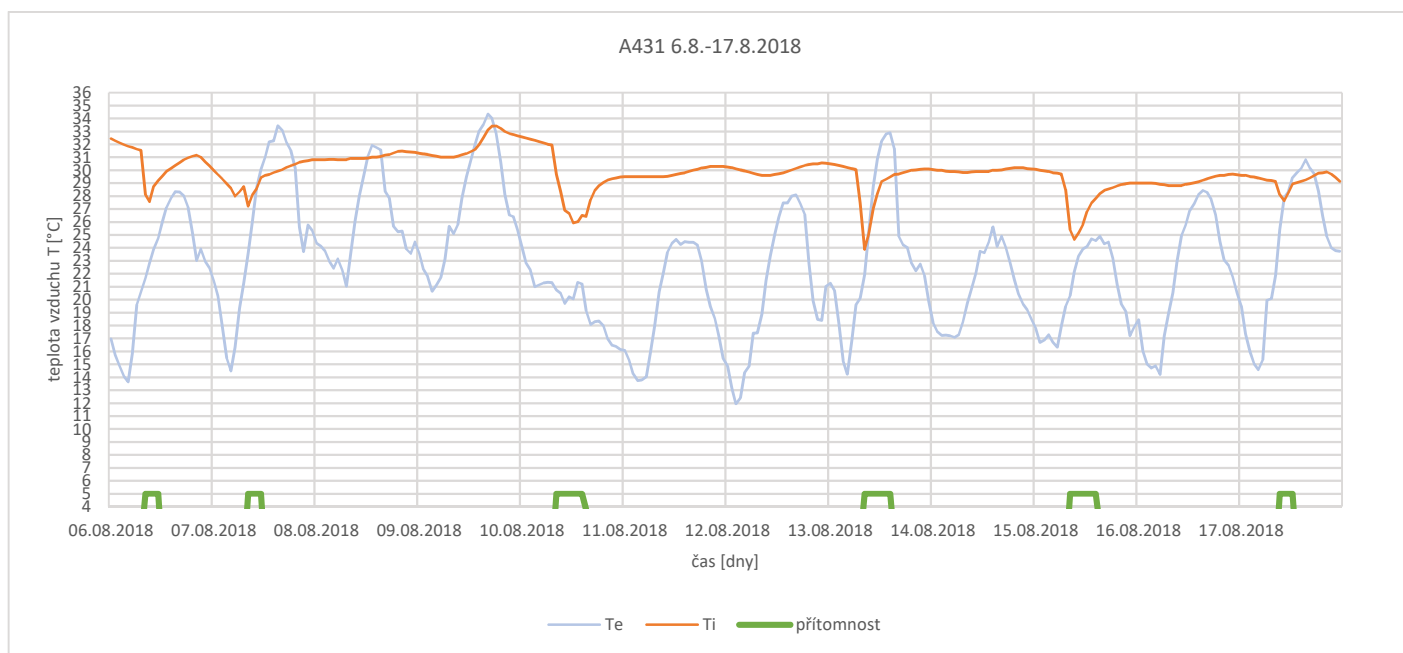
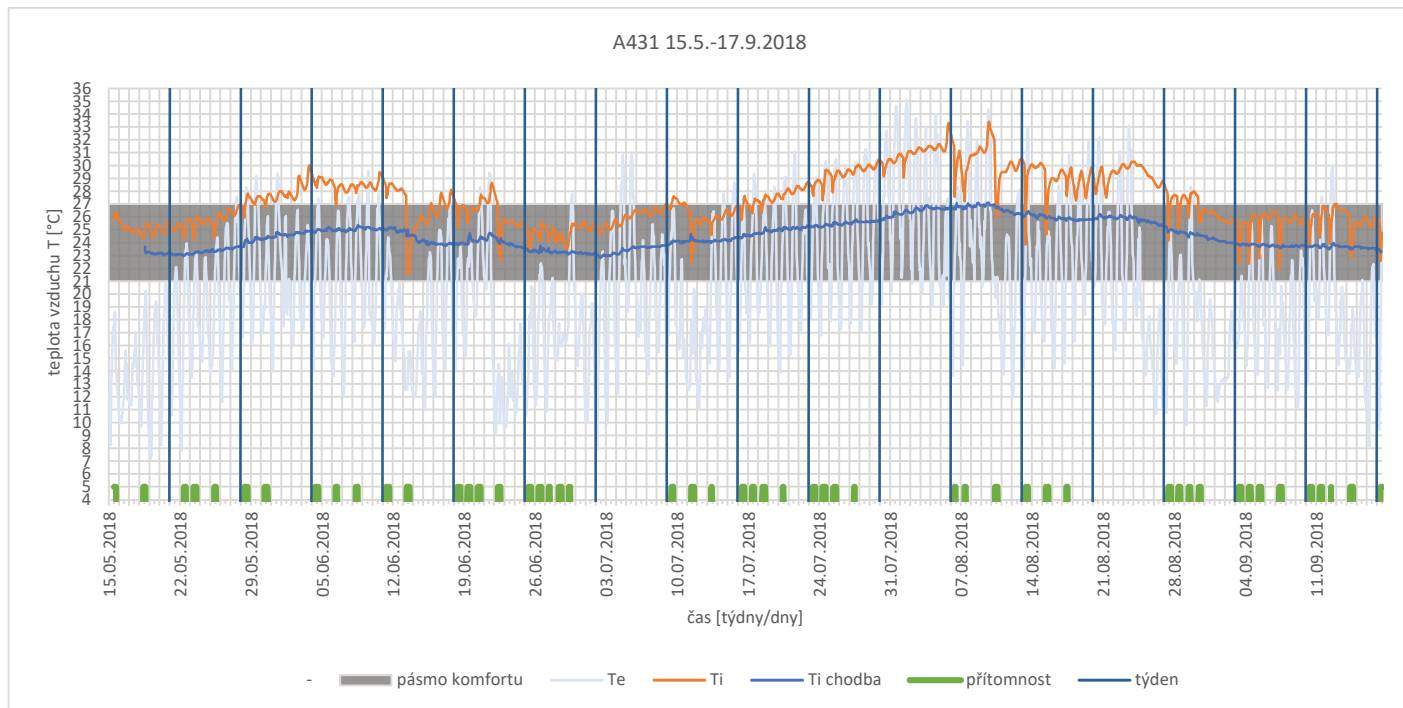
obr. 25 – Příklady výstupních snímků z časosběrné kamery



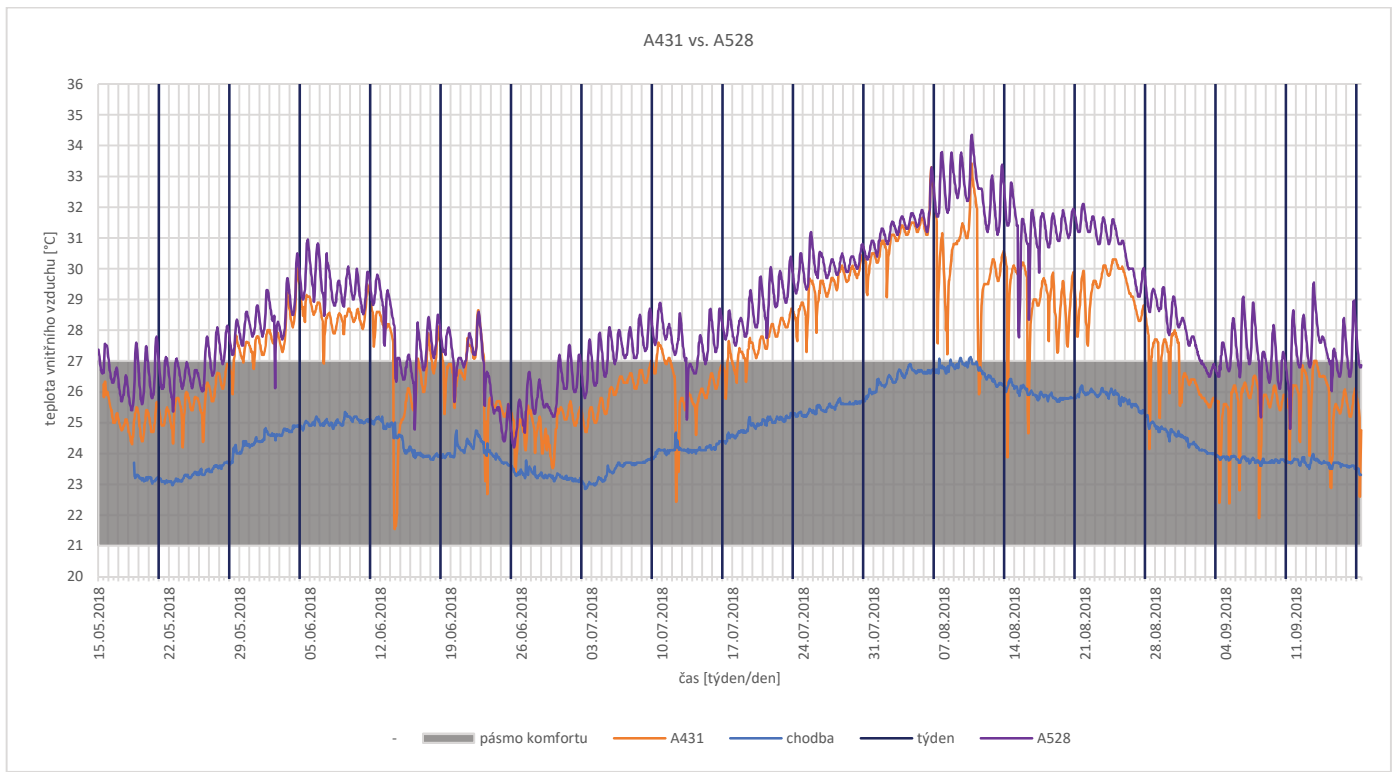
2.4 Tepelné posouzení

2.4.1 Posouzení průběhů vnitřních teplot

Riziko přehřívání zde hrozí při překročení horní hranice standardizovaného pásma tepelné pohody (komfortu) 21 – 27 °C.



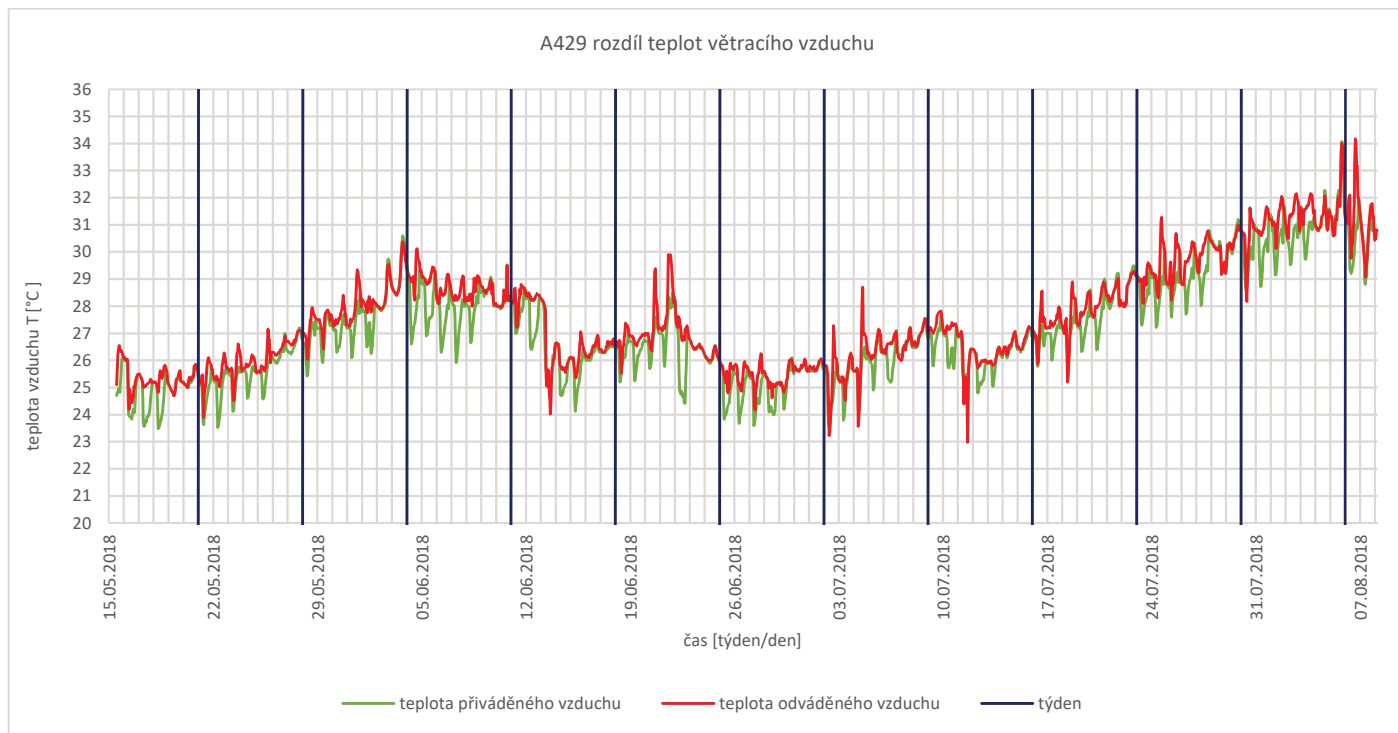
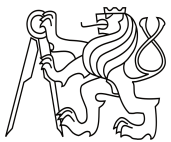
obr. 26 – Výsledky měření v A431



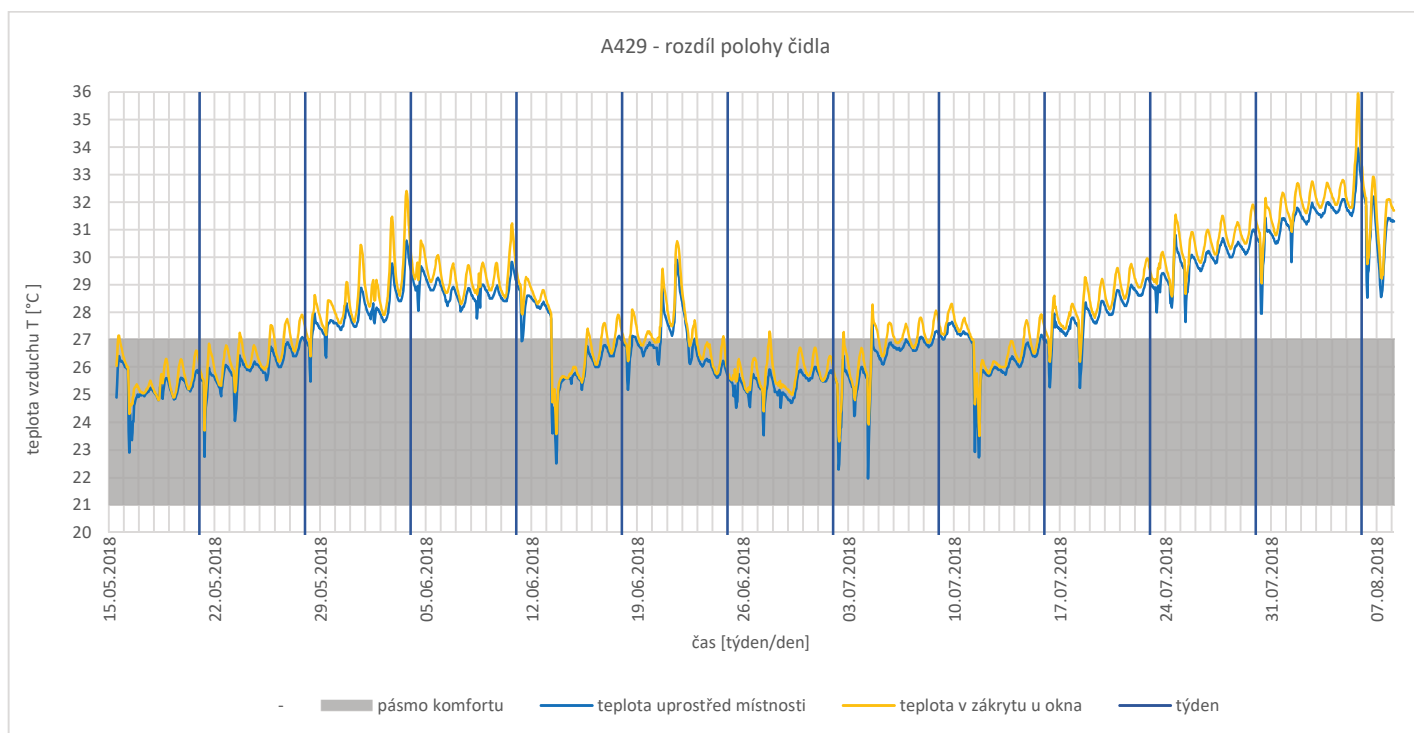
obr. 27 – Srovnání více užívané kanceláře ve 4. NP (A431) a méně užívané kanceláře v 5.NP (A528)

V průběhu naměřené vnitřní teploty v místnosti A431, viz obr. 26, jsou vidět náhlá snížení teploty. Ta však nesouvisí s poklesem vnější teploty, ale s příchodem uživatele. I podle dotazníků bylo zjištěno, že uživatelé často po příchodu do kanceláře otevírají okno a případně i dveře a pokles teploty je tedy způsoben intenzivním vyvětráním. Takže pokud kancelář není často užívána (uživatel nepoužívá stínicí systém a nevětrá) není tak jednoduché snížit teplotu, viz obr. 27. Místnost se pak chová jako „skleník“.

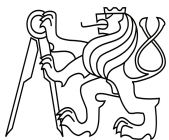
Teplota ve středním traktu (T_i chodba) se v letních měsících stále pohybuje v rozmezí pásma komfortu, viz obr. 26. Střední trakt není totiž vystaven přímému slunečnímu záření, a tak se zde nerealizují solární zisky, které mají asi největší vliv na výši teploty vnitřního vzduchu v letním období.



obr. 28 – Rozdíl teplot větracího vzduchu

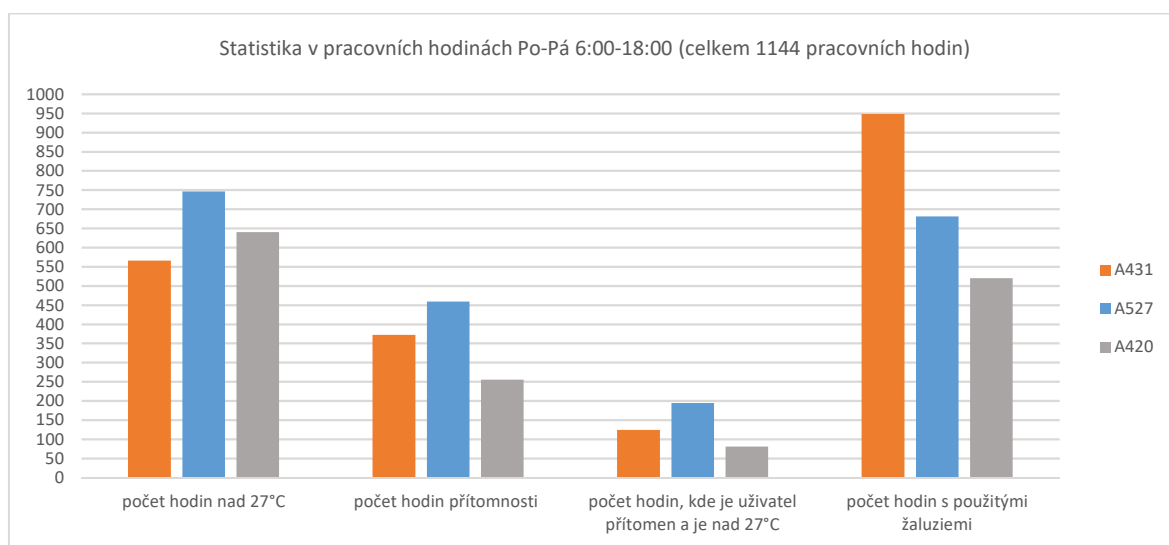


obr. 29 – Rozdíl polohy teplotního čidla



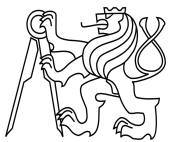
Na teplotu vnitřního vzduchu má pozitivní vliv intenzivní vyvětrání, což u administrativních budov ve městech nemusí být snadné uskutečnit kvůli nežádoucímu přenosu hluku z vnějšího prostředí. Větrání mechanické nemusí problém vyřešit, pokud jde o objekt s velkým podílem zasklení. To bylo zkoumáno v místnosti A429, viz obr. 28 a obr. 29. Přívod vzduchu má předepsaný teplotní rozdíl kolem 4 stupňů, ale v místnostech i přesto dochází k přehřívání.

Důležitý aspekt je také volba místa, kde se teplota vnitřního vzduchu řeší. To ukazuje obr. 29. V zákrytu v blízkosti okna je při slunečných dnech teplota o 1K výše než o 3m dále směrem od okna. Z tohoto důvodu nemusí být vhodné umisťovat pracovní plochu blízko k oknu. S tím však nesouhlasí protichůdný požadavek zajištění denního osvětlení při zatažené obloze.



obr. 30 – Statistické posouzení vlivu žaluzií

Vliv žaluzií popisuje obr. 30. A431 a A527 jsou podobně užívané místnosti, ale místnosti A431 používají žaluzie více než v A527, a tak je zde méně hodin, kdy teplota přesahuje pásmo komfortu. Ale v tomto grafu je vidět i případ místnosti A420, kdy v místnosti jsou méně používané žaluzie a počet hodin s teplotou nad pásmem komfortu v době přítomnosti je přesto relativně nízký. Tato místnost totiž nebyla užívána v nejteplejších dnech července a srpna, kdy docházelo k vysokým teplotám vnitřního vzduchu.



2.4.2 Posouzení tepelné pohody podle ČSN EN 15251 [8]

2.4.2.1 Popis metody

ČSN EN 15251 [8] využívá tzv. „adaptivní model“ založený na vzájemné interakci uživatele a vnitřního prostředí, kdy je uživatel schopen očekávat a přizpůsobit se teplotním podmínkám a adaptuje se např. změnou oděvu.

Tento model platí pouze pro budovy bez strojního chlazení, převážně kancelářské, kde je snadný přístup k ovládání oken a uživatelé mohou volně upravit své oblečení na základě vnitřních a/nebo vnějších tepelných podmínek. V budově může být použito nucené větrání. Jde o volitelnou metodu, která se vztahuje pouze na prostory, kde uživatelé vykonávají práci v sedě s metabolickým výdejem v rozmezí od 1,0 do 1,3 met.

ČSN EN 15251 [8] také zavádí kategorie prostředí a jejich teplotních limitů, viz Tab. 1 a obr. 31. Přípustné vnitřní operativní teploty jsou závislé na klouzavé střední teplotě venkovního vzduchu θ_{rm} . Ta je definována jako exponenciálně vážený průměr denních venkovních teplot a hodnoty se získají podle vztahu:

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) * \theta_{ed-1} + \alpha * \theta_{rm-1}$$

kde θ_{rm} klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pro vyhodnocovaný den [°C]

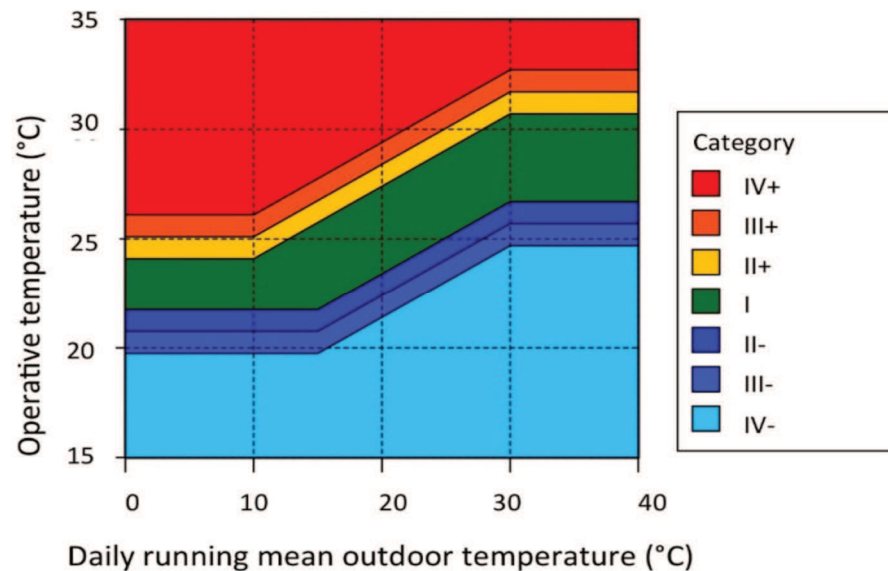
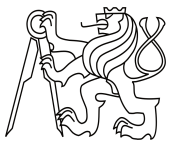
θ_{rm-1} klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pro předchozí den [°C]

θ_{ed-1} denní střední teplota venkovního vzduchu pro předchozí den [°C]

α konstanta, doporučená hodnota = 0,8 [-]

Tab. 1 – Kategorie prostředí [8]

Kategorie prostředí	Úroveň očekávaných parametrů
I	Vysoká – citlivé osoby (děti, senioři, ...)
II	Normální – pro nové budovy a rekonstrukce
III	Přijatelná, průměrná – pro stávající budovy
IV	Omezeně přijatelné



obr. 31 – Kategorie vnitřního prostředí a rozsahy jejich operativních teplot, zdroj [24]

Rovnice odpovídající čarám v obr. 31 jsou:

Kategorie I horní limit: $\theta_{i,max} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 2$ pro $10 < \theta_{rm} < 30$ °C

dolní limit: $\theta_{i,min} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 2$ pro $15 < \theta_{rm} < 30$ °C

Kategorie II horní limit: $\theta_{i,max} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 3$ pro $10 < \theta_{rm} < 30$ °C

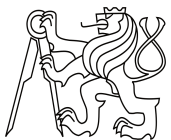
dolní limit: $\theta_{i,min} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 3$ pro $15 < \theta_{rm} < 30$ °C

Kategorie III horní limit: $\theta_{i,max} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 4$ pro $10 < \theta_{rm} < 30$ °C

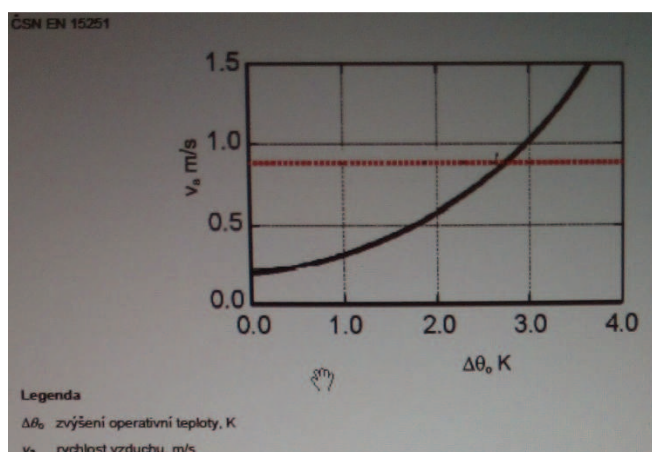
dolní limit: $\theta_{i,min} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 4$ pro $15 < \theta_{rm} < 30$ °C

kde $\theta_{i,min/max}$ limitní hodnota operativní teploty [°C]

θ_{rm} klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pro vyhodnocovaný den [°C]



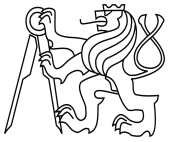
Při překročení letních podmínek tepelné pohody může pro kompenzaci zvýšené teploty sloužit zvýšená rychlost proudění vzduchu. Tam, kde jsou ventilátory (které lze přímo ovládat uživateli), horní limity mohou být zvýšeny o několik stupňů, viz obr. 32. Toho lze využít v kanceláři A420, ve které je umístěn ventilátor.



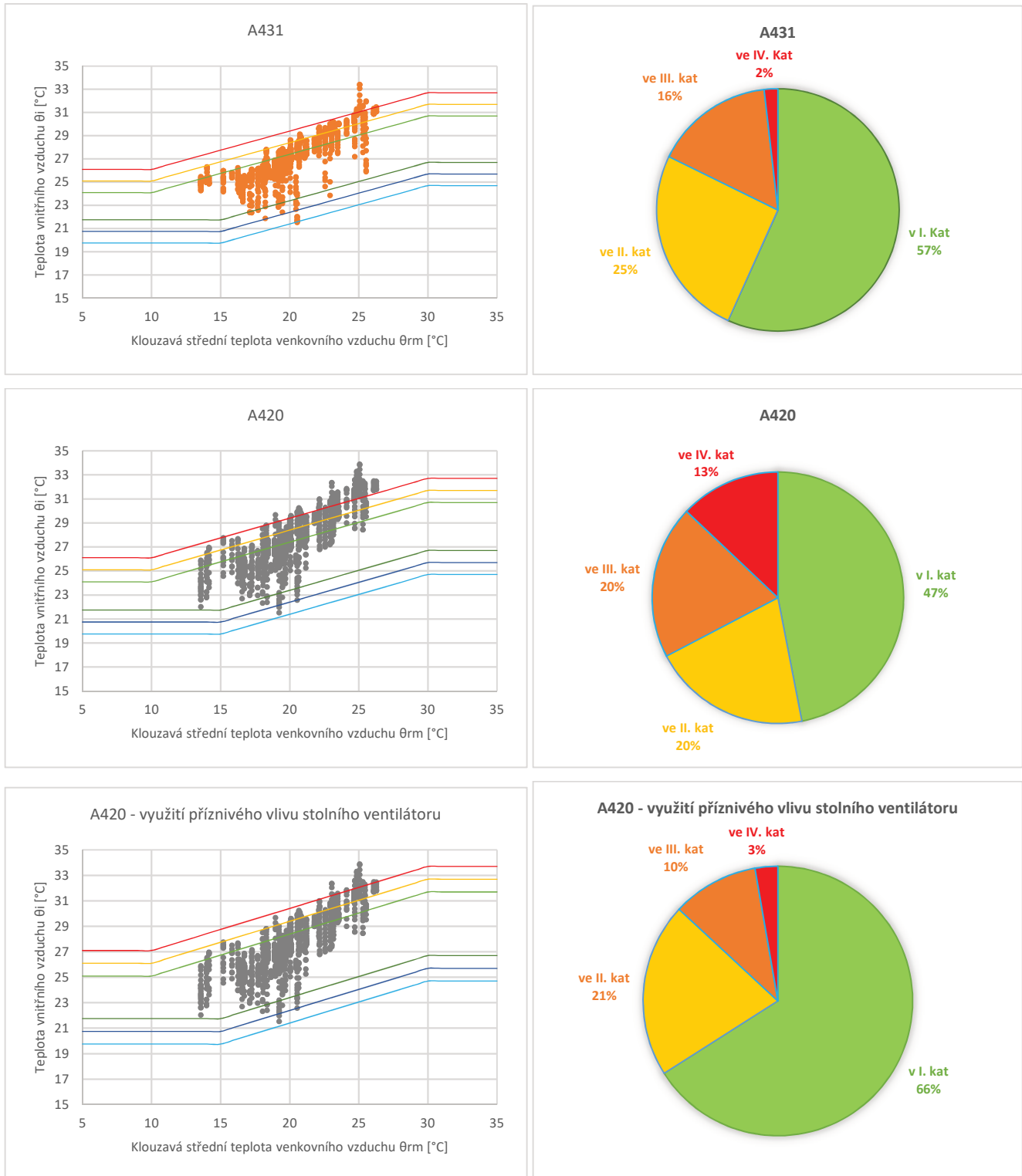
obr. 32 – Zvýšení horního limitu operativní teploty [8]

Měřidlo teploty umístěné pod parapety oken bylo ovlivněno sáláním z okolních povrchů, teplotou povrchu, na kterém bylo čidlo umístěno, a bylo chráněno před přímým slunečním zářením. Pro zjednodušení je uvažováno, že naměřené teploty se blíží teplotě operativní, se kterou adaptivní model pracuje.

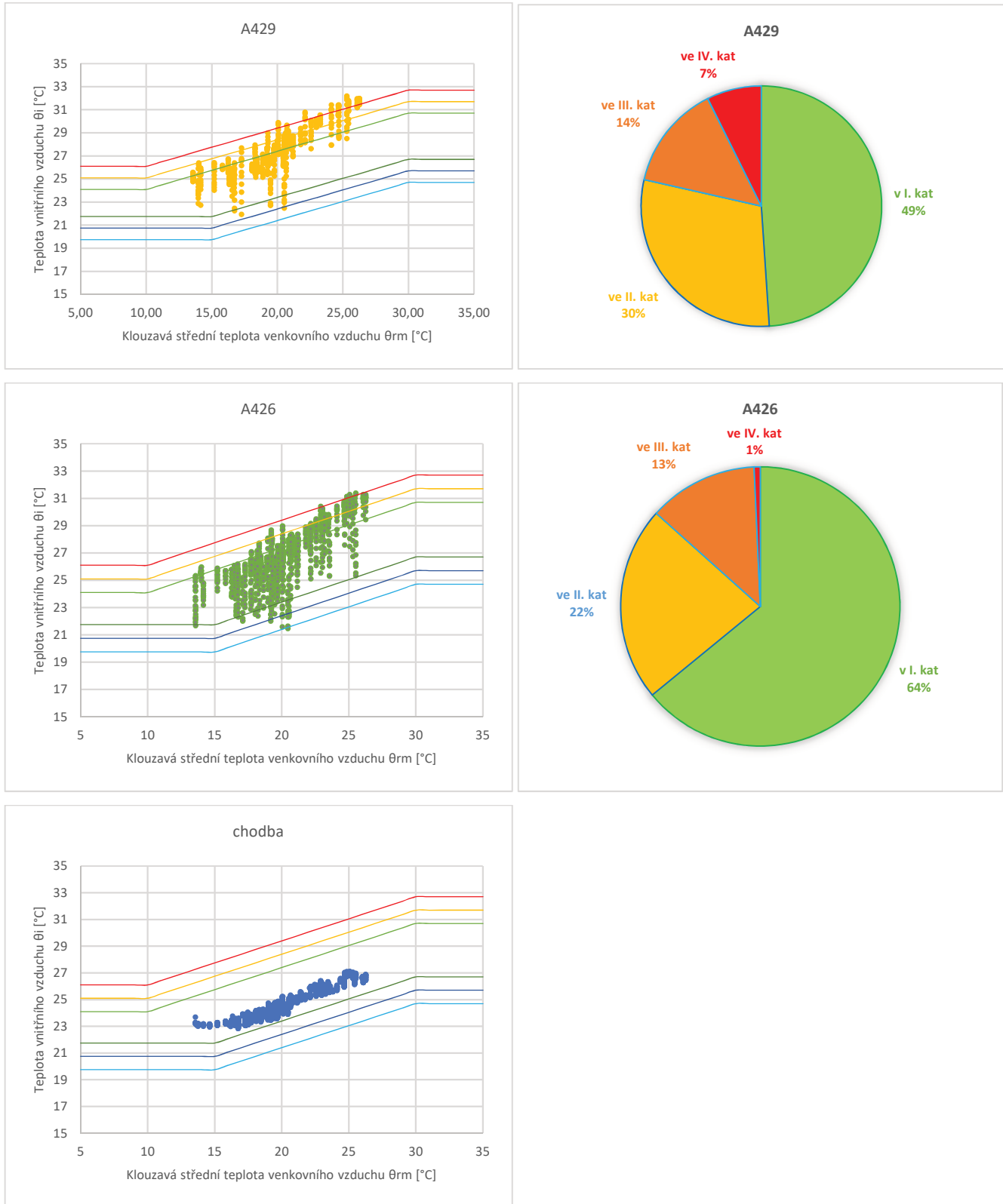
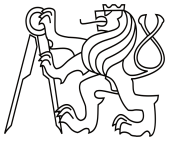
Jde o pracovní prostředí, hodnotí se tedy pracovní doba od 6:00 do 18:00 SELČ, kdy se v modelové budově uživatelé v kancelářích vyskytují.



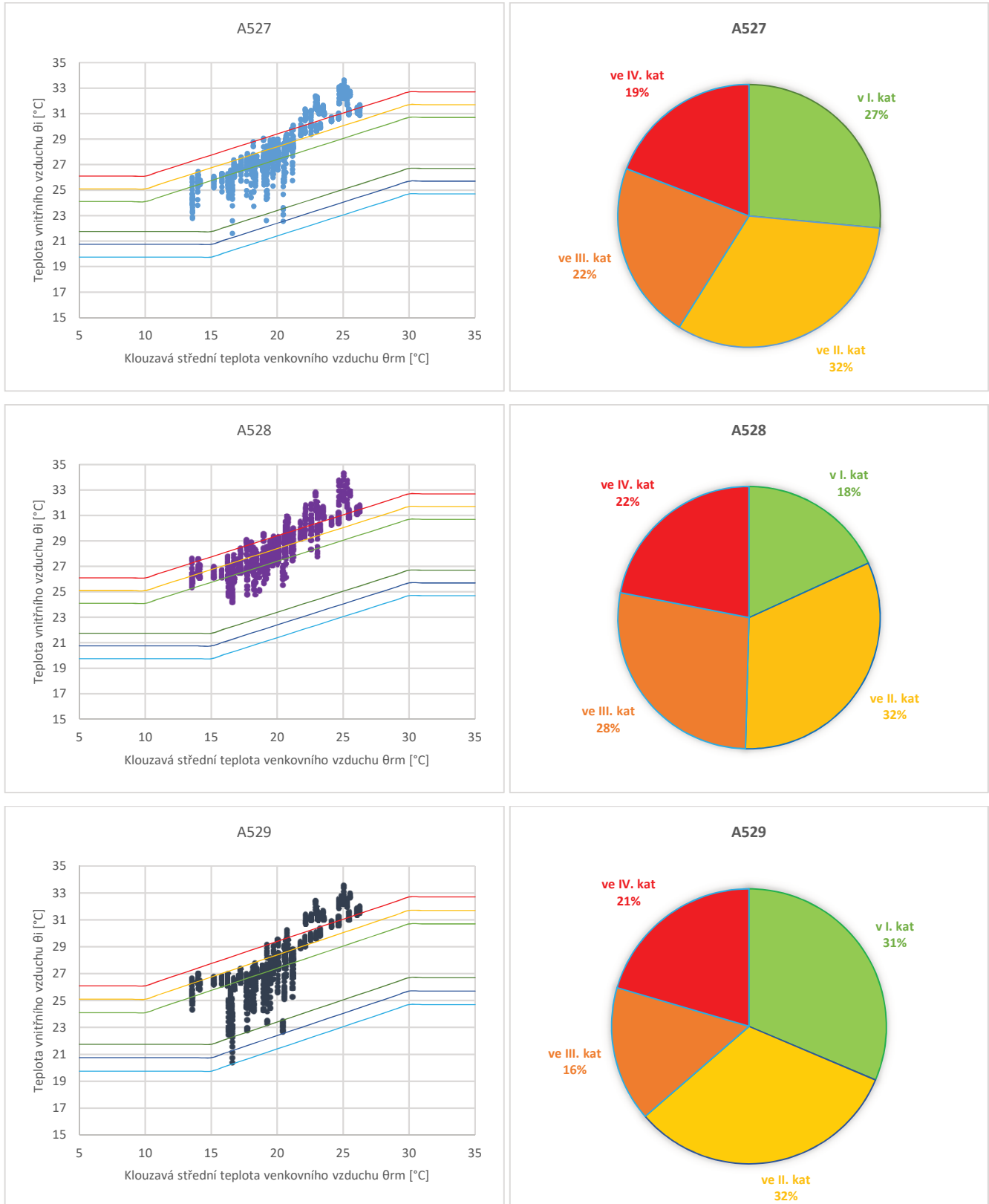
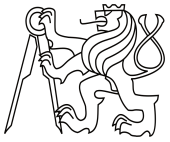
2.4.2.2 Výsledky a hodnocení



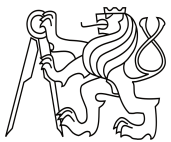
obr. 33 – Dílčí grafy adaptivního modelu měření 1



obr. 34 – Dílčí grafy adaptivního modelu měření 2

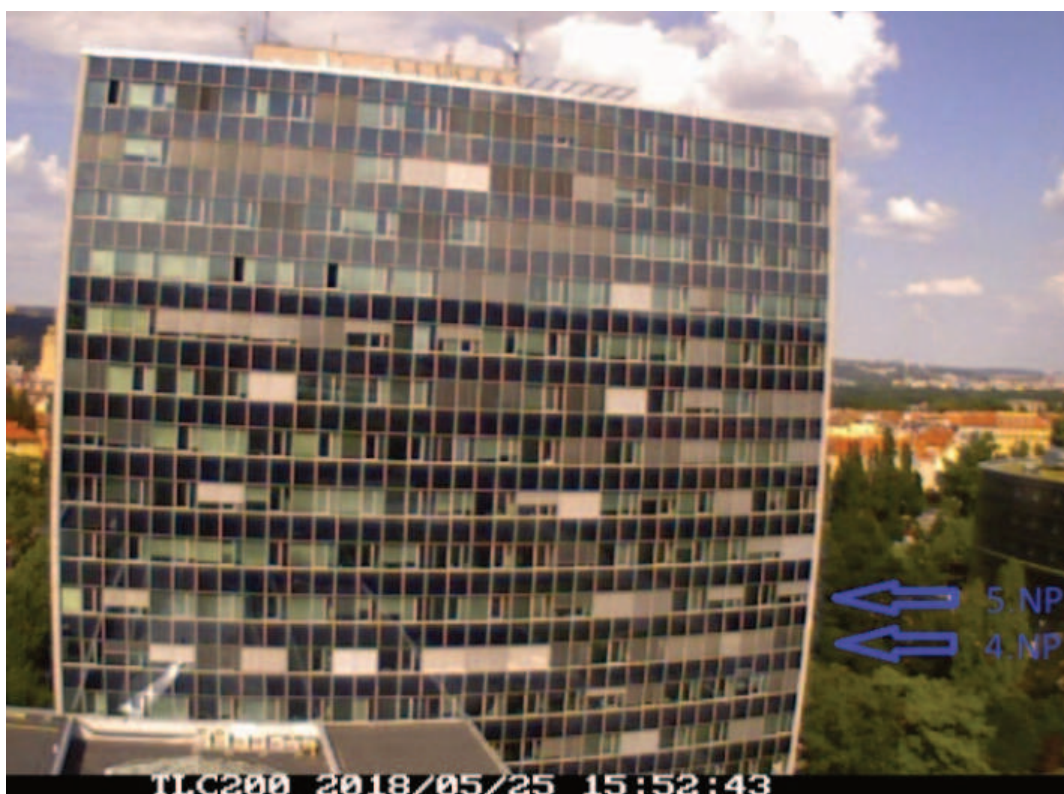


obr. 35 – Dílčí grafy adaptivního modelu měření 3

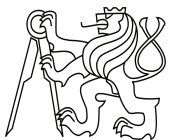


Ve dílčích grafech, které obsahuje obr. 33, se potvrzuje, že zvýšená rychlost proudění vzduchu pomáhá tepelnému komfortu. I podle dotazníků bylo zjištěno, že uživatel místnosti A420 se v kanceláři cítí „příjemně“. A pokud se upraví limity pro hodnocení o vliv stolního ventilátoru, i zařazení do kategorií odpovídá normovým podmínkám „příjemného“ prostředí.

Povolená normová odchylka pro IV. kategorii je 5% [8]. Na 4.NP je odchylka dodržena téměř ve všech místnostech (viz obr. 33 a obr. 34), ale v 5.NP v žádné místnosti (viz obr. 35). Může to být způsobeno použitím žaluzií, protože uživatelé 4.NP používají žaluzie více, viz obr. 36, ale určitě má vliv i to, že 4.NP je vybaveno mechanickým větráním. Další aspekt ovlivňující výsledky uživatelů místností v 5.NP je přítomnost uživatelů. Místnosti A528 a A529 jsou méně užívány, takže není směřodlatné posuzovat účinnost stínění a větrání, když systémy nejsou využívány.

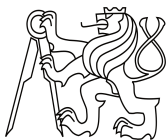


obr. 36 – Míra využití žaluzií ve 4.NP a 5.NP



V místnosti A426 jsou výsledky velmi příznivé, viz obr. 34. Avšak tato místnost má trvale otevřené dveře a teploty se proto blíží teplotě na chodbě. Uživatelé této místnosti jsou také přítomni každý den, a tak reagují více na měnící se světelné a tepelné podmínky.

Na chodbě se teploty pohybují pouze v té „nejkomfortnější“ kategorii, viz obr. 34. To by mohlo vést k úvaze neumisťovat kanceláře k proskleným fasádám, aby se naplnily požadavky tepelné pohody. Ale pak by nebyly splněny požadavky na jiné složky vnitřního prostředí, především světelné pohody, jako denní osvětlení nebo pak také pohled ven pro kontakt s vnějším prostředím.



3. Korekční činitel stínění pro pohyblivé systémy

Pro další výpočty je potřeba zjistit hodnoty a časový průběh korekčního činitele stínění pro pohyblivá stínicí zařízení F_{sh} [-]. Činitel představuje redukci dopadajícího slunečního záření v důsledku trvalého zastínění příslušné plochy, je to časově závislá veličina a nabývá hodnot od 0 do 1 (1 - nestíněná plocha, 0 - zcela zastíněná plocha). [25]

3.1 Model

Ing. Kamil Staněk, Ph.D. vytvořil v programu Matlab model žaluzií odpovídající žaluziím ve sledovaných místnostech s kódem pro výpočet F_{sh} [27]. Model pracuje s uvažováním jasné oblohy nebo s klimatickými daty z roku 2010 z meteorologické stanice Praha Libuš.

Zeměpisná šířka: +50,103°

Zeměpisná délka: -14,387°

Nadmořská výška: 260 m n. m.

Parametry modelu:

Geometrie okna:

Šířka okna: 2,6 m

Výška okna: 1,6 m

Výška parapetu: 1,2 m

Šířka rámu u parapetu: 0,1 m

Šířka rámu u ostění a nadpraží: 0,07 m

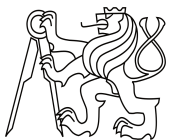
Předsazení rámu před rovinou zasklení: 0,015 m

Žaluzie:

Počet lamel: 16

Šířka lamel: 0,1 m

Vzdálenost lamel: 0,1 m



3.2 Varianty nastavení žaluzií

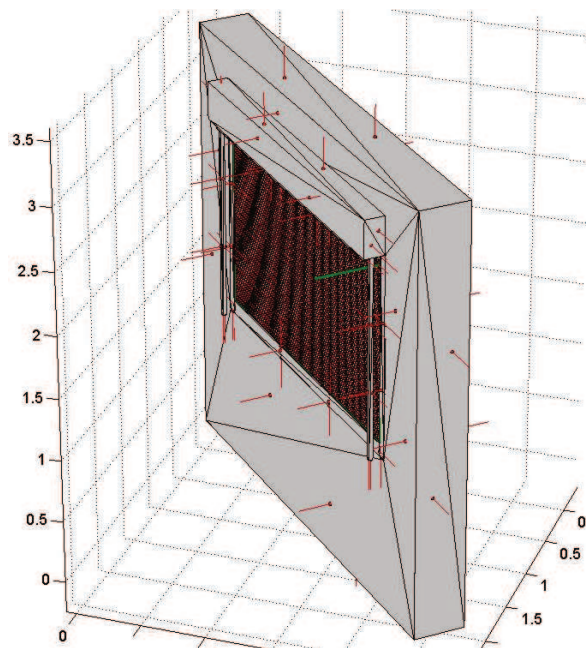
Řešené varianty poloh žaluzií s 3D vyobrazením [27], které se podle měření nejčastěji používají, viz obr. 37 až obr. 43:

1) Varianta 1 – Nezaslíněné okno

Okno bez použití žaluzií.

obr. 37 – Varianta 1 – VYT

„VYT“

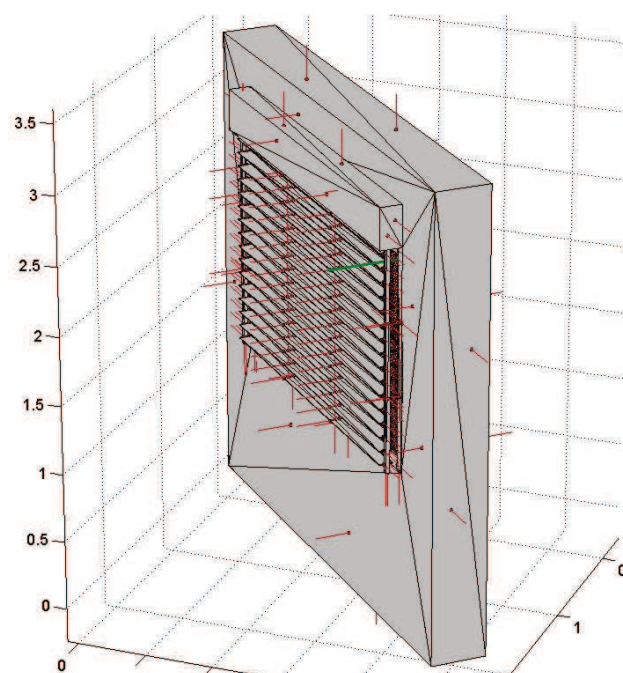


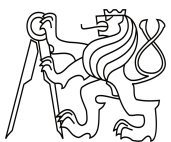
2) Varianta 2 – Zaslíněné okno

Všechny lamely žaluzie stažené,
lamely ve vodorovné poloze.

obr. 38 – Varianta 2 – ZAT0

„ZAT0“





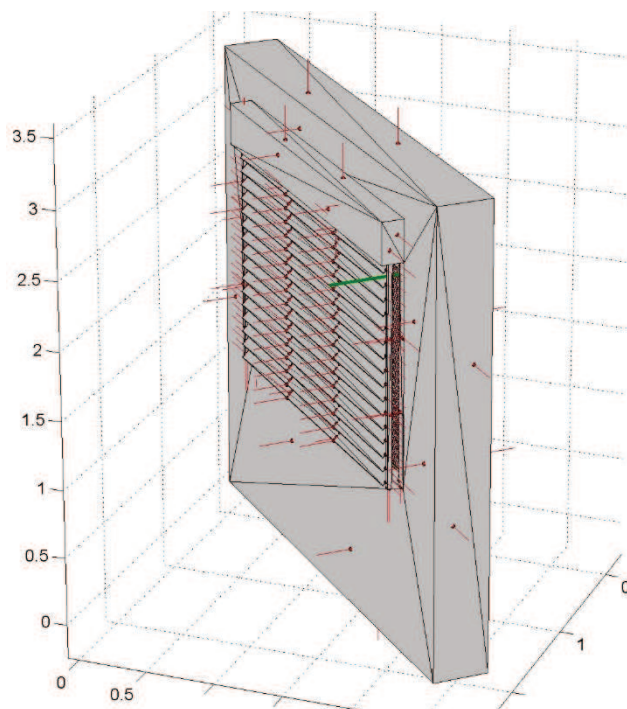
3) Varianta 3 – Zastíněné okno

„ZAT30“ / „ZAT45“

Všechny lamely žaluzie stažené,

lamely pootočené pod úhlem 30° / 45°.

obr. 39 – Varianta 3 – ZAT30 / ZAT45



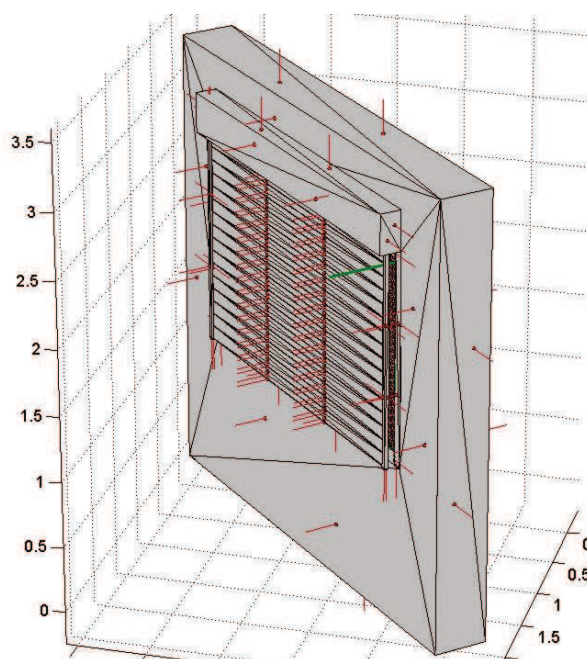
4) Varianta 4 – Zcela zastíněné okno

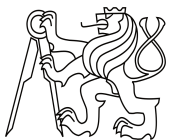
„ZAT90“

Všechny lamely žaluzie stažené,

lamely ve svislé poloze.

obr. 40 – Varianta 4 – ZAT90



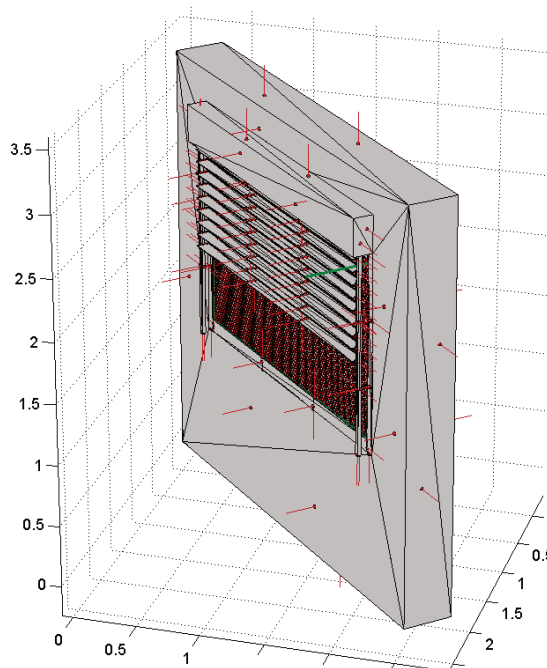


5) Varianta 5 – Částečně zastíněné okno „POLOZAT0“

Žaluzie částečně zatažená do 1/2 výšky okna, (uvažováno 9 lamel)

lamely ve vodorovné poloze.

obr. 41 – Varianta 5 – POLOZAT0

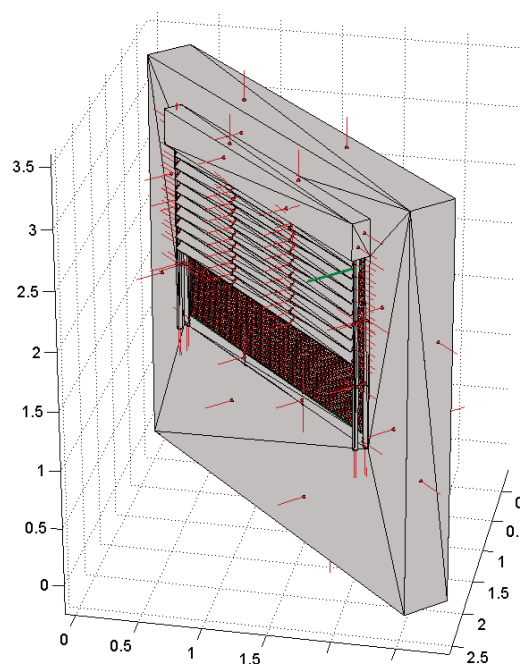


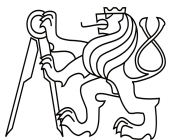
6) Varianta 6 – Částečně zastíněné okno „POLOZAT30“ / „POLOZAT45“

Žaluzie částečně zatažená do 1/2 výšky okna (uvažováno 9 lamel),

lamely pootočené pod úhlem 30° / 45°.

obr. 42 – Varianta 6 – POLOZAT30 /
POLOZAT45

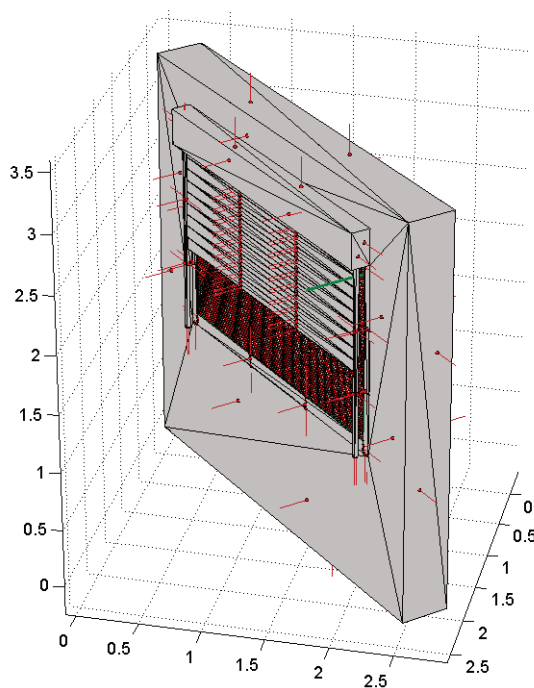




7) Varianta 7 – Částečně zastíněné okno „POLOZAT90“

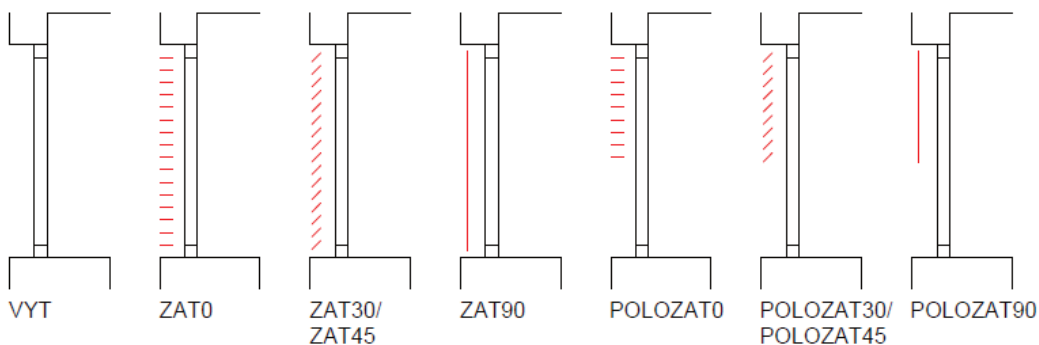
Žaluzie částečně zatažená do 1/2 výšky okna (uvažováno 9 lamel),
lamely ve svislé poloze.

obr. 43 – Varianta 7 – POLOZAT90

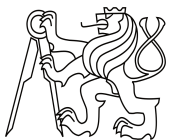


Varianty 5 - 7 na obr. 41 - obr. 43 (s použitím jen části lamel) jsou uvažovány vzhledem k zajištění dostatečného denního osvětlení místnosti i při zatažené obloze. Nábal lamel při nejnižší lamely je u těchto variant pro zjednodušení zanedbán.

Pro přehlednost jsou vyobrazeny všechny varianty schematicky na následujícím obr. 44.

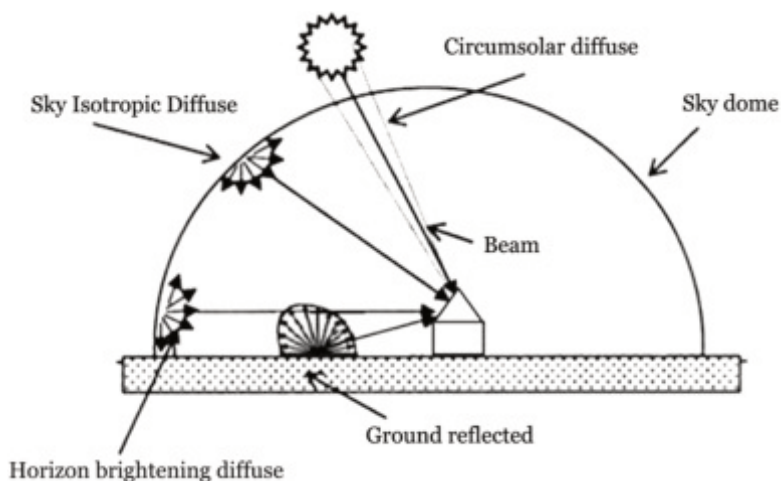


obr. 44 – Schématické zobrazení variant



3.3 Popis metody výpočtu

Při určení F_{sh} se uvažuje Perezův model slunečního záření, kdy sluneční záření je rozloženo do pěti složek – přímá („beam“), 3 difúzní od oblohy („horizon brightening diffuse“, „sky isotropic diffuse“, „circumsolar diffuse“) a difúzní odražená („ground reflected“), viz obr. 45.



obr. 45 – Perez model, zdroj [26]

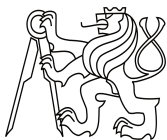
Pomocí jednotlivých složek slunečního záření se určuje množství slunečního záření, které dopadá na svislou rovinu před stínicí systém Q_{se} . Část slunečního záření od difúzní odražené složky je pro zjednodušení zanedbána.

Zasklení okna je rozděleno na dílčí trojúhelníkové plošky a v každé plošce se určuje množství slunečního záření, které dopadne, resp. projde přes stínicí systém Q_s .

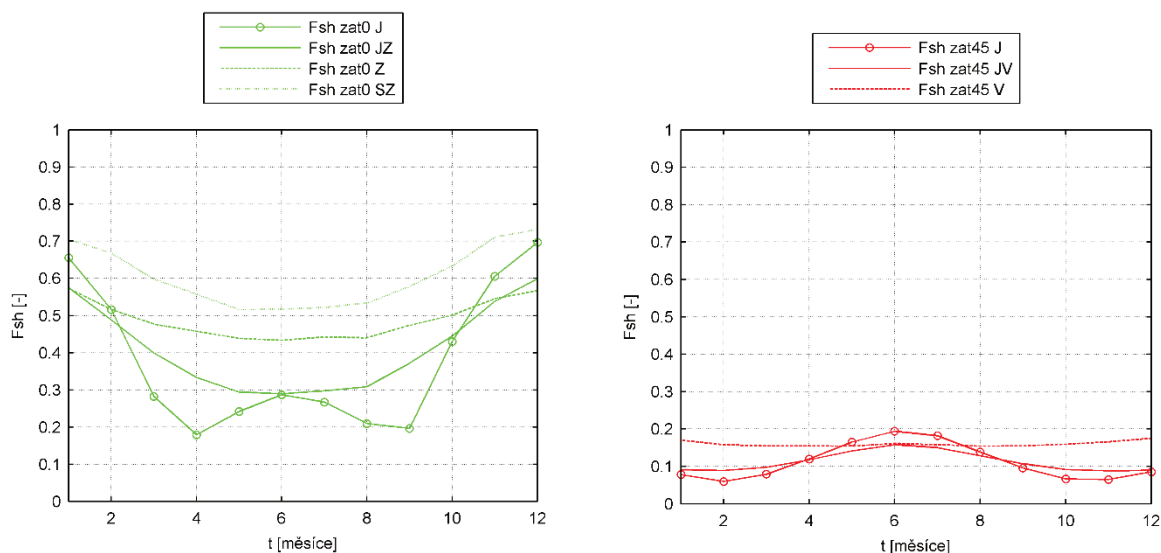
Součinitel stínění je pak podíl slunečního záření, které dopadá na zasklení okna přes stínicí systém Q_s [Wh/m²], a celkového slunečního záření, které dopadá před stínicím systémem Q_{se} [Wh/m²]. [27]

$$F_{sh} = \frac{Q_s}{Q_{se}} [-]$$

Účinnost žaluzie, resp. řešených variant polohy žaluzie, během roku bude sledována na průměrných měsíčních hodnotách činitele F_{sh} .

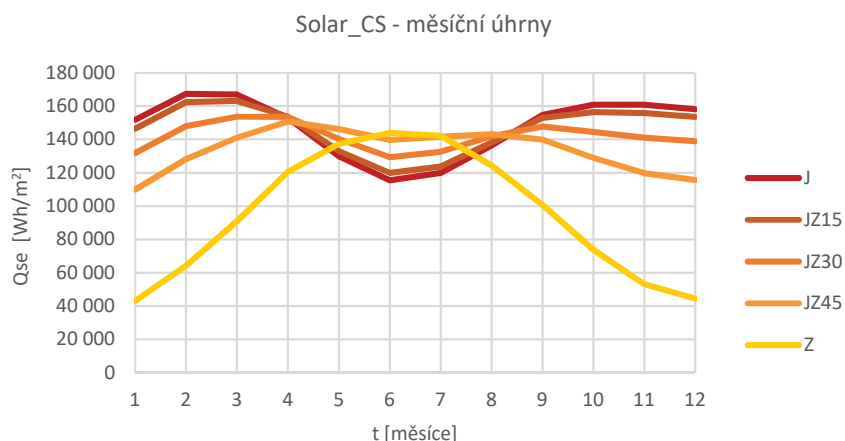


3.4 Výsledky a hodnocení

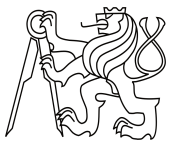


obr. 46 – Korekční činitel stínění podle orientace – při jasné obloze

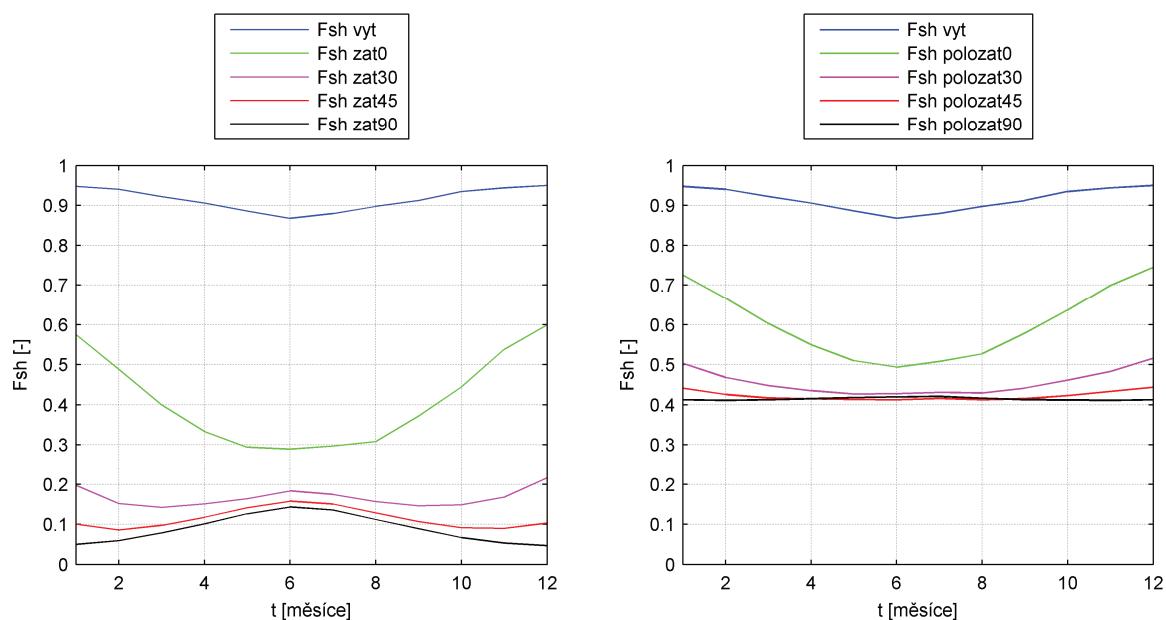
Volba nastavení polohy lamel žaluzie velmi závisí na orientaci řešené fasády. Nelze však říci, že např. na jižní fasádě je žaluzie nejúčinnější, protože také závisí na sklonu lamel, viz obr. 46. Na jižní fasádě je nejúčinnější, ale pouze v letním období a pokud mají lamely žaluzie malý sklon (obr vlevo). Při sklonech kolem 30° a více už na jižní fasádě nemá takovou účinnost jako dále směrem na východ nebo západ (obr vpravo).



obr. 47 – Měsíční úhrny solární ozáření na svislou rovinu podle orientace – při jasné obloze (v České republice), zdroj [28]

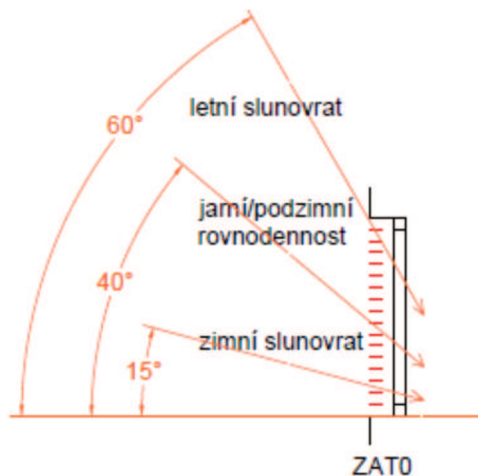
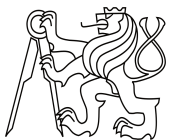


To, že na jižní fasádě má žaluzie v letních měsících menší účinnost než v přechodných obdobích na jaře a na podzim, viz obr. 46, je dáno množstvím slunečního záření, které v určité roční období dopadá na žaluzii, resp. fasádu, viz obr. 47. Je zde vidět, že průběh korekčního činitele F_{sh} má inverzní charakter k průběhu množství dopadajícího slunečního záření na fasádu Q_{se} . Žaluzie totiž propustí v určité poloze pouze určité množství slunečního záření a zbytek se odrazí. Z toho plyne, že čím více slunečního záření pak na žaluzii dopadne, tím více ho dokáže odstínit.



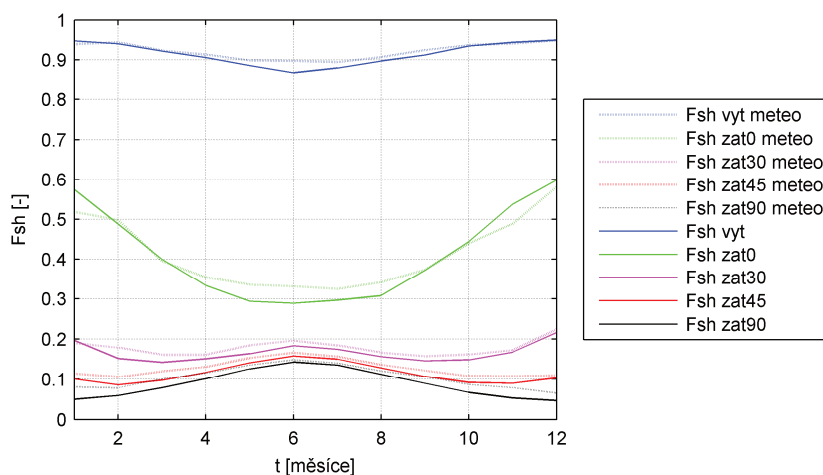
obr. 48 – Porovnání účinností žaluzie během roku na jihozápadní fasádě s použitím všech lamel (vlevo) a použití 2/3 lamel (vpravo) – při jasné obloze

Už samotné zatažení všech lamel žaluzie bez jejich náklonu má v letním období významný vliv na odstínění dopadajícího slunečního záření, což je v tomto období žádané. Hodnota součinitele je pak třetinová, viz obr. 48 vlevo – $F_{sh\ zat0}$ (lamely ve vodorovné poloze). V zimním období má zatažení žaluzie bez náklonu lamel menší vliv na odstínění kvůli menší výšce Slunce, protože sluneční paprsky se dostávají přes stínicí systém do interiéru snadněji, viz obr. 49. Sluneční paprsky v zimním období pomáhají tepelné bilanci objektu a také je jejich přítomnost více vítána než v letním období. Proto se v zimním období nedoporučuje žaluzie ve dne používat. A když už, tak bez náklonu lamel.

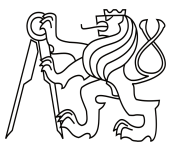


obr. 49 – Žaluzie a výška Slunce

Na obr. 48 vlevo se také ukazuje, že při natočení lamel nad 30° již na úhlu natočení tolik nezáleží. Je to způsobeno tím, že se většina přímého slunečního záření odrazí směrem ven od žaluzie vlivem větší výšky Slunce, tedy většího úhlu dopadu slunečních paprsků. A pokud se nepoužijí všechny lamely žaluzie, tak v letním období nezáleží na náklonu téměř vůbec, viz obr. 48 vpravo. Velká část slunečního záření se totiž dostane do prostoru přes nestíněnou část okenního otvoru.

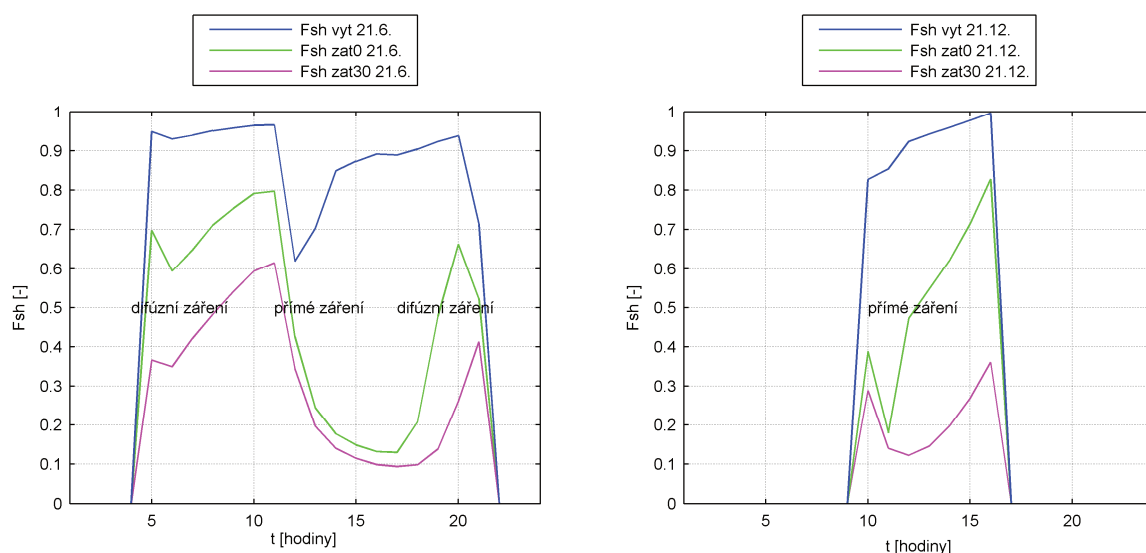


obr. 50 – Rozdíl v uvažování jasné oblohy a použití klimatických dat z meteostanice
(Praha Libuš, 2010)



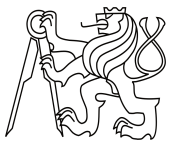
Při použití klimatických dat z meteorostanice jsou hodnoty korekčního činitele stínění o trochu vyšší, resp. horší, viz obr. 50 – průběhy s přívlakem „meteo“. Hodnoty ale nejsou příliš rozdílné oproti modelu jasné oblohy, a tak posouzení na základě hodnot s uvažováním jasné oblohy je objektivní.

Měsíční hodnoty korekčního činitele se používají při bilančních výpočtech energetické náročnosti budov. Většinou se používá 1 hodnota pro každý měsíc, hodnota je ale proměnná v čase a během roku kolísá obzvláště při nízkém náklonu lamel, takže výpočty pak mohou být zatíženy určitou chybou.



obr. 51 – Porovnání účinnosti žaluzie na jihozápadní fasádě během dne – letní a zimní slunovrat – při jasné obloze

Charakter denního průběhu činitele F_{sh} se nezmění s použitím žaluzie, odlišná je pouze hodnota, viz obr. 51. Ale v závislosti na ročním období má činitel F_{sh} opačný trend. Při nejvyšší poloze Slunce (letní slunovrat 21.6.) se s přímým slunečním záření F_{sh} snižuje, resp. žaluzie je účinnější, a při nejnižší poloze Slunce (zimní slunovrat 21.12.) se s přímým slunečním záření F_{sh} zvyšuje, resp. žaluzie je méně účinná.



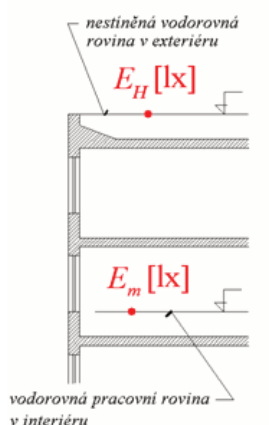
4. Vliv žaluzií na denní osvětlení

Použití žaluzií negativně ovlivňuje množství denního světla v místnosti a optimální nastavení žaluzie nesmí způsobit porušení normových požadavků na denní osvětlení. Denní osvětlení místnosti se posuje pomocí činitele denní osvětlenosti D [%].

4.1 Činitel denní osvětlenosti

Dle definice z ČSN 73 0580-1 [29] se jedná o poměr mezi osvětleností dané roviny přímým i odraženým oblohovým světlem v dané době a současnou osvětleností venkovní nezastíněné vodorovné roviny, viz obr. 52.

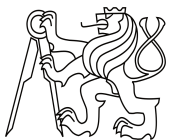
$$D = \frac{E_m}{E_H} * 100 \text{ [%]}$$



obr. 52 – Definice činitele denní osvětlenosti, zdroj [31]

U kanceláří se předpokládá, že jde o místa s trvalým pobytém osob podle ČSN 73 0580-1 [29] a platí pro ně požadavky jako pro obytné budovy dle ČSN 73 0580-2 [30].

Hodnota činitele denní osvětlenosti při bočním osvětlení musí být ve dvou kontrolních bodech v polovině hloubky místnosti, nejdále však ve vzdálenosti 3 m od roviny okna, vzdálených 1 m od vnitřních povrchů bočních stěn minimálně $D_{\min 1,2} = 0,7$ % a průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti z obou těchto bodů nejméně $D_{m1,2} = 0,9$ %. [30]

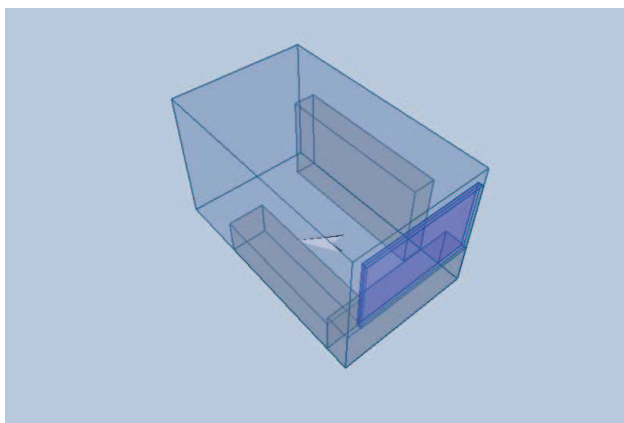
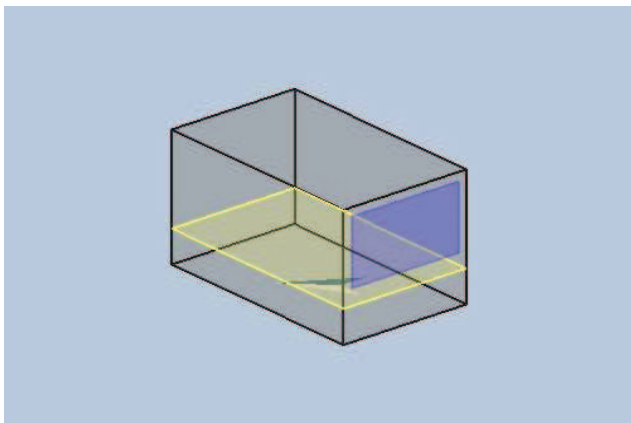
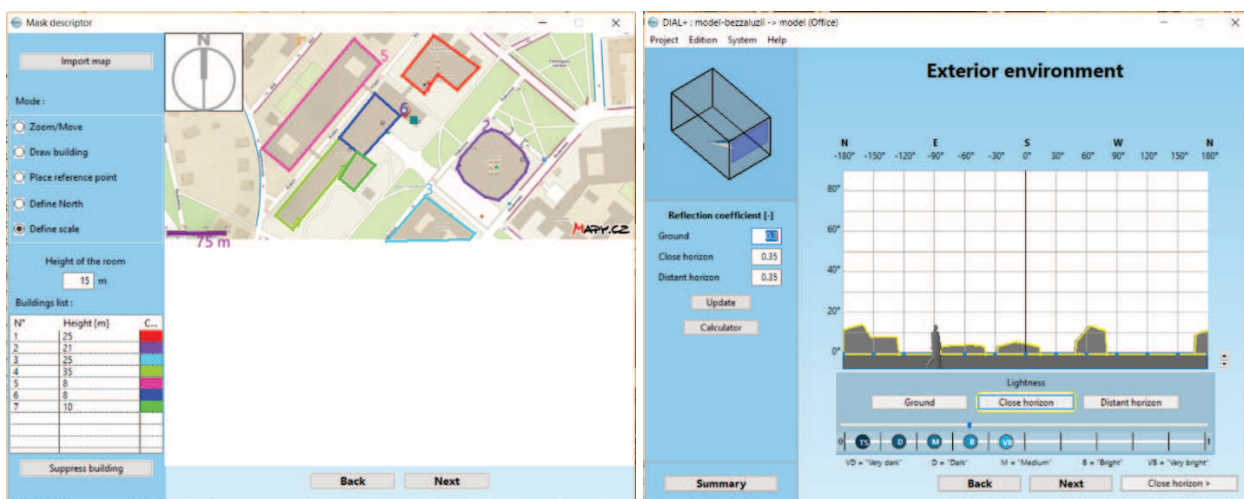


4.2 Model

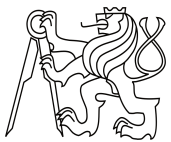
Ve výpočetním programu DIAL+ (verze 2.6.00) byla namodelována řešená kancelář ve 4.NP modelové budovy z kapitoly 2., kde se pro různé polohy žaluzie posuzovalo denní osvětlení pomocí činitele denní osvětlenosti na pracovní ploše ve výšce 0,8 m nad zemí. Klimatická data byla vybrána z databáze pro město s nejbližší zeměpisnou výškou – Frankfurt a. M. (Německo).

V kanceláři je umístěn pracovní stůl 0,8x0,8x3,0 m a skříň 1,0x2,0x3,0 m. Stěny jsou bílé, podlaha světle šedá. Ve vnější stěně je umístěno okno 1,6x2,6 m, s izolačním trojsklem o energetické propustnosti $g=0,3$ a světelné propustnosti $\tau=0,5$. Výška parapetu 1,2 m, hloubka parapetu 0,5 m. Parametry modelu viz obr. 53 a obr. 54.

Následně se v modelové místnosti namodelovaly řešené varianty nastavení žaluzie.



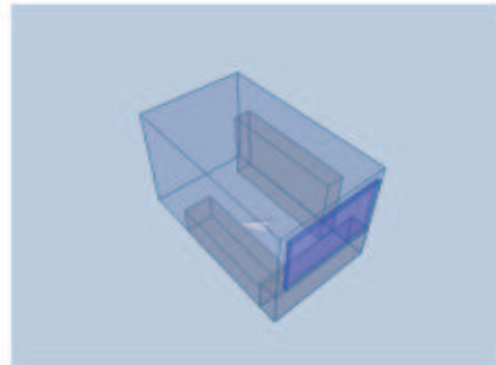
obr. 53 – Model v programu DIAL+



Performance calculation of daylighting

Project : model-szaluzii vyt
Project type : New construction
Address : Thákurova 7
Responsible : CTU in Prag
Society : Faculty of Civil Engineering
Date : 5.11.2018

Room : model
Function : Office
Weather site : Frankfurt (Germany)
DIAL+ version : 2.6.00



1. model : Input parameters

1.1 Room dimensions

Net surface : 15 [m²]
Width : 3 [m]
Depth : 5 [m]
Height : 3 [m]
Index facade glazing : 22 [%]
Index facade glazing : 0 [%]

1.2 Walls geometry

Name	Orientation	Width [m]	Height [m]	Thickness [m]	Lightness
Floor	-	3	5	-	0.2
Wall 1	S-W (225°)	3	3	0.1	0.2
Wall 2	S-E (135°)	5	3	0.35	0.7
Wall 3	N-E (45°)	3	3	0.35	0.7
Wall 4	N-W (315°)	5	3	0.35	0.7
Roof 5	-	3	5	0.35	0.75

1.3 Openings geometry

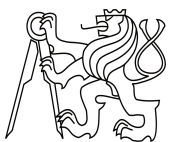
Name	Orientation	Width [m]	Height [m]	Dist to left side [m]	Window sill [m]	Surface [m ²]
Open 1.1	S-W (225°)	2.6	1.6	0.2	1.2	4.16

1.4 Detailed openings

Name	Frame [%]	Tl Glazing	g Glazing	Ug Glazing	Psi Frame	Uf Frame	Uw Window	Opening [%]
Open 1.1	20	0.5	0.3	0.6	0.08	0.7	0.9	30

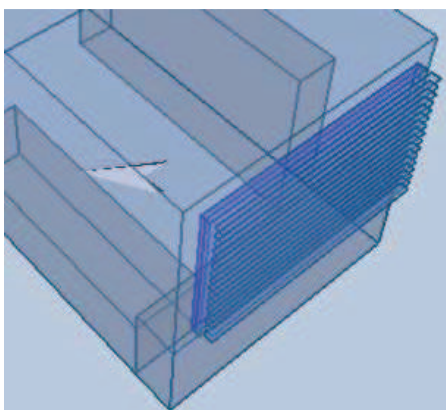
Open X.Y: X is the facade number and Y is the opening number.

obr. 54 – Report modelu v programu DIAL+

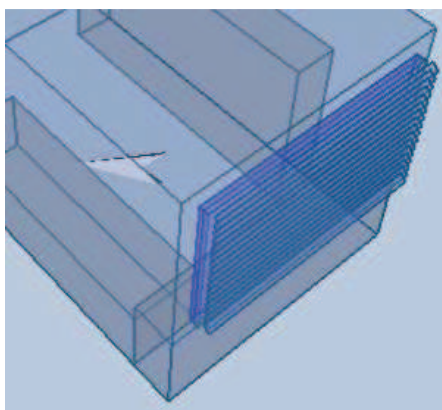


4.3 Varianty nastavení žaluzií

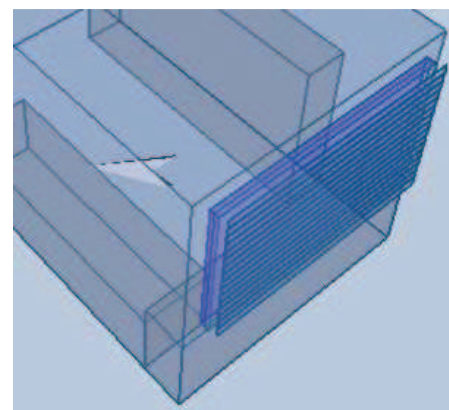
Řešené varianty nastavení žaluzií odpovídají variantám v kapitole 3. Korekční činitel stínění pro pohyblivé systémy. Na následujícím obr. 55 jsou varianty zobrazeny.



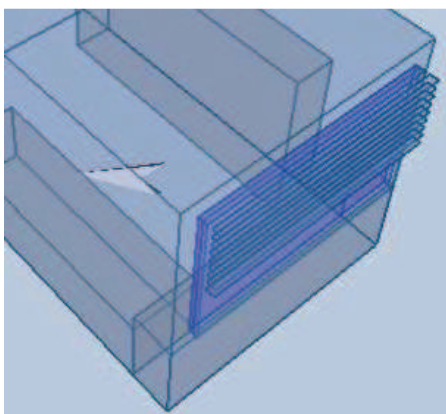
zat0



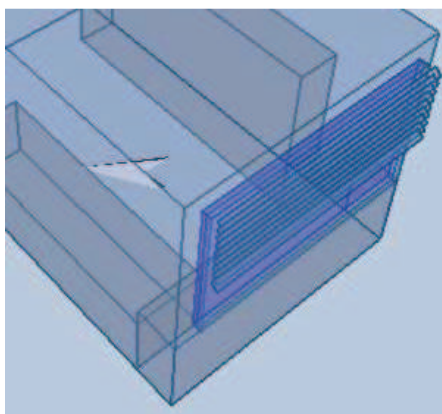
zat30 / zat45



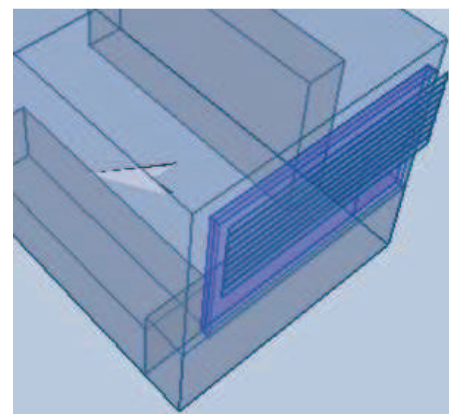
zat90



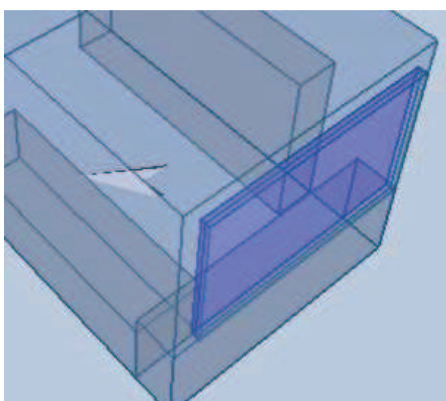
polozat0



polozat30 / polozat45

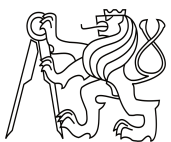


polozat90



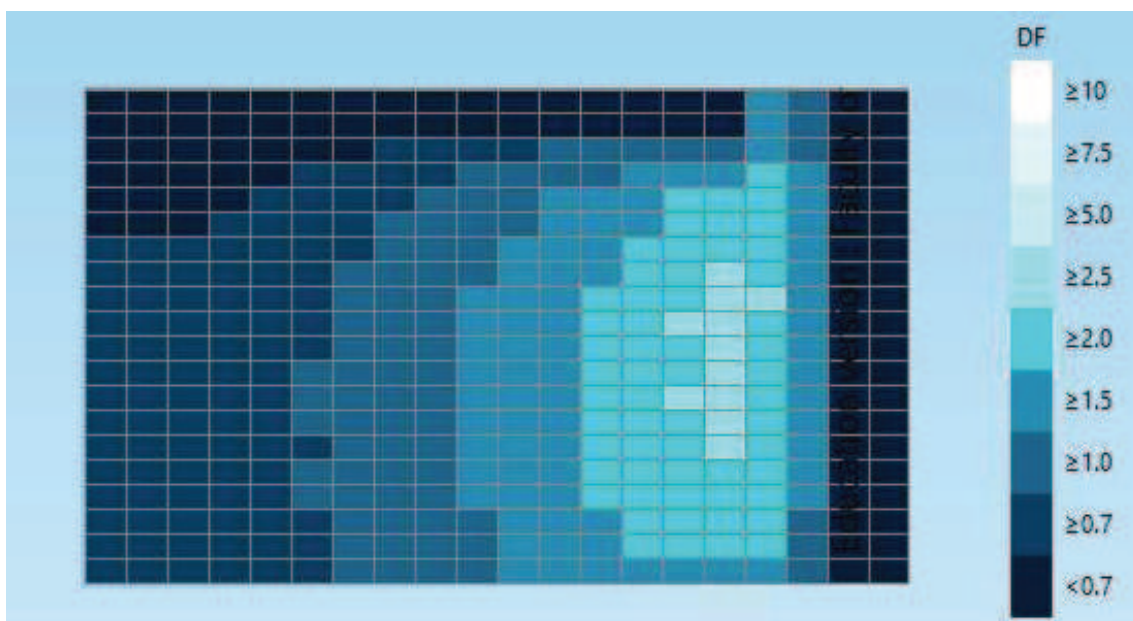
vyt

obr. 55 – Varianty nastavení žaluzií v programu DIAL+

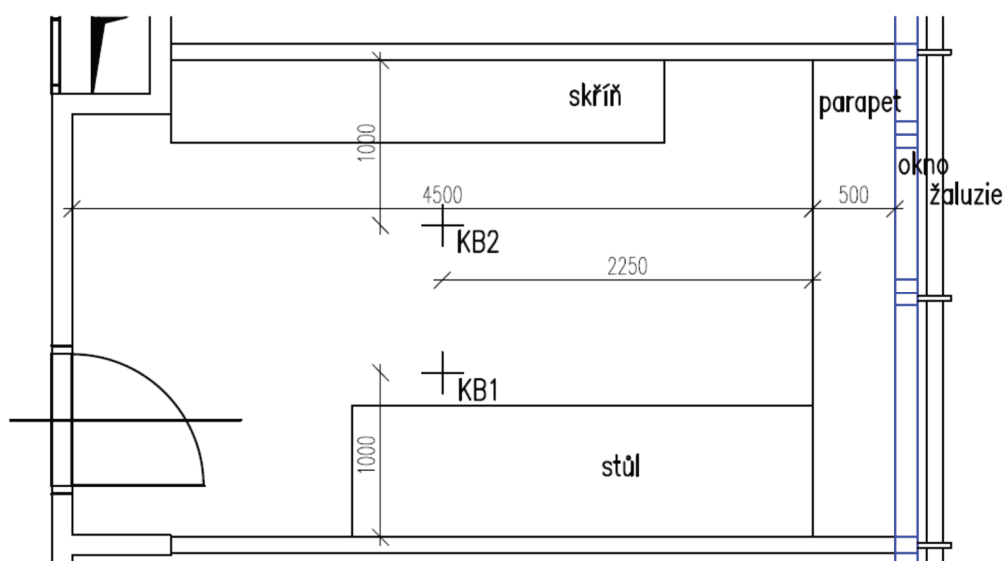


4.4 Výsledky a hodnocení

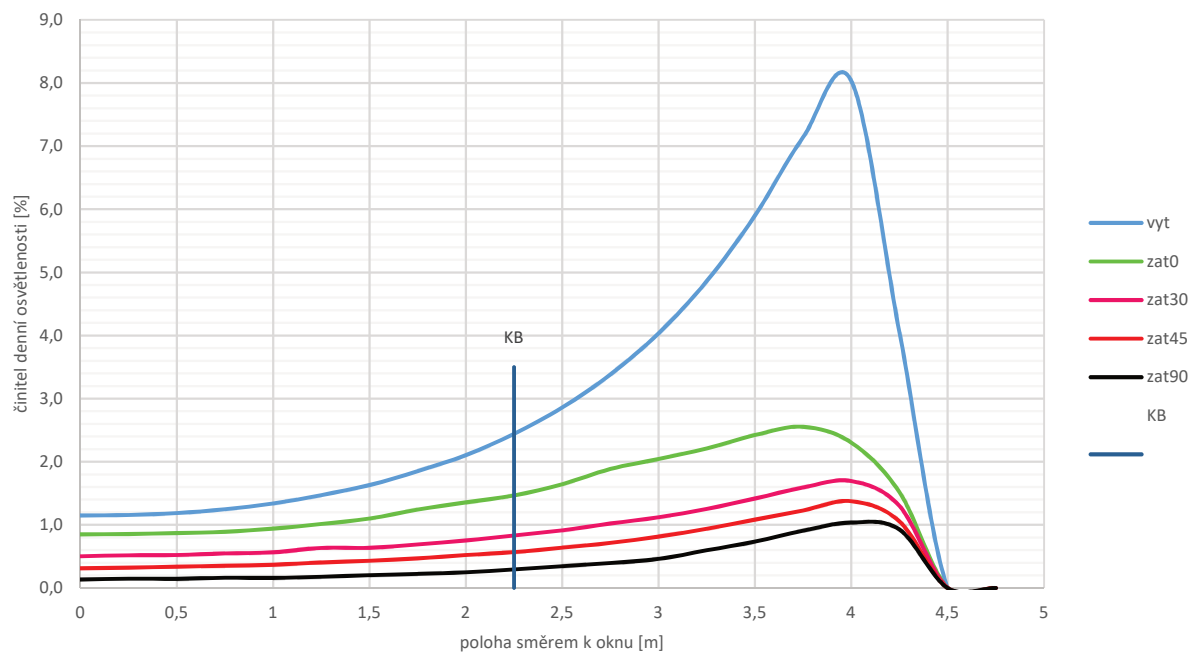
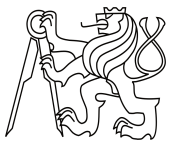
Z výpočetního programu byly získány hodnoty činitele denní osvětlenosti modelové místnosti v každém dílku z rastru 20x20 dílků, obr. 56, a byly posouzeny hodnoty v kontrolních bodech daných normou ČSN 73 0580-2 [30], viz obr. 57.



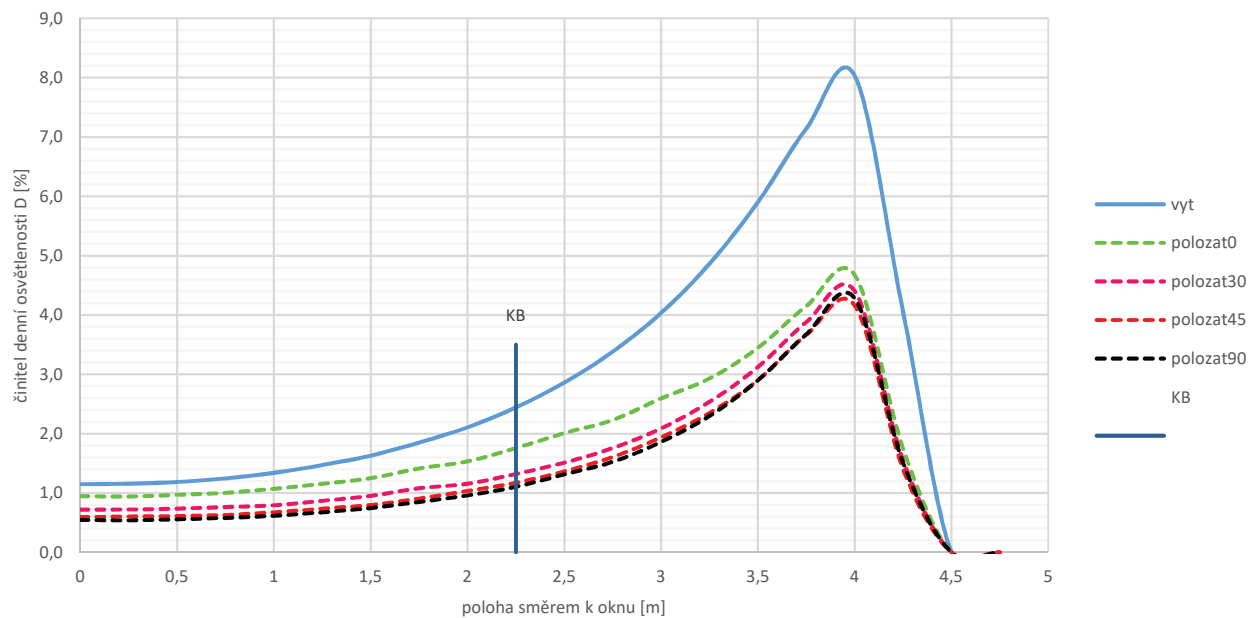
obr. 56 – Získaná rozložení činitele denní osvětlenosti – varianta zat0 (rastr 20x20 dílků, DF=daylight factor, resp. D – činitel denní osvětlenosti)



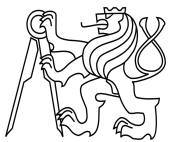
obr. 57 – Kontrolní body pro činitele denní osvětlenosti



obr. 58 – Průběh činitele denní osvětlenosti 1m od stěny při zatažené žaluzii (přes KB1)



obr. 59 – Průběh činitele denní osvětlenosti 1m od stěny při částečně zatažené žaluzii (přes KB1)



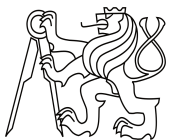
Průběh osvětlení po délce místnosti v místě uvažovaného stolu je očekávaný. Nízké hodnoty ve vzdálenosti 4-5 m směrem k oknu, viz obr. 58 a obr. 59, jsou způsobeny parapetem a jeho stínem, který parapet vrhá na pracovní rovinu, protože parapet je výše než řešená pracovní rovina.

Tab. 2 – Činitel denní osvětlenosti v kontrolních bodech (1 m od stěny, v polovině místnosti)

Varianta	Činitel denní osvětlenosti v KB1	Normový požadavek	Činitel denní osvětlenosti v KB2	Normový požadavek	Průměrný činitel denní osvětlenosti	Normový požadavek	Splněny podmínky
	D_1 [%]	$D_{\min,1}$ [%]	D_2 [%]	$D_{\min,2}$ [%]	$D_{1,2}$ [%]	$D_{m,2}$ [%]	
VYT	2,27	0,7	2,06	0,7	2,16	0,9	ANO
ZAT0	1,41	0,7	1,29	0,7	1,35	0,9	ANO
ZAT30	0,79	0,7	0,70	0,7	0,75	0,9	NE
ZAT45	0,55	0,7	0,47	0,7	0,51	0,9	NE
ZAT90	0,27	0,7	0,24	0,7	0,26	0,9	NE
POLOZAT0	1,65	0,7	1,49	0,7	1,57	0,9	ANO
POLOZAT30	1,24	0,7	1,11	0,7	1,17	0,9	ANO
POLOZAT45	1,10	0,7	0,98	0,7	1,04	0,9	ANO
POLOZAT90	1,03	0,7	0,91	0,7	0,97	0,9	ANO

Varianty se všemi lamelami a s náklonem lamel 30° a více nesplňují normové požadavky na denní osvětlení, viz Tab. 2. To platí pro zataženou oblohu. Pokud ale nastane situace, kdy bude obloha zatažená, denní osvětlení může řešit vytažení části žaluzie.

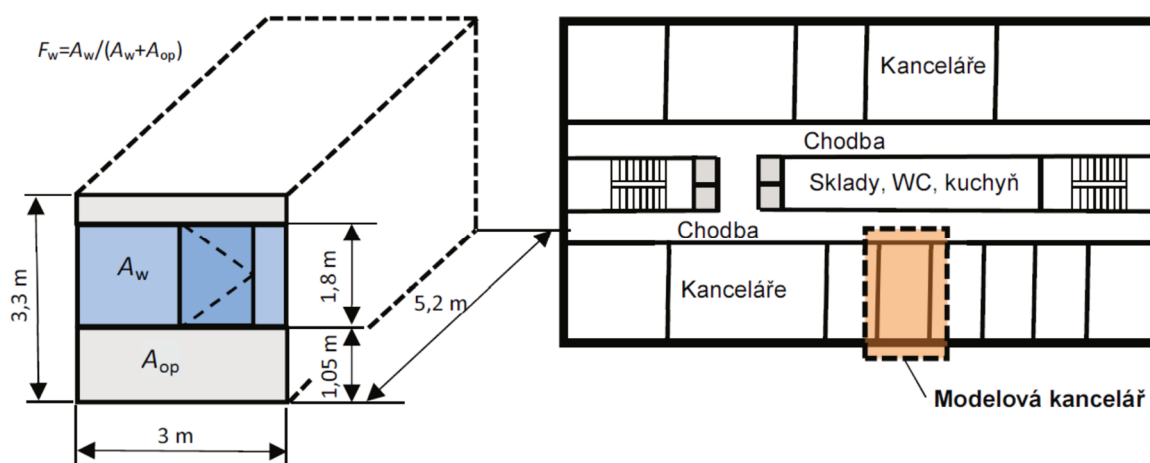
Zde je zahrnutý vliv umístěného nábytku. Normové požadavky neuvažují umístění nábytku a posouzení je tak na straně bezpečnosti.



5. Algoritmy pro ovládání žaluzií a jejich simulace

Simulace dopadů algoritmů stínění bude testována na samostatné kanceláři v modelové budově z kapitoly 2. na str. 28, která je schematicky vyobrazena na obr. 60.

5.1 Popis modelové kanceláře



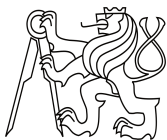
obr. 60 – Modelová místnost, zdroj [33]

Základní údaje:

Vnitřní rozměry:	3,0 x 5,2 x 3,3 m
Objem vnitřního vzduchu:	51,5 m ³
Podlahová plocha:	15,6 m ²
Orientace obvodové stěny:	Jihozápad
Podíl transparentní části v obvodové stěně:	$F_w = 0,5$

Stavební konstrukce vnější (obvodová stěna v kontaktu s vnějším prostředím):

Průsvitná část:	Součinitel prostupu tepla	$U_w = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	Energetická propustnost	$g = 0,3$
	Podíl rámu	15 %
Neprůsvitná část:	Součinitel prostupu tepla	$U_{\text{opaque}} = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Přirážka na tepelné vazby		$\Delta U = 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Celkem:	Součinitel prostupu tepla	$U_m = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	Celk. průvzdušnost obálky	$n_{50} = 0,6 \text{ 1/h}$



Stavební konstrukce vnitřní:

Příčky mezi kanceláři:

Panely na bázi dřeva tl. 100 mm, vylehčené vzduchovými dutinami.

Stěna do chodby:

Zdivo z keramických cihel 150 mm vylehčených vzduchovými dutinami.

Strop / podlaha:

Koberec 10 mm + železobetonová deska 300 mm + štuková omítka.

Technické systémy:

Systém větrání: Mechanické větrání

- Průtok vzduchu $30 \text{ m}^3/(\text{h.os})$ + konstantní ztrátový průtok $3 \text{ m}^3/\text{h}$.

- Účinnost ZZT 85 %.

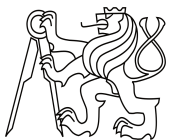
- Bypass aktivován, když $T_{ae} > 15 \text{ °C}$, bypass deaktivován, když $T_{ae} < 5 \text{ °C}$. Do větrací jednotky se přivádí vzduch o venkovní teplotě.

Systém vytápění: Požadovaná teplota 21 °C (teplota vnitřního vzduchu), výkon vytápění neomezený a okamžitě dostupný, předpokládá se výkon sdílený ze 100 % konvektivně.

Stínicí systém: Venkovní pohyblivý stínicí systém s individuálním ovládáním (motorizované žaluzie)

5.2 Vnější okrajové podmínky

Pro simulaci uvažovány stejné vnější okrajové podmínky jako pro model žaluzie v kapitole 3. Korekční činitel stínění pro pohyblivé systémy - jasná obloha nebo klimatická data z roku 2010 z meteorologické stanice Praha Libuš.



5.3 Předpoklady

Pro zabránění oslnění uživatelů jsou instalovány vnitřní žaluzie.

Stínění vlivem okolního horizontu není v simulačním modelu uvažováno.

Parametry průsvitné části vnější konstrukce jsou konstantní. Pomocí programu Window [34] bylo zkoumáno modelové okno o ploše 1,8 m² s hliníkovým rámem, zasklením z dvojskla a použitím žaluzie s kovovými lamelami. Výsledky ukázaly, že při uvažování letních okrajových podmínek se hodnota U_w měnila v řádech setin, takže použití žaluzií má zanedbatelný vliv na hodnotu součinitele prostupu tepla U_w . Podrobnosti viz *Příloha 1*.

Obsazenost: 1 uživatel, pracovní hodiny: 7:00-17:00 Po-Pá – kromě státních svátků a dovolené – první týden v březnu, poslední týden v červenci, první týden v srpnu, poslední týden v prosinci.

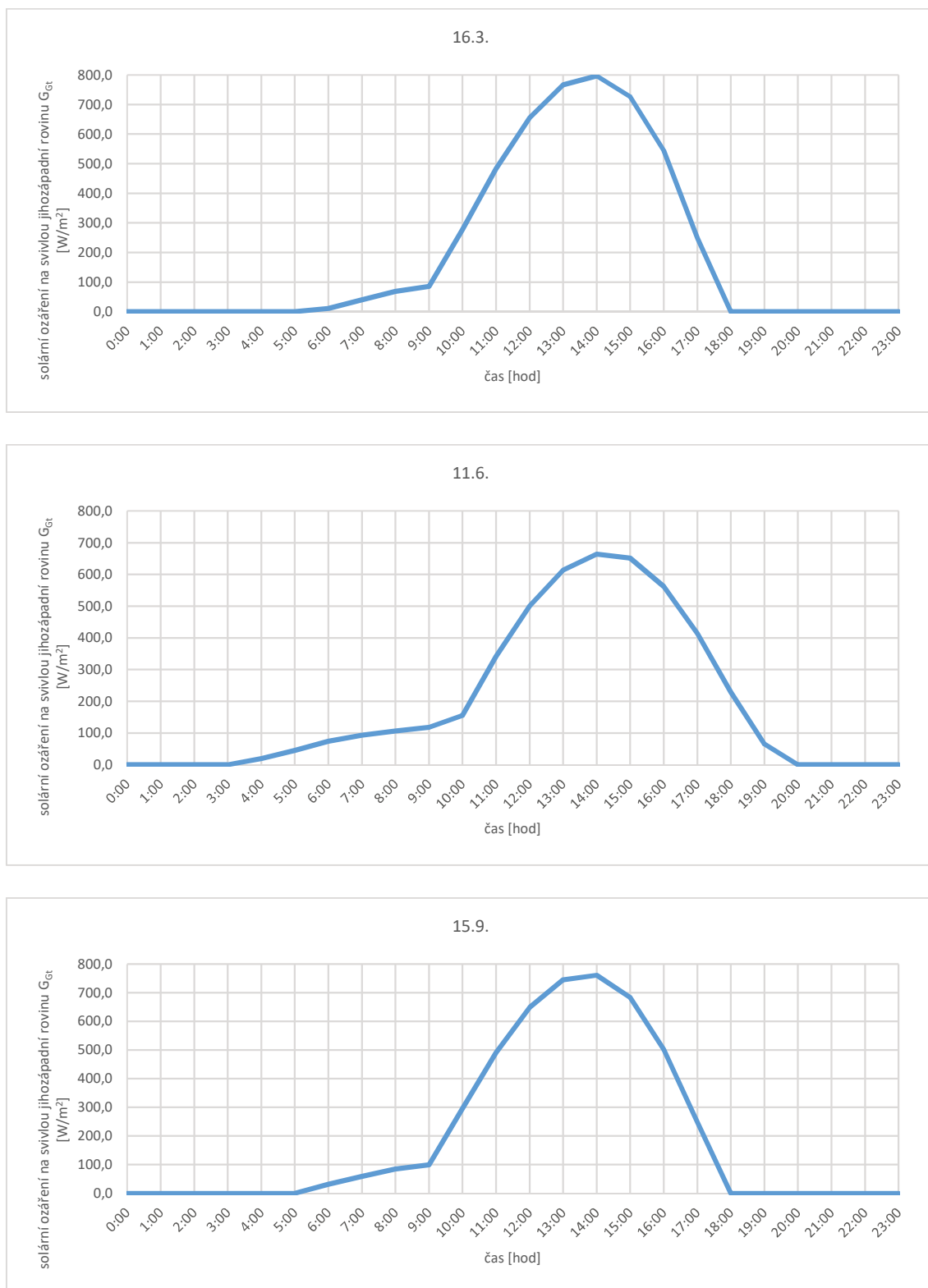
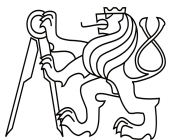
Změna zimního a letního času se projeví pouze v posunu obsazenosti – čas se mění pouze pro uživatele, ne pro teplotu, sluneční záření apod.

Vnitřní zisky – uživatel 75 W, PC+monitor 125 W v pracovních hodinách

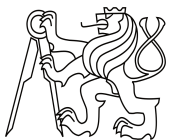
– elektrické spotřebiče ve stand-by režimu 25 W mimo pracovní hodiny

– zisky od osvětlení jsou zanedbány, většinu pracovní doby není v provozu

Přímá složka slunečního záření přichází na jihozápadní fasádu v 9-10 hodin dopoledne, resp. 10-11 hodin letního času, viz následující denní průběhy některých charakteristických dnů při modelu jasné oblohy [28], kde přímá složka slunečního záření způsobuje strmý růst v průběhu.

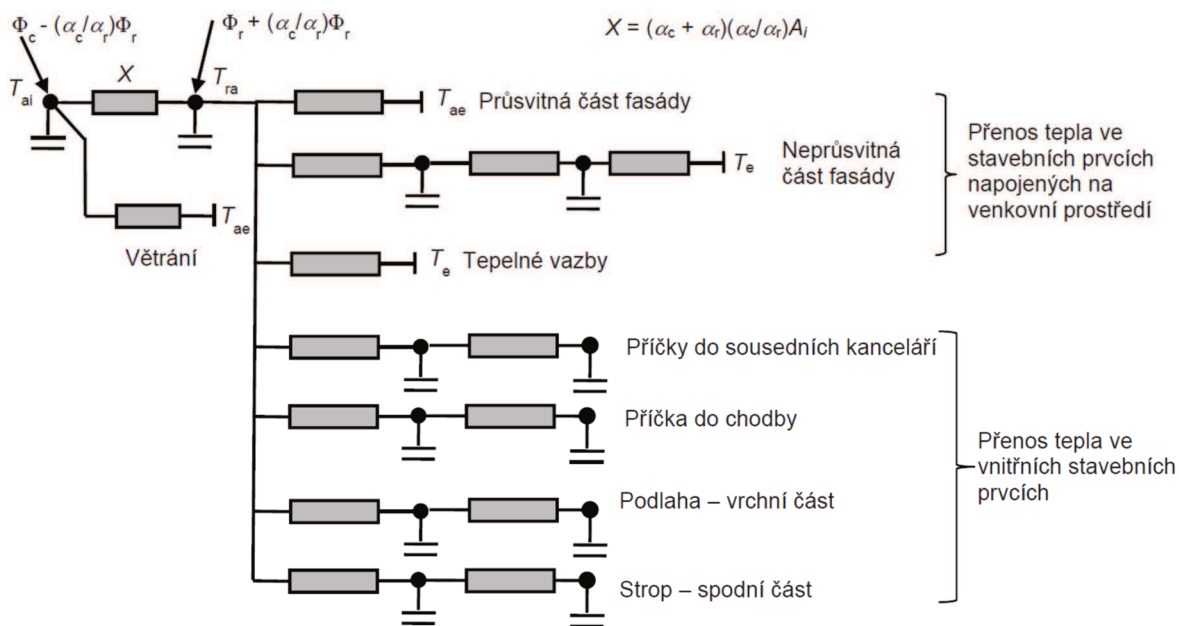


obr. 61 – Průběhy solárního ozáření na svislou jihozápadní rovinu ve vybraných charakteristických dnech, zdroj [28]



5.4 Výpočetní model

Pro výpočty je využit zjednodušený model, který vytvořil Ing. Pavel Kopecký. Model je schematicky zobrazený na následujícím obr. 62.

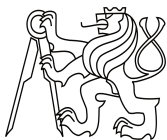


obr. 62 – RC schéma simulačního modelu, zdroj [33]

Přenos tepla přes stavební prvek je popsán dvěma uzly. Každý uzel v modelu představuje obyčejnou diferenciální rovnici prvního řádu, která vyjadřuje zákon zachování energie. Vzniká soustava obyčejných diferenciálních rovnic, k jejímuž řešení byl použit program Matlab [36]. Pro podrobnější popis viz *Příloha 2* nebo [33].

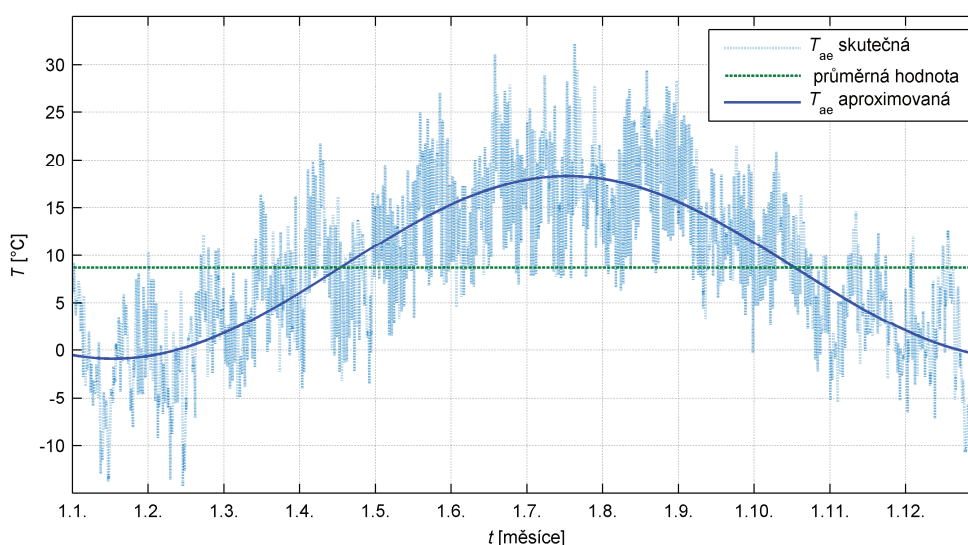
Pro prostup solárního záření přes stínicí prostředky jsou využity hodnoty korekčního činitele stínění F_{sh} z kapitoly 3.

Grafické zobrazení modelu viz *Příloha 3*.



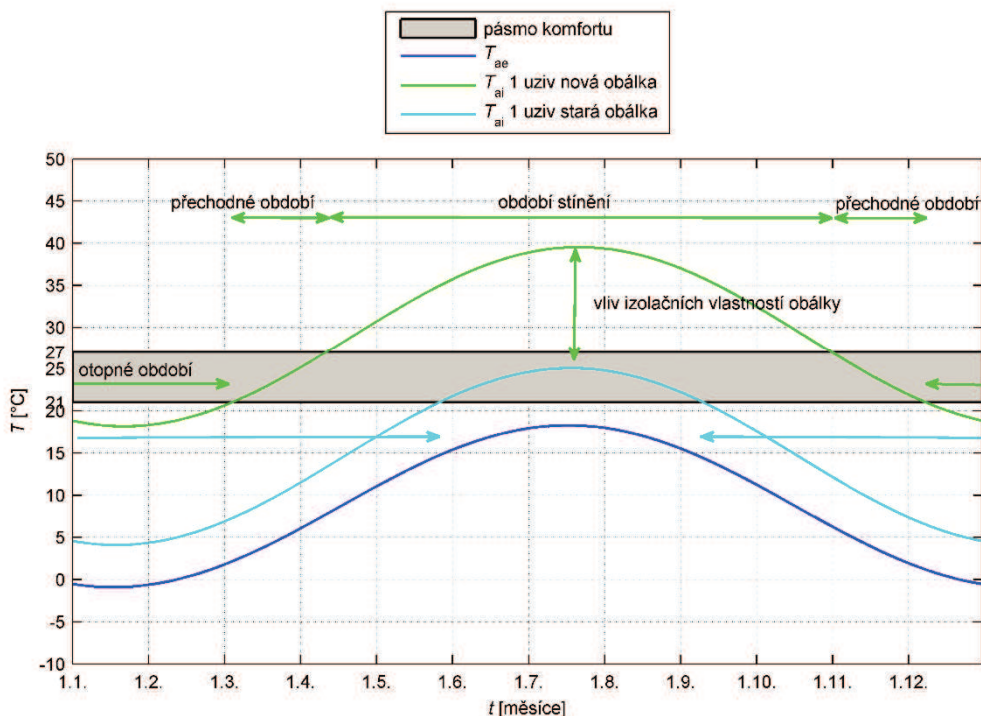
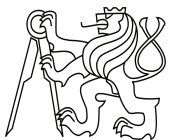
5.5 Počáteční úvaha

Nejprve je potřeba uvážit, co objekt potřebuje. Pokud nejsou uvažovány účinky technických systému – vytápění, chlazení, stínění nebo zvýšené větrání – průběh vnější teploty vzduchu (T_{ae}) a vnitřní teploty vzduchu (T_{ai}) pro různé případy odpovídá průběhům v grafech níže, viz obr. 63 až obr. 66, kde skutečný průběh je aproximován pomocí Fourierovy řady do 1 periody při zachování průměrné roční hodnoty.



obr. 63 – Počáteční úvaha – aproximace ročních průběhů

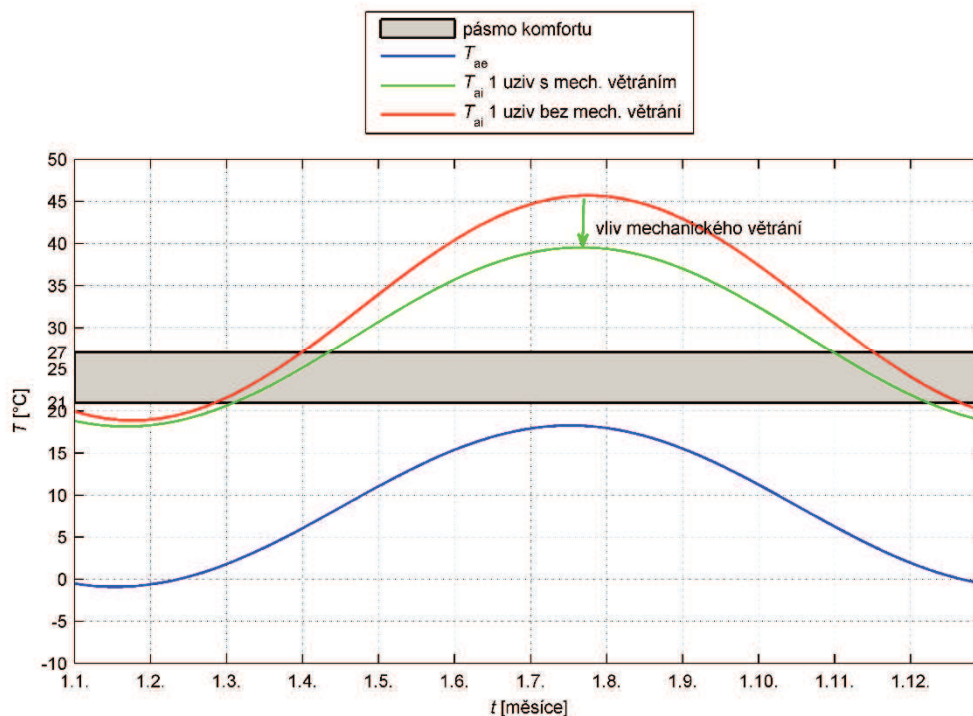
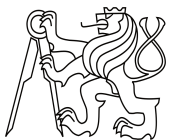
Riziko přehřívání zde opět hrozí při překročení horní hranice standardizovaného pásma tepelné pohody (komfortu) 21 – 27 °C. Pokud teplota vnitřního vzduchu přesahuje pásmo komfortu, je potřeba učinit vhodná opatření ke **snížení teploty vnitřního vzduchu** – chladit nebo zamezit účinkům jevu, které ho způsobily. Vyšší teplota vnitřního vzduchu je způsobena mnoha vlivy, ale především kombinací vysokých tepelných zisků (vnitřních i solárních) s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi obálky. Tepelné zisky vnitřní se příliš ovlivnit nedají, ale **vnější solární tepelné zisky lze odclonit – stínicími systémy**. Tepelně izolační vlastnosti jsou konstantní parametry, ty nelze měnit (zhoršit), ale lze **zvýšit tepelné ztráty – větráním**. To platí pro teplejší měsíce v roce. Pro ty chladnější měsíce v roce platí opačná strategie k dosažení teploty v pásmu komfortu a zvýšit teplotu vnitřního vzduchu – tepelným ziskům nebránit a tepelné ztráty omezit.



obr. 64 – Počáteční úvaha – vliv izolačních vlastností obálky

Pokud by obálka budovy měla horší izolační vlastnosti odpovídající starším objektům z poloviny minulého století, především průvzdušnost ($n_{50}=2,5$ 1/h) a tepelně-izolační schopnost ($U_m=3,0$ W/(m².K)), průběh teploty vnitřního vzduchu by se blížil více teplotě vnějšího vzduchu, viz obr. 64. To by pro letní měsíce mohlo být výhodnější, ale o to méně výhodné by to bylo pro měsíce zimní. Bylo by prodloužené otopné období a byla by mnohem vyšší potřeba tepla na vytápění.

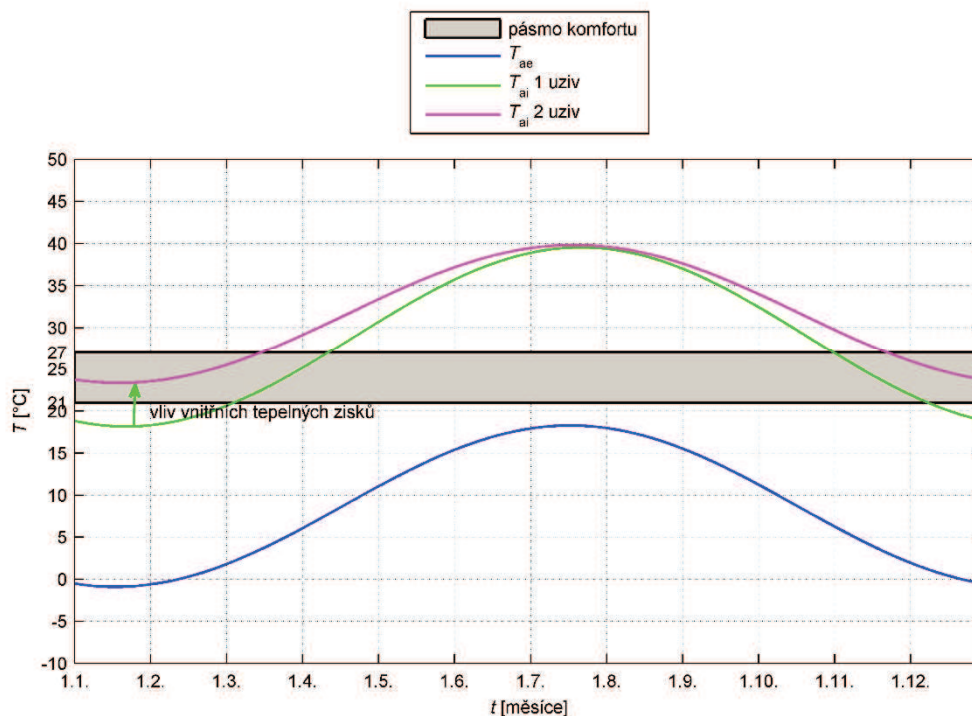
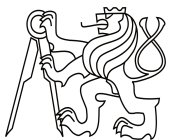
Čím lepší jsou izolační vlastnosti obálky, tím kratší je otopné období, ale tím bude pravděpodobně delší období, kdy teplota vnitřního vzduchu překročí únosnou mez a dům potřebuje naopak stínit nebo chladit pro snížení vnitřní teploty vzduchu. Dále nastávají období v roce, kdy teplota vnitřního vzduchu má optimální hodnoty ležící v pásmu komfortu bez jakýchkoli zásahů. Tato období ale bohužel nelze zcela přesně vymezit, protože jsou různá pro individuální případy podle vlastností obálky budovy, množství vnitřních tepelných zisků, velikosti a orientace prosklených ploch apod.



obr. 65 – Počáteční úvaha – vliv mechanického větrání

Větrání ke zvýšení tepelných ztrát skutečně pomáhá ke snížení vnitřní teploty vzduchu v kritických letních měsících. Samotné mechanické větrání pro přívod čerstvého vzduchu podle hygienických předpisů dokáže snížit teplotu vnitřního vzduchu v tomto modelovém případě až o 5 °C, viz obr. 65.

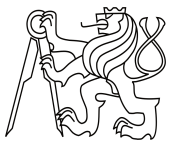
Ovšem větrání nebude účinné, pokud vnější teplota vzduchu se bude blížit té vnitřní nebo dokonce bude vyšší. Pak může nastat opačný účinek a nelze snížit vnitřní teplotu jinak než stíněním nebo strojním chlazením. Ale pokud se nasávání čerstvého vzduchu systému mechanického větrání nachází na neosluněné fasádě, není toto riziko tak velké.



obr. 66 – Počáteční úvaha – vliv vnitřních tepelných zisků

Vyšší vnitřní tepelné zisky spojené především s počtem uživatelů mají významnější vliv v zimních měsících, kdy napomáhají ke snížení potřeby tepla na vytápění. Ale v letních měsících jsou méně významné, protože vnější tepelné zisky jsou mnohokrát vyšší, viz obr. 66.

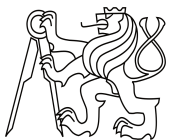
To ale platí u samostatných nebo sdružených kanceláří jako jsou v modelové budově. Záleží totiž na typu pracoviště, tedy počtu pracovníků a jejich činnosti, protože podle počtu pracovníků v místnosti jsou předepsané minimální podlahové plochy na 1 pracovníka, viz obr. 67. Čím je pracovníků v prostoru více, tím menší je předepsaná plocha na 1 pracovníka a tím je v prostoru více vnitřních tepelných zisků. Pak se může stát, že jsou vnitřní tepelné zisky významnější než solární tepelné zisky.



Tabulka Optimální plochy jednotlivých pracovišť

Druh pracoven	Počet pracovišť v pracovně	Předpokládané určení pracovišť pro	Optimální plocha m ² na 1 pracovníka
samostatné	1	ředitelské činnosti	26
	1	administrativní činnosti	13
	1	technické činnosti	17
sdružené	2	administrativní činnosti	10
	2	technické činnosti	13
společné	3 až 8	písařské	6
	3 až 8	administrativní	6
	3 až 8	kresličské	7
	3 až 8	technické	13
sálové	> 8	administrativní střední	6
	> 8	kresličské střední	7
	> 8	administrativní velké	5
	> 8	kresličské velké	6
	> 8	strojové velké	8
	> 8	technické velké	8
velkoprostorové	neurčen	všechny druhy činnosti s výjimkou ředitelské činnosti	5 až 17

obr. 67 – Optimální plochy na 1 pracovníka, zdroj [35]



5.6 Základní algoritmy ovládání stínicího systému

Pro zjištění dopadů ovládání stínicího systému na vnitřní prostředí jsou na modelové kanceláři simulovány základní běžně užívané způsoby ovládání:

Algoritmus 1 – 1. defaultní nastavení – bez stínění

Jedná se o 1. výchozí variantu, kdy veškeré solární tepelné zisky se dostanou do interiéru. Varianta žaluzie VYT (bez žaluzie, varianty viz kapitola 3.).

Algoritmus 2 – 2. defaultní nastavení – trvale zastíněno

Jedná se o 2. výchozí variantu, kdy veškeré solární tepelné zisky jsou odcloněny. Varianta žaluzie ZAT90 (všechny lamely, náklon 90°).

Algoritmus 3 – ovládání podle vnitřní teploty

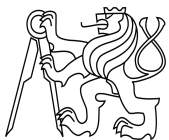
Žaluzie je uvedena do provozu, pokud vnitřní teplota vzduchu překročí 25°C. Pokud klesne pod 22 °C, žaluzie se vrátí zpět. V období od února do listopadu je využívána varianta žaluzie ZAT45 (všechny lamely, náklon 45°) a ve zbylých měsících jsou tepelné zisky vítány a je využita varianta žaluzie POLOZAT45 (část lamel, náklon 45°).

Algoritmus 4 – ovládání podle slunečního ozáření

Žaluzie je uvedena do provozu, pokud solární ozáření na svislou rovinu překročí 200 W/m². Pokud klesne pod 100 W/m², žaluzie se vrátí zpět. Opět v období od února do listopadu je využívána varianta žaluzie ZAT45 a ve zbylých měsících jsou tepelné zisky vítány a je využita varianta žaluzie POLOZAT45.

Algoritmus 5 – ovládání podle předepsaných pravidel – sezónní a časové nastavení bez zpětné vazby

Sezónní nastavení spočívá v předdefinování ročních období, resp. měsíců, kdy se žaluzie uvede do provozu a jestli bude zatažena celá nebo jen z části. Časové nastavení řeší to, aby fasáda byla stíněna ve dne, ale až od dopadu přímého slunečního světla, tedy mezi 9:00 a 18:00 (10:00-19:00 letního času).



V návaznosti na počáteční úvahu je nastaveno použití stínicí prostředků takto:

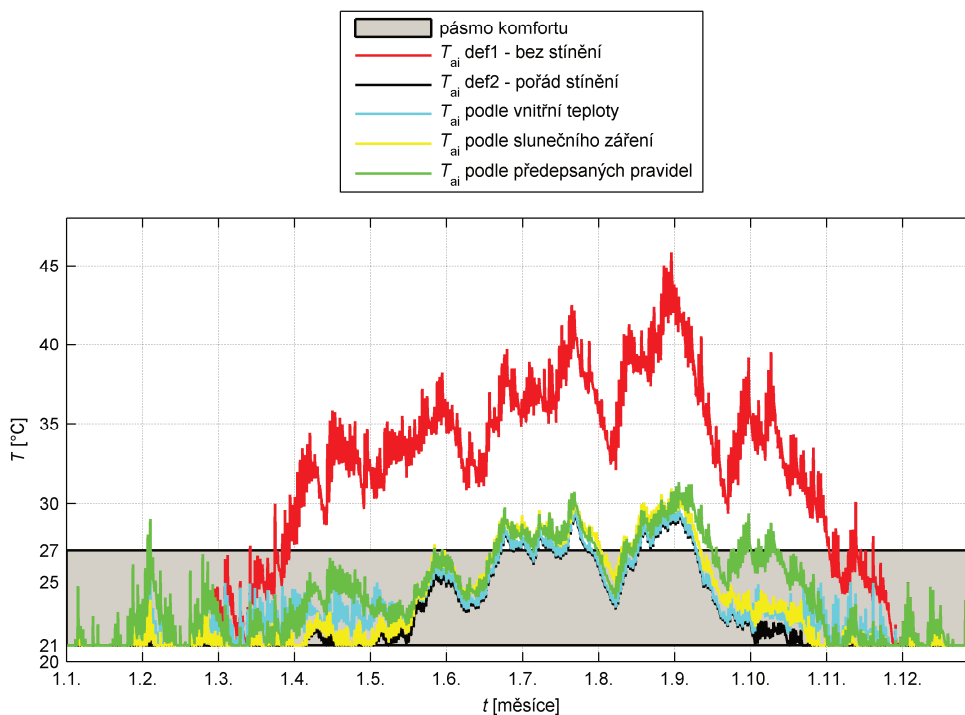
leden, únor	VYT
březen, duben	POLOZAT45
květen, červen, červenec, srpen	ZAT45
září, říjen, listopad	POLOZAT45
prosinec	VYT

Přechodná období mají tedy nastaveno zatažení stínicích prostředků, ale jen z části, aby solární tepelné zisky mohly být využity.

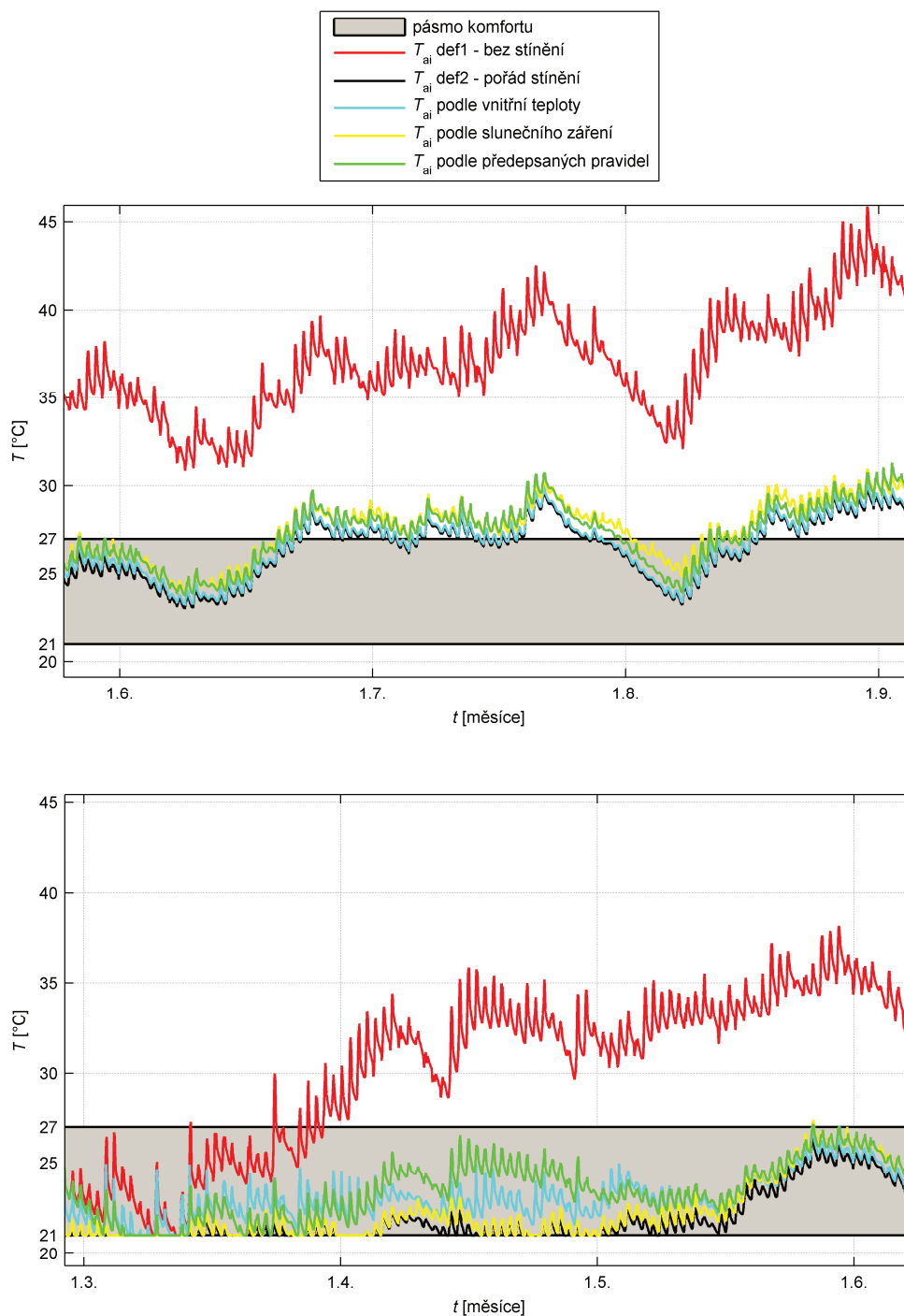
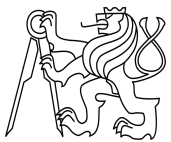
5.7 Dopady řízení žaluzií podle základních algoritmů

5.7.1 Vliv na teplotu vnitřního vzduchu a potřebu tepla na vytápění

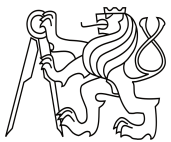
Modelová místnost je vytápěna a větrána, ale není chlazená.



obr. 68 – Porovnání průběhů teplot vnitřního vzduchu podle základních algoritmů stínění



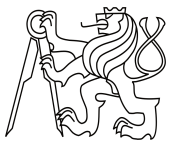
obr. 69 – Porovnání průběhů teplot vnitřního vzduchu v letním období a v jarním přechodovém období



Tab. 3 – Porovnání základních algoritmů stínění

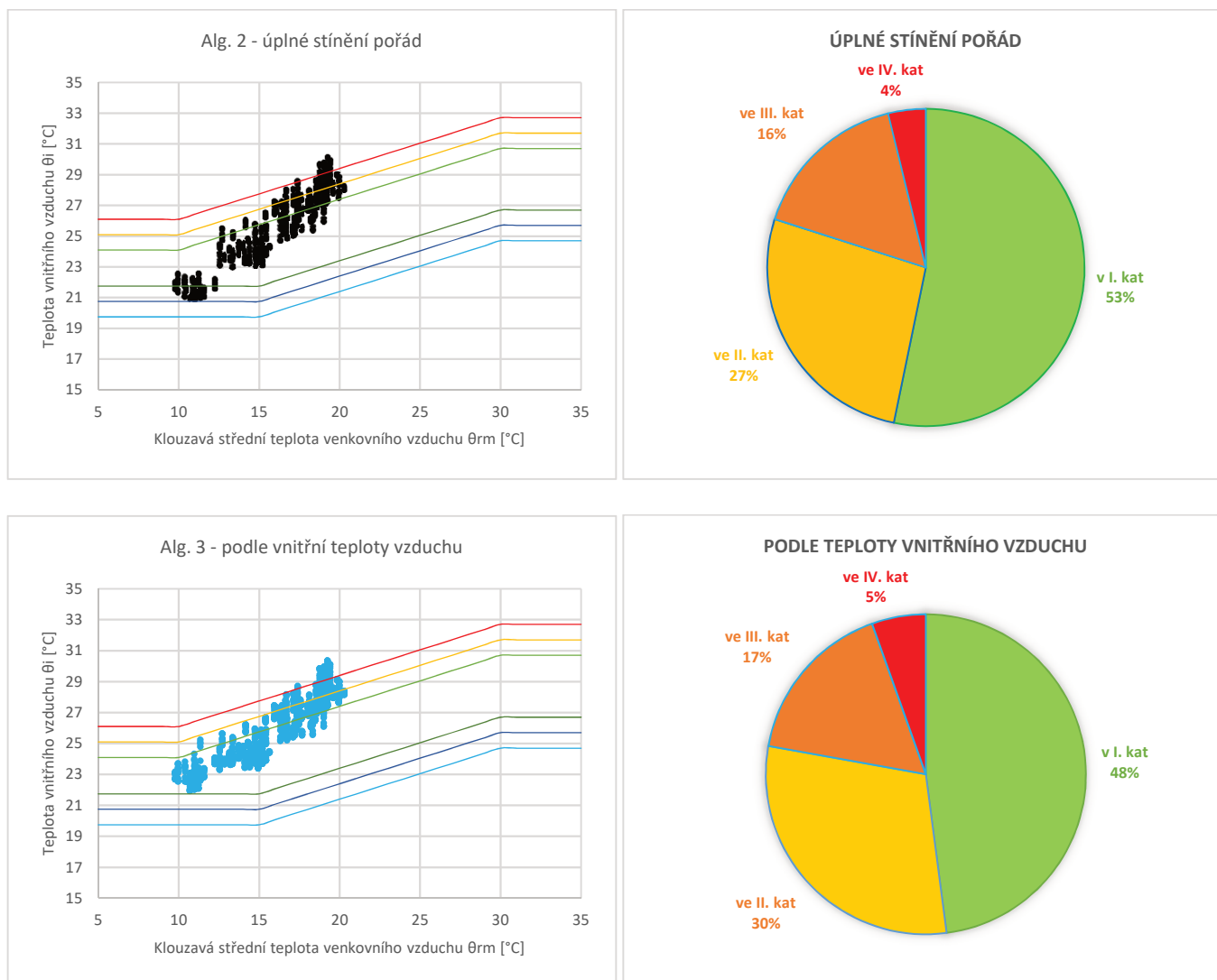
Algoritmus	1 – bez stínění	2 – trvale zastíněno	3 - podle teploty vnitřního vzduchu	4 - podle slunečního záření	5 - podle předepsaných pravidel
Maximální teplota T_{ai} [°C]	45,9	30,1	30,3	30,9	31,3
Počet hodin nad 27 °C / 29 °C	5279 / 5071	1267 / 127	1337 / 207	1738 / 556	1933 / 525
Roční potřeba tepla na vyt. q_H [kWh/(m².a)]	5,8	18,0	6,8	12,2	7,71

V kritických letních měsících se teploty chovají obdobně a není výrazný rozdíl v použití algoritmů, rozdíl ale vzniká v přechodných obdobích, viz obr. 68 a obr. 69. který se projevuje na potřebě tepla na vytápění, viz Tab. 3. Například u algoritmu 4 – podle slunečního záření, pokud je nastavena celý rok určitá hodnota pro uvedení žaluzie do činnosti, tak žaluzie stíní i když to není potřeba a ušlé solární zisky je potřeba kompenzovat vytápěním.



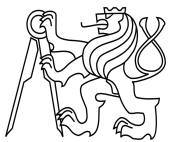
5.7.2 Vliv na tepelnou pohodu podle EN 15251 [8]

Výsledné operativní teploty vnitřního vzduchu pro řešené základní algoritmy stínění byly posouzeny adaptivním modelem tepelné pohody v pracovních hodinách, popsáním v kapitole 2.4.2 na str. 40. Období pro posouzení je zvoleno letní období, resp. období mimo otopnou sezónu, které je podle CIBSE TM52 [6] od 1.května do 30.září. Posouzení je zobrazeno graficky na obr. 70 obr. 71.



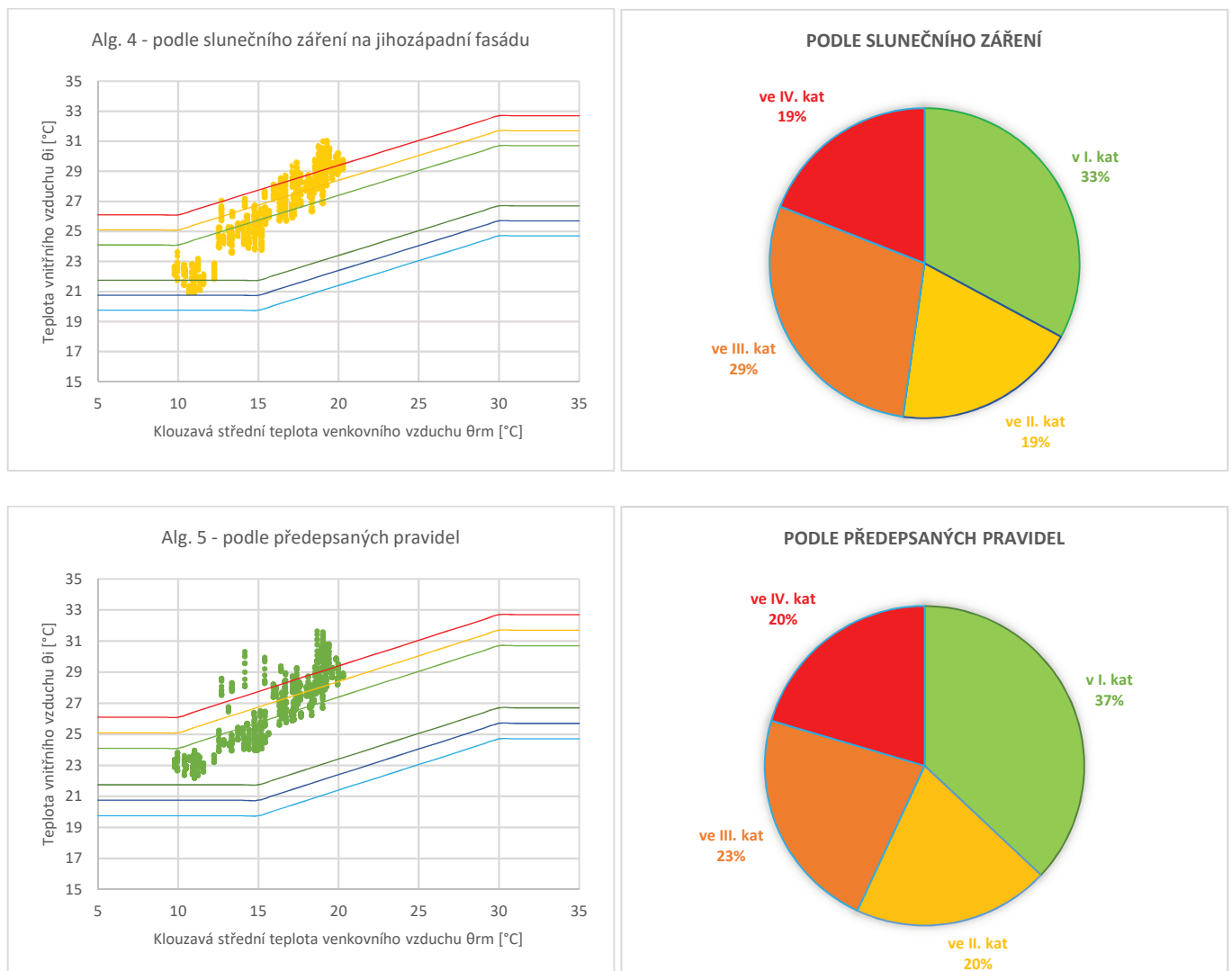
obr. 70 – Dílčí grafy adaptivního modelu algoritmů stínění 1

Podle adaptivního modelu má nejvíce příznivý vliv na komfort uživatelů ovládání podle vnitřní teploty vzduchu, zařazení do kategorií prostředí se nejvíce blíží



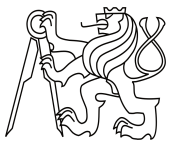
variantě úplného zastínění, viz obr. 70. I podle grafu na obr. 69 průběhy téměř splývají. Je to způsobeno tím, že požadovaná hodnota pro aktivaci stínění při ovládání podle vnitřní teploty je překročena většinu času, takže vlastně je stíněno téměř pořád.

Nelze ale stínit pořád kvůli zajištění denního osvětlení. A proto je zapotřebí v letním období řešit účinky jinak řízených algoritmů, aby kromě tepelné pohody byly zohledněna i světelná pohoda prostředí.



obr. 71 – Dílčí grafy adaptivního modelu algoritmů stínění 2

Pro vzájemné porovnání algoritmů se uváží délky období, kdy vnitřní tepelné podmínky odpovídají I. a II. kategorii prostředí, viz Tab. 4.



Tab. 4 – Porovnání tepelné pohody při užití jednotlivých algoritmů

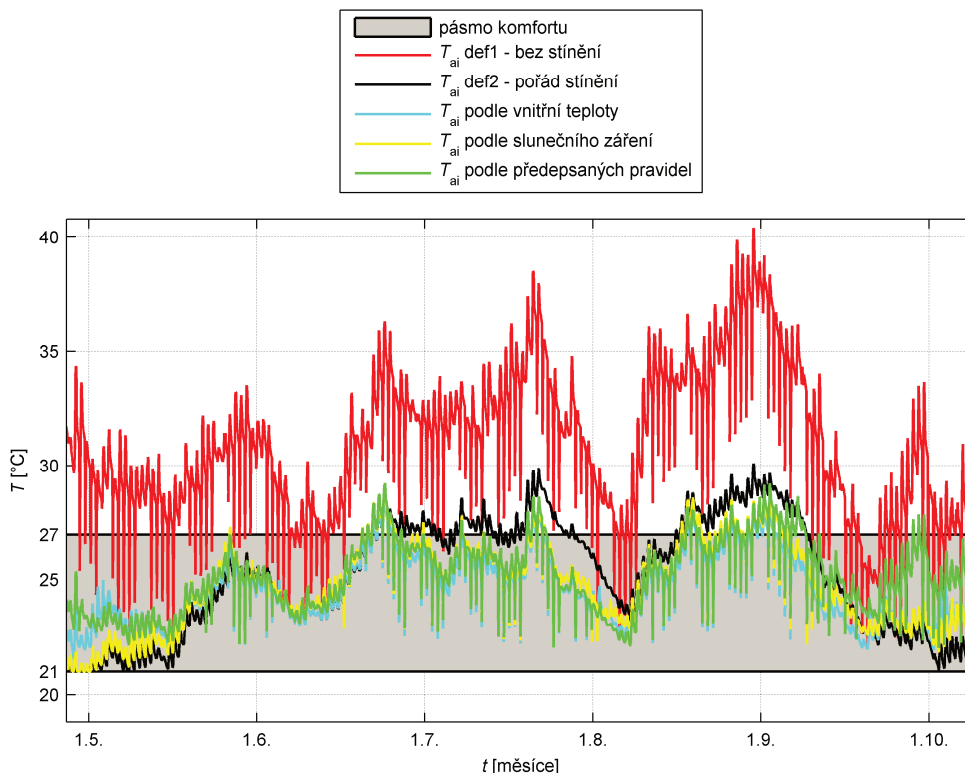
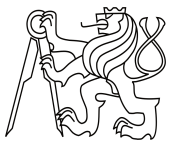
Algoritmus	1	2	3	4	5
Délka období v I. a II. kat [%]	0	80	78	52	57
Délka období v I. a II. kat [hod] (celkem 1281 hod)	0	1024	997	669	729

Z hlediska tepelné pohody jsou dopady algoritmů 4 - ovládání podle slunečního záření i 5 - ovládání podle předepsaných pravidel časového nastavení velmi podobné, viz obr. 71. Avšak při posouzení podle EN 15251 jsou algoritmy nevyhovující, norma totiž povoluje odchylku pro IV. kategorii do 5% [8]. Této hodnoty v tomto modelovém případě lze dosáhnout pouze při úplném zastínění.

U algoritmu 5 na obr. 71 se objevují dny, kdy teploty nepřirozeně vybočují nad hodnoty III. kategorie. Je to období 11.-14. září, kdy se skokově ochladilo. V září už žaluzie fungovaly jen do poloviny okna, tak se do interiéru dostávalo více tepelných zisků, které se mohly akumulovat ve stavebních konstrukcích. Uživatel by nejspíš tuto situaci řešil otevřením okna, to zde ale nebylo zohledněno.

5.7.3 Vliv zvýšeného ranního větrání okny

Do modelu bylo zavedeno zvýšené větrání, které představuje otevření okna uživatelem po příchodu do kanceláře. A to tak, že v období od začátku května do konce září je nastaveno množství přiváděného vzduchu 150 m³/h (odpovídá intenzitě výměny vzduchu 3 1/h) pokud je teplota vnitřního vzduchu vyšší než 25 °C. Větrání je nastaveno po dobu 3 hodin, tedy od 7:00 do 10:00 (8:00-11:00 letního času) nebo dokud teplota neklesne pod 22 °C. (Pozn. pro nebylo uvažováno pro algoritmus 2, když žaluzie brání větrání oknem.)

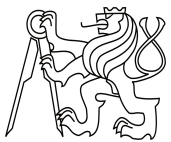


obr. 72 – Porovnání průběhů teplot vnitřního vzduchu v letním období při uvažování zvýšeného ranního větrání

Tab. 5 – Porovnání základních algoritmů stínění s uvažováním zvýšeného ranního větrání

Algoritmus	1	2	3	4	5
Maximální teplota T_{ai} [°C]	40,4	30,1	28,8	29,1	29,2
Počet hodin nad 27 °C / 29 °C	4798 / 3394	1267 / 127	289 / 0	509 / 2	560 / 9
Roční potřeba tepla na vyt. q_H [kWh/(m ² .a)]	5,8	18,0	6,8	12,2	7,8

Díky zvýšenému větrání otevřeným oknem se rapidně mění průběh teploty vnitřního vzduchu v kritických letních měsících v porovnání se stavem bez zvýšeného větrání, viz obr. 72 a Tab. 5. Potřeba tepla na vytápění zůstává stejná, protože tento efekt je uvažován mimo otopné období, ale pokud jde o potřebu tepla na chlazení, ta by

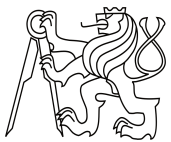


se výrazně redukovala, protože počet hodit nad 27 °C klesl na 1/4 - 1/3 oproti stavu bez zvýšeného větrání a i maximální teplota by poklesla až o 2 stupně.

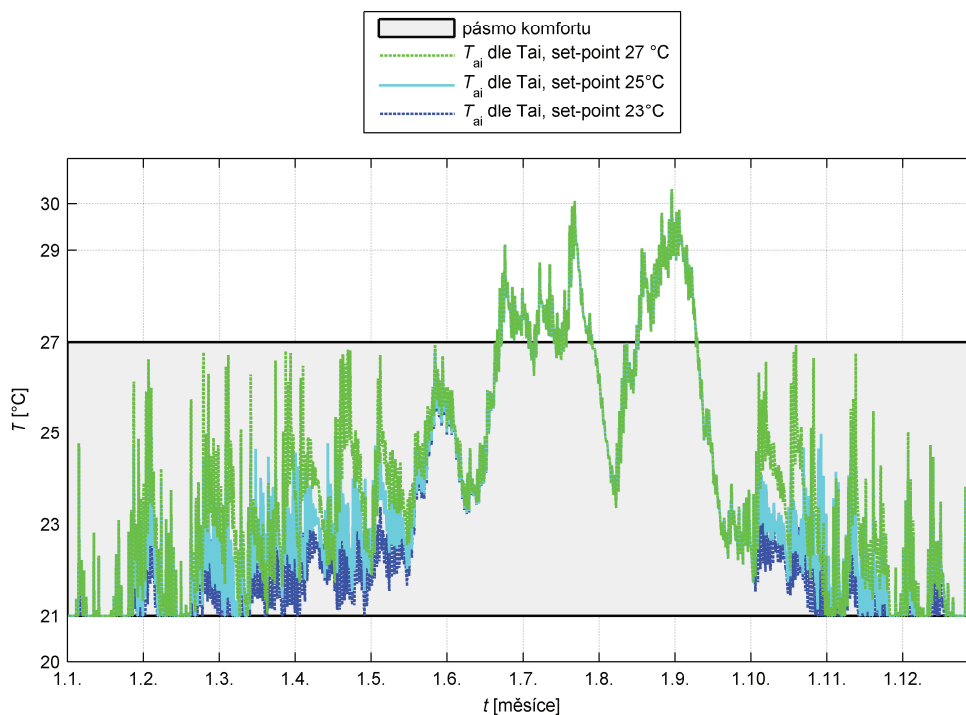


obr. 73 - Dílčí grafy adaptivního modelu algoritmů stínění 3 – s uvažováním zvýšeného větrání

Pokud dojde i přes veškeré snahy k vyšším teplotám vzduchu, uživatel i sám intuitivně bude mít potřebu s tím něco udělat a pokud má v kanceláři přístup k otevření okna, nejspíš ho otevře, protože zvýšené ranní větrání může být jediné řešení, jak teplotu vzduchu o pár stupňů snížit a zajistit si podmínky tepelné pohody, viz obr. 73.



5.7.4 Vliv nastavení požadované hodnoty (set-point) u algoritmů

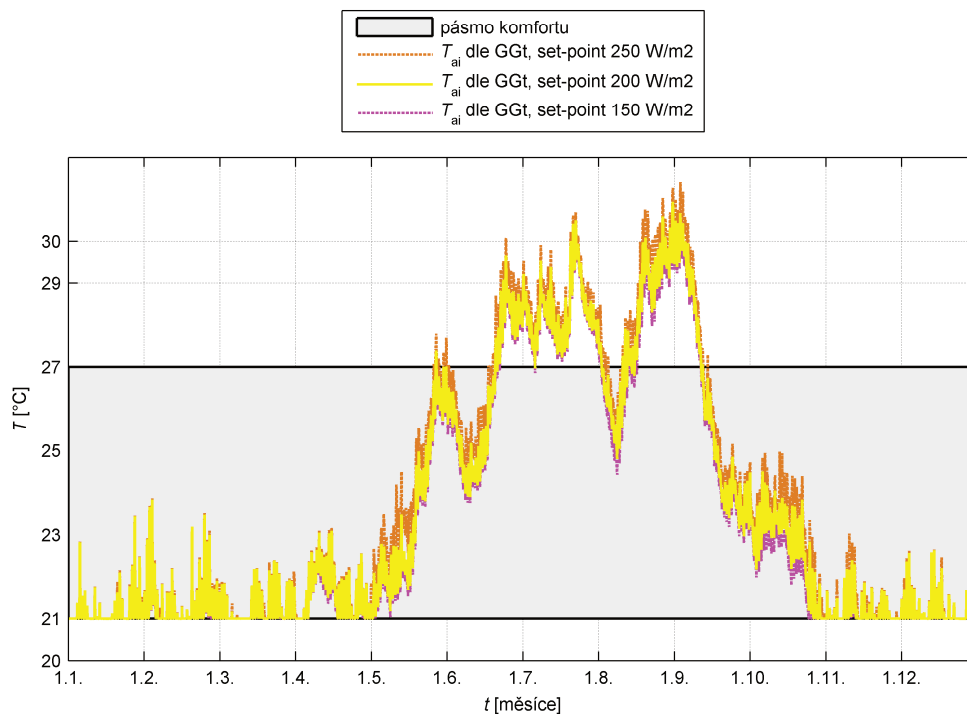
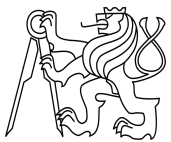


obr. 74 – Vliv nastavení požadované hodnoty při ovládání podle teploty vnitřního vzduchu

Tab. 6 – Vliv nastavení požadované hodnoty při ovládání podle vnitřní teploty vzduchu

Set-point	23 °C	25 °C	27 °C
Roční potřeba tepla na vyt. q_H [kWh/(m ² .a)]	8,27	6,77	6,37

Nastavení nemá vliv na letní období, viz obr. 74, počet hodin nad 27 °C ani maximální teplota vnitřního vzduchu se nemění, a tedy i potřeba tepla na chlazení by byla stále stejná, protože požadovaná hodnota pro aktivaci stínění je překročena téměř pořád a je tedy stíněno pořád. Nastavení požadované teploty se ale projevuje na nižší teploty v přechodných obdobích a také na potřebu tepla na vytápění, viz Tab. 6. Ovládání podle teploty vnitřního vzduchu je tedy rozhodující v přechodných obdobích kvůli redukci potřeby tepla na vytápění, protože při nižší teplotě aktivace stínění systému snáze teplota klesne pod teplotu nastavenou pro vytápění.

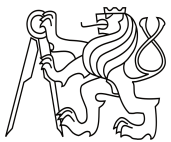


obr. 75 – Vliv nastavení požadované hodnoty při ovládání podle slunečního záření na svislou jihozápadní rovinu

Tab. 7 – Vliv nastavení požadované hodnoty při ovládání podle slunečního záření na svislou jihozápadní rovinu

Set-point	150 W/m ²	200 W/m ²	250 W/m ²	300 W/m ²
Maximální teplota T_{ai} [°C]	30,8	30,9	31,4	32,0
Počet hodin nad 27 °C / 29 °C	1662 / 458	1738 / 556	1875 / 741	2078 / 983
Roční potřeba tepla na vyt. q_H [kWh/(m ² .a)]	12,8	12,2	11,6	10,8

Ovládání podle slunečního záření už vliv na nejvyšší teploty v letním období má, viz obr. 75 a Tab. 7. Čím je vyšší nastavená hodnota pro uvedení žaluzie do provozu, tím déle se nechají solární zisky působit do interiéru, a tím více vzrůstá teplota



vnitřního vzduchu. Ovládání podle slunečního záření je tedy v letním období rozhodující kvůli redukci potřeby tepla na chlazení.

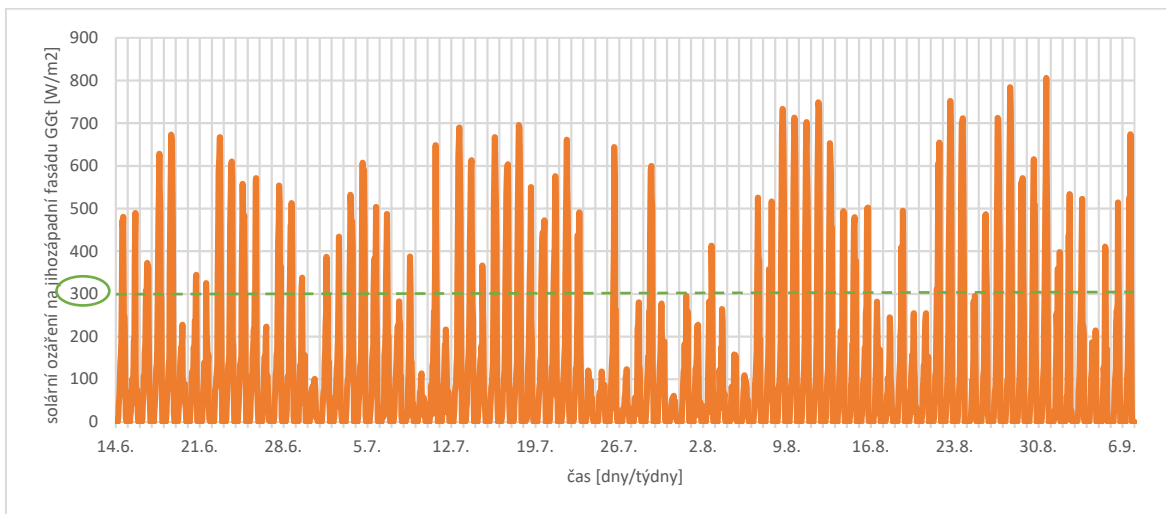
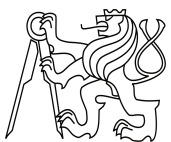
5.8 Výsledné rozšíření základních algoritmů

Ukazuje se, že jednoduché ovládání žaluzie na základě jednoho sledovaného parametru pro celý rok nestačí, protože pro teplotu vnitřního vzduchu v letním období je rozhodující ovládání podle slunečního záření a v přechodných obdobích ovládání podle teploty vnitřního vzduchu.

Vyvstává tak otázka, jak algoritmy vhodně zkombinovat, aby stínění zajistilo dostatečnou úroveň denního osvětlení a aby bylo energeticky efektivní, tzn. aby se minimalizovaly potřeba tepla na vytápění (resp. využily tepelné zisky, pokud jsou potřeba) i potřeba tepla na chlazení (resp. minimalizoval počet hodin nad 27 / 29 °C).

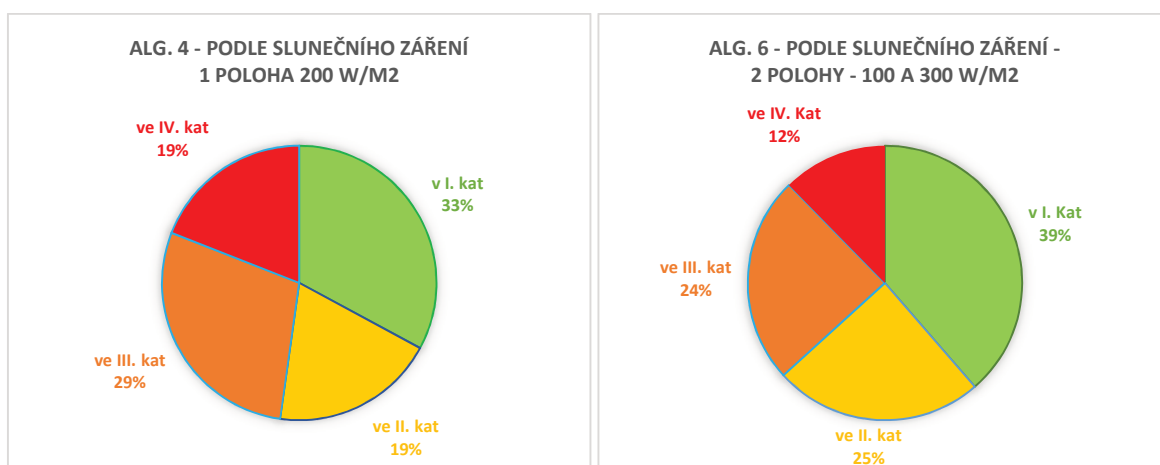
Při nastavení ovládání žaluzií nelze sledovat pouze teplotu vnitřního vzduchu, je důležité brát ohled i na denní osvětlení kanceláře. V kapitole 4. bylo zjištěno, že varianty nastavení žaluzie s použitím všech lamel (varianty ZAT_{xx}) při náklonu lamel 30° a více při zatažené obloze nespĺňují normové požadavky na denní osvětlení. Proto je potřeba zajistit detekci zatažené oblohy, při které by se žaluzie uvedla do takové polohy, aby kancelář byla dostatečně osvětlena (varianty POLOZAT_{xx}). Na obr. 76 je vidět, že při zataženém dni solární ozáření na jihozápadní fasádu G_{Gt} evidentně nepřesáhne 300 W/m² a tato hodnota tedy bude uvažována jako prahová pro nastavení plného zatažení žaluzie.

Při ovládání podle slunečního záření v letním období totiž mohou být zatažené dny bez použití žaluzie pro teplotu vnitřního vzduchu v některých případech i horší než ty jasné. Pokud je jasný den, rychle dosáhne sluneční záření prahové hodnoty pro zatažení žaluzie a žaluzie pak sluneční záření odcloňuje delší časový úsek. Pokud je zatažený den a sluneční záření nedosáhne prahové hodnoty, žaluzie není použita a veškeré tepelné zisky se dostanou do interiéru. Sice jde o menší intenzitu, ale po delší časový úsek.

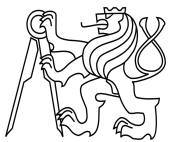


obr. 76 – Průběh solárního ozáření na svislou jihozápadní rovinu

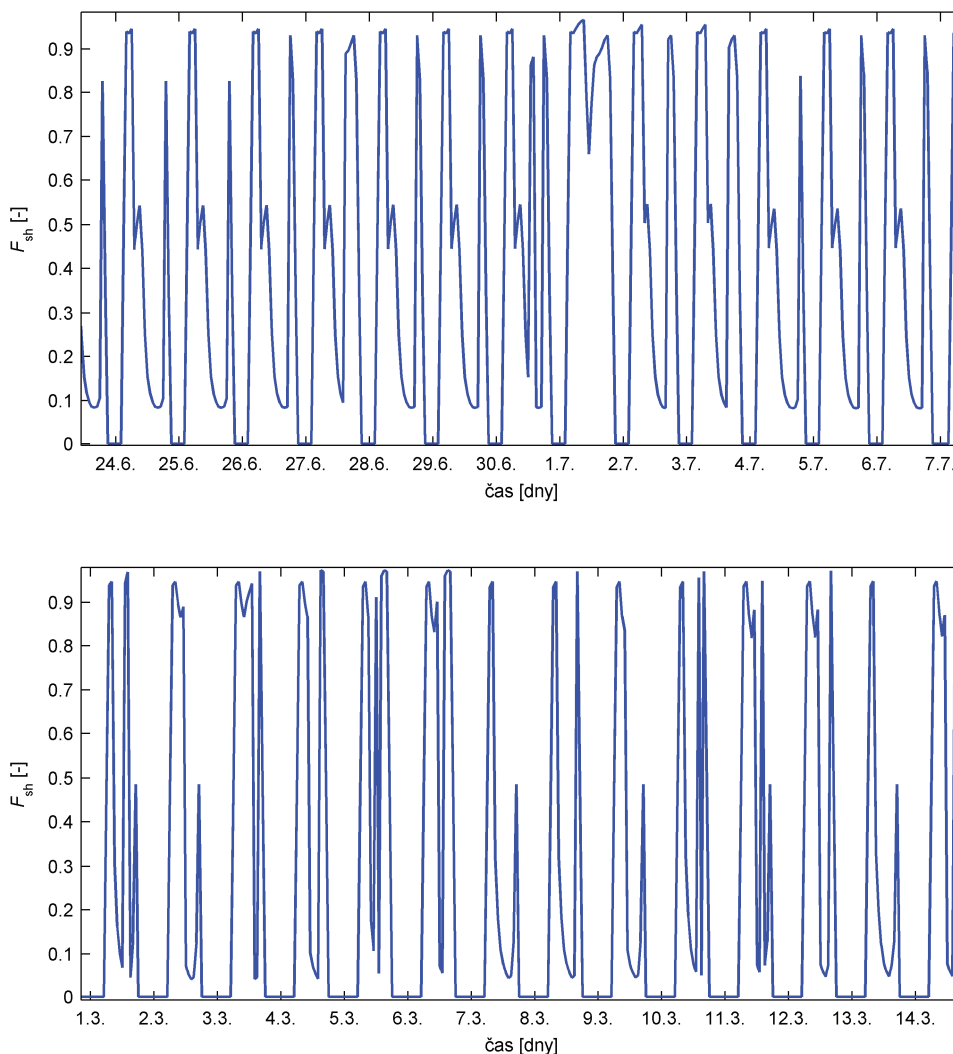
Aby při zatažených dnech bylo zajištěno denní osvětlení a zároveň bylo stíněno celý den, je upraven algoritmus 4 tak, aby po dosažení $G_{Gt} = 100 \text{ W/m}^2$ se žaluzie zataáhla do poloviny okna (varianta POLOZAT45) a poté po dosažení $G_{Gt} = 300 \text{ W/m}^2$ se žaluzie zataáhla celá (varianta ZAT45). Vzniká tak algoritmus 6. Ten pomůže světelné i tepelné pohodě, viz obr. 77, délka období v I. a II. kategorii se prodlouží z 52% na 64%. Také se redukuje počet hodin nad 27°C ze 1738 na 1613 a počet hodin nad 29°C z 556 na 410.



obr. 77 – Rozdíl v tepelné pohodě při použití 1 a 2 poloh zatažení žaluzie při ovládání podle slunečního záření

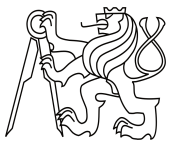


Najdou se ale dny, kdy G_{Gt} kolísá kolem 100 W/m^2 a vede to k cyklování pohybu žaluzie. V letním období to nastává ojediněle, na jaře však častěji, viz obr. 78, kde se cyklování projevuje skoky v účinnosti žaluzie.



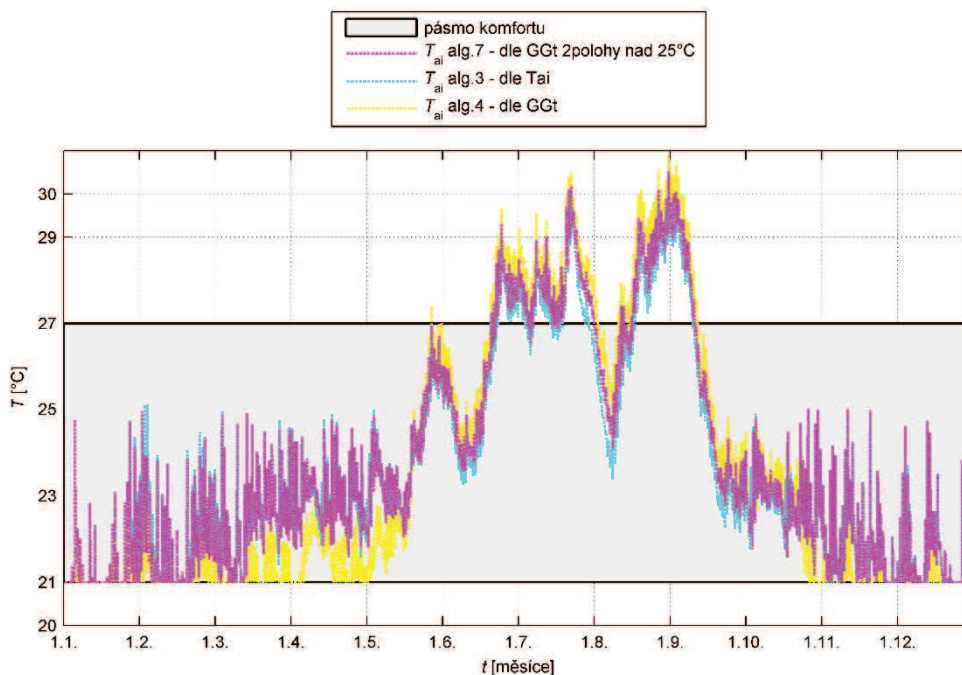
obr. 78 – Cyklování pohybu žaluzie projevující se na účinnosti

Tyto skoky v letním období lze eliminovat nastavením klouzavé prahové hodnoty solárního ozáření pro zatažení žaluzie. Pro aktivaci a deaktivaci žaluzie tak musí prahová hodnota nastat 2 hodiny po sobě. Na jaře ale sluneční záření ještě pomáhá tepelné bilanci, a tak ani není nutné, aby se žaluzie používala, pokud v interiéru není tak vysoká teplota



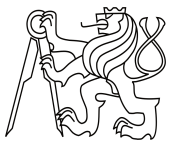
vnitřního vzduchu T_{ai} . Pokud je toto ovládání nastaveno i na jaře a na podzim, potřeba tepla na vytápění vyšplhá na $q_H = 15,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Vzniká tedy výsledný algoritmus 7, kde nastavení 2 poloh žaluzie je nadefinováno tak, aby začalo fungovat až když T_{ai} překračuje $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a přestalo fungovat, když T_{ai} klesne pod $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Tímto nastavením se redukuje potřeba tepla na vytápění na méně než polovinu oproti algoritmu 6 – $q_H = 7,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Kombinuje se tak výhoda algoritmu 3, který redukuje potřebu tepla na vytápění, a upraveného algoritmu 4, resp. algoritmu 6, který v maximální možné míře odstíní nežádoucí solární tepelné zisky v letním období a zároveň zajišťuje denní osvětlení, viz obr. 79.



obr. 79 – Průběh teploty vnitřního vzduchu výsledného algoritmu 7 v porovnání s výchozími základními algoritmy

Je vhodné, aby uživatel měl právo zatažení žaluzie ovládat i podle vlastních potřeb. Ale toto právo by se mělo omezit pouze na určitou dobu třeba několika hodin, po této době by se ovládání přeplo zpět do automatického režimu. Tento krátkodobý výpadek automatiky systému na simulaci nemá podstatný vliv.



5.9 Diskuse

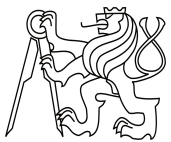
Zajištění denního osvětlení by se dalo ošetřit kombinací čidel s čidly osvětlení pracovní plochy, ale v kancelářských budovách je velký počet pracovních ploch a osazení takových čidel může být velmi nákladné. Možná by se dala určit jen některá kritická místa, ale během dne mohou být kritická místa jinde.

Stínění v zimě není uvažováno, ale použití žaluzie při chladné zimní noci a jasném ránu může zamezit vzniku jinovatky na vnější straně zasklení okna s použitím izolačního trojskla. Jde o povrchový jev a na tepelné bilanci se to neprojeví, protože použití žaluzie má zanedbatelný vliv na součinitel prostupu tepla okna U_w .

Zvýšené ranní větrání okny může snížit teplotu vnitřního vzduchu v letním období, lidé jsou ale různě citliví na vysoké teploty, takže by nebylo úplně správné s tímto pozitivním jevem vždy počítat, protože bez automatiky na otevírání oken nelze zaručit, že se tak uživatelé budou chovat. Navíc v kancelářích bývají položené na stolech papírové dokumenty a zvýšené větrání by je mohlo uvést do pohybu, což je nežádoucí.

Výsledky nejsou průkazné. Čísla jsou zatížena určitou chybou a nejsou přesná, protože do hry vstupuje celá řada proměnných, které jsou více či méně zanedbány. Obzvláště pro vysoké teploty je nepřesnost výsledných hodnot problematická. Přechod mezi tepelnou pohodou a nepohodou u vysokých teplot je ostrý a hlavně silně individuální. Záleží totiž na uživateli a jeho produkci metabolického tepla, kterou ovlivňují faktory jako věk, pohlaví, fyzická kondice apod. Pro někoho může být například 27 °C ještě přijatelné, pro druhého už ne.

V simulaci se u adaptivního modelu hodnocení klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pohybovala pod 20 °C. V kapitole 2.4.2 na str. 40 při reálném sledování modelové budovy se ale pohybovala až o 5 stupňů výše. Simulace pracuje s daty z roku 2010 a měření probíhalo v roce 2018. Takto se za 8 let počasí změnilo, letní období postupně teplejší a to výrazně. Takže je jasné, že problematika letního přehřívání letní tepelná stabilita určitě nabývá na významu.



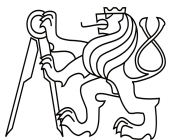
6. Závěr

V období od 15.5.2018 do 1.10.2018 bylo realizováno měření teplot vnitřního vzduchu ve vybraných modelových místnostech zvláště kancelářské budovy v Praze. U této modelové budovy byl současně vnějším kamerovým snímáním sledován provoz venkovního systému stínění s individuálním ovládáním a také byly zjišťovány souvislosti obsazenosti modelových kanceláří s provozem stínění pomocí dotazníků.

Ukazuje se, že individuální ovládání stínění nezajišťuje optimální podmínky vnitřního prostředí, protože stínění nemusí být správně používáno nebo není používáno vůbec, a tak teploty vnitřního vzduchu snadno překračují limity standardizovaného komfortního pásma. Většinou bylo komfortní pásmo překročeno i déle než polovinu sledovaného období, a to až už se jde o konzervativní prahovou hodnotu 27 °C nebo adaptivní tepelný model. To lze částečně omezit, pokud se využije automatizovaný dynamický systém stínění, který nepřetržitě reaguje na vnější podmínky, což není v silách uživatele.

Při sledování bylo také zjištěno, že v místnosti může být rozdílná teplota vnitřního vzduchu po délce místnosti, v modelovém případě to bylo v blízkosti okna v zákrytu až o 2 stupně více než v místě vzdáleném 3 m od okna. Z toho by se dalo soudit, že by se neměly pracovní plochy umisťovat v blízkosti okna, ale s tím nesouhlasí protichůdný požadavek zajištění denního osvětlení, proto musí být pro tyto požadavky hledán kompromis.

Dále se ukazuje, že ve středním traktu budovy (na chodbě) teplota vzduchu nepřekračuje komfortní hodnoty ani v nejteplejších letních dnech. Chodba tedy může pomoci kancelářím, pokud se nechají otevřené dveře, aby se realizovala výměna vzduchu mezi chodbou a kanceláří a teplota vzduchu v kanceláři se přiblížila teplotě vzduchu na chodbě. Chodba ale nesmí být příliš rušná, aby hluk neomezoval uživatele při práci. Hluk je spojen i s větráním pomocí oken, protože může přicházet také z vnějšího prostředí. Ale pokud je to možné, má větrání okny v ranních hodinách příznivý vliv na teplotu vnitřního vzduchu. Případné naakumulované teplo se tímto snadno odvětrá, protože v ranních hodinách jsou venkovní teploty nejnižší.

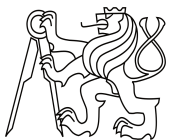


Stínění má velký potenciál na snížení teploty vnitřního vzduchu, protože brání průniku tepelné energie ze slunečního záření do interiéru, a právě tato energie je většinou hlavní příčinou zvyšování teploty vnitřního vzduchu. Stínění má ale mnoho aspektů, které ovlivňuje jeho účinnost. Mezi ty nejdůležitější patří orientace ke světovým stranám, roční období a konkrétně u žaluzie počet použitých lamel a jejich úhel natočení. A proto, že je účinnost velmi proměnná, je potřeba k tomu i tak přistupovat, protože poznatky o výši účinnosti stínění pro daný případ a v daném čase vedou ke správným návrhům.

Účinnost stínění má pár na první pohled paradoxních jevů. Například na jižní fasádě je žaluzie nejúčinnější, ale pouze při malých úhlech natočení lamel (do 30°). A dále na jižní fasádě je žaluzie v létě méně účinná než na jaře a na podzim. Je to dáno dopadajícím slunečním zářením, protože na jižně orientovaných fasádách dopadá v létě méně slunečního záření než na jaře a na podzim. Účinnost žaluzie má pak inverzní charakter k průběhu množství dopadajícího slunečního záření na fasádu. Žaluzie totiž propustí v určité poloze pouze určité množství slunečního záření a zbytek se odrazí. Z toho plyne, že čím více slunečního záření pak na žaluzii dopadne, tím více ho dokáže odstínit.

Při návrhu ovládání pohyblivého systému stínění je potřeba brát ohled i na denní osvětlení místnosti. Stínění nemá způsobit narušení dostatečné úrovně denního osvětlení. Kancelář modelové budovy byla namodelována ve výpočetním programu DIAL+, kde bylo zjišťováno denní osvětlení pomocí činitele denní osvětlenosti ve výšce 0,8 m nad zemí, a to v bodech rastru 20x20 dílků. Činitel denní osvětlenosti pak byl porovnán s normovými požadavky na minimální hodnoty ve 2 kontrolních bodech a na průměr těchto hodnot. Stínění celého okna s natočením lamel 30° a více v modelovém případě nevyhovuje těmto požadavkům. Pokud je ale zastíněna jen polovina okna, stínění vyhovuje při jakémkoli natočení lamel. Takže při zatažené obloze stačí v tomto modelovém případě vytáhnout žaluzii o poloviny okna pro zajištění denního osvětlení.

Pro testování účinků algoritmů stínění byla zvolena modelová kancelář sledované zvláštní kancelářské budovy v Praze, pro kterou existuje výpočetní model v programu Matlab. Před samotným testováním byly na modelu ukázány účinky faktorů, které mají vliv na zvýšení teploty vnitřního vzduchu. Pro snížení nadměrně vysokých vnitřních teplot je potřeba především zamezit účinkům jevů, které je způsobily – vysoké tepelné zisky a

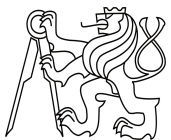


dobré tepelně-izolační vlastnosti obálky. Množství solárních tepelných zisků lze redukovat systémem stínění a dobré tepelně-izolační vlastnosti se mohou kompenzovat tepelnými ztrátami větráním (ovšem ne pokud teplota vnějšího vzduchu se blíží teplotě toho vnitřního).

Byly testovány účinky základních algoritmů ovládání dynamického stínění – ovládání podle teploty vnitřního vzduchu T_{ai} , podle solárního ozáření na jihozápadní fasádu G_{Gt} a podle předepsaných sezónních a časových pravidel. K tomu byly vytvořeny i 2 mantinelové algoritmy – bez použití stínění a úplné zastínění celý rok.

Pokud je u ovládání podle G_{Gt} nastavena celý rok jedna hodnota pro uvedení žaluzie do činnosti, tak žaluzie stíní i když to není potřeba a ušlé solární zisky je potřeba kompenzovat vytápěním. Ovládání podle T_{ai} potřebu tepla na vytápění redukuje, ale v letním období způsobuje nutnost úplného zastínění. Je to způsobeno tím, že požadovaná hodnota pro aktivaci stínění při ovládání podle vnitřní teploty je překročena většinu času, takže vlastně je stíněno téměř pořád. Algoritmus tak má sice velmi příznivý vliv na tepelnou pohodu, ale nelze stínit pořád kvůli zajištění denního osvětlení. A proto je zapotřebí v letním období řešit účinky jinak řízených algoritmů, aby kromě tepelné pohody byla zohledněna i světelná pohoda prostředí.

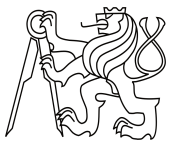
Pro zajištění optimálních podmínek vnitřního prostředí je tedy nutné ovládat stínicí systém podle více informací, které je potřeba vhodně zkombinovat. Stínicí systém by měl fungovat jen tu část roku, kdy teplota vnitřního vzduchu překračuje určitou hodnotu, a měl by reagovat na solární ozáření, které by měl maximálně odstínit. Takže by měl v letním období stínit pořád, ale méně v částech dne, kdy je solární ozáření nižší kvůli zajištění denního osvětlení. Vzniká tak výsledný algoritmus, který tyto aspekty postihuje. Protože varianty nastavení žaluzie s použitím všech lamel při náklonu lamel 30° a více nesplňují normové požadavky na denní osvětlení při zatažené obloze, je nutné detekovat zataženou oblohu. Ta je uvažována pro hodnoty ozáření na jihozápadní fasádu G_{Gt} do 300 W/m^2 , do té doby je nastaveno stínění zatažením žaluzie do poloviny okna s mírným náklonem lamel a po dosažení této hodnoty se nastaví úplné zatažení žaluzie s mírným náklonem. Stínění funguje pouze pokud T_{ai} je vyšší než 25°C a přestává fungovat, když T_{ai} klesne pod 22°C . Tato kombinace spojuje výhodu ovládání podle T_{ai} , které redukuje



potřebu tepla na vytápění a ovládání podle G_{Gt} , které v maximální možné míře odstíní nežádoucí solární tepelné zisky.

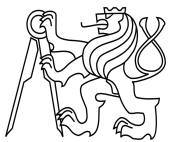
Doporučení pro další odbornou činnost:

- testování ovládání stínění podle předpovědi počasí
- hledání jednoznačné definice pro přehřívání, která není založena pouze na překročení prahové hodnoty statické povahy pro teplotu vnitřního vzduchu
- rozsáhlejší měřicí experimenty u kancelářských budov se zaměřením na chování uživatelů ve spojitosti se stíněním a větráním

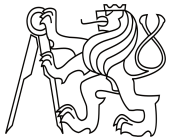


Seznam použité literatury

- [1] NIELSEN Maria Vraa, SVENDSEN Svend, JENSEN Lotte Bjerregaard. Quantifying the potential of automated dynamic solar shading office buildings through integrated simulations of energy and daylight. *Solar energy* [online]. Elsevier. 2011, **85**(5), stránky 757-768. ISSN 0038-092X. Dostupné prostřednictvím Science Direct. DOI:10.1016/j.solener.2011.01.010
- [2] EPBD 3. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/844, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti. místo neznámé : Úřední věstník Evropské unie L 156, 2018. S0075- 0091.
- [3] LOMAS Kevin J. & PORRITT Stephen M. Overheating in buildings: lessons from research. *Building Research & Information*. 2017, **45**(1-2) stránky 1-18. ISSN: 0961-3218 (Print) 1466-4321 (Online). Dostupné prostřednictvím Taylor & Francis Online. DOI:10.1080/09613218.2017.1256136
- [4] chytře-bydlení.cz [online]. 2012 [cit. 26.11.2018]. Dostupné z:
<http://www.chytře-bydlení.cz/umíte-v-lete-spravne-vetrat>
- [5] CIBSE Guide A, Environmental design. 2015.
- [6] CIBSE TM52, The limits of thermal comfort: avoiding overheating in European Buildings. 2013.
- [7] ANSI/ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2017.
- [8] ČSN EN 15251, Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. 2011.
- [9] KONSTANTOGLU Maria, TSANGRASSOULIS Aris. Dynamic operation of daylighting and shading systems: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier. 2016, **60**, stránky 268–283. ISSN 1364-0321. Dostupné prostřednictvím Science Direct. DOI:10.1016/j.rser.2015.12.246
- [10] archdesign.cz [online]. [cit. 29.11.2018]. Dostupné z: <http://www.archdesign.cz/projekty/skolstvi/ceska-zemedelska-univerzita-praze-mezifakultni-centrum-environmentalnich-ved-2-cast/>
- [11] LLENTAB GROUP [online]. [cit. 29.11.2018]. Dostupné z: <https://www.llentab.cz/reference/8435-carmina>
- [12] TZB-info [online]. 2012 [cit 29.11.2018]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/9235-leedri-ceskych-ekologickych-staveb-ii>
- [13] IG group, s.r.o. [online]. [cit. 29.11.2018]. Dostupné z:
<http://www.iggroup.cz/dokumenty/?category=protislunecni-clony-venkovni-markyzy-fasadove-a-sklopne-markyzy>
-



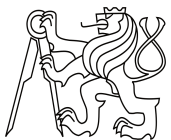
- [14] Stavby v MS kraji [online]. 2014 [cit. 29.11.2018]. Dostupné z:
<https://www.msstavby.cz/administrativni-budova-havirov-29-08-2014/>
- [15] SAMEZALUZIE.CZ s.r.o. [online]. [cit 29.11.2018]. Dostupné z:
<https://www.samezaluzie.cz/venkovni/bezpecnostni-rolety/>
- [16] archiweb.cz [online]. 2018 [cit. 29.11.2018]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/en/n/press/nejvetsi-vertikalni-zahradou-ve-stredni-evrope-je-nova-futuristicka-budova-afi-karlin>
- [17] MOHELNÍKOVÁ Jitka, Fakulta stavební VUT Brno. Fasádní zasklení s dynamickou regulací prostupu slunečního záření. *Vytápění, větrání, instalace*. 2006, **15**(5), stránky 233-236. ISSN 1210-1389
- [18] writeopinions.com [online]. [cit. 29.11.2019]. Dostupné z:
<http://www.writeopinions.com/electrochromic>
- [19] Informace a ilustrace poskytl Josef Matoušek ze společnosti TYMO Soběslav, spol. s.r.o. (pobočka CLIMAX, a.s.) a Ing. Jiří Veselý, Project Manager ve společnosti SOMFY, spol. s.r.o.
- [20] Mapy.cz [online]. [cit.29.11.2019]. Dostupné z:
<https://mapy.cz/zakladni?x=14.3881101&y=50.1041613&z=17&source=base&id=1835015>
- [21] stavbaweb.dumabyt.cz [online]. 2013 [cit 29.11.2018], Dostupné z:
<https://stavbaweb.dumabyt.cz/skanska-pod-drobnohledem-profesor-uspsn-dokonila-rekonstrukci-vut-10264/clanek.html>
- [22] TYWONIAK Jan, Přednášky předmětu Systémy budov (125SYBU). ZS 2017/2018. Fakulta stavební ČVUT v Praze
- [23] UCEEB, ČVUT v Praze [online]. [cit. 29.11.2018]. Dostupné z:
<http://meteo.uceeb.cvut.cz:5001/index.html>
- [24] MALYS Laurent, MUSY Marjorie and INARD Christian. Direct and Indirect Impacts of Vegetation on Building Comfort: A Comparative Study of Lawns, GreenWalls and Green Roofs. *Energies* [online]. 2016, **9**(32), strana 6. ISSN 1996-1073. Dostupné prostřednictvím MDPI. DOI:10.3390/en9010032
- [25] ČSN EN ISO 52016-1: Energetická náročnost budov – Energie potřebná pro vytápění a chlazení vnitřních prostor a citelné a latentní tepelné zatížení – Část 1: Postupy výpočtu. 2018
- [26] NASROLLAHI Nazanin, SHOKRI Elham. Daylight illuminance in urban environments for visual comfort and energy performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier. 2016, **66**, stránky 861-874. ISSN 1364-0321. Dostupné prostřednictvím Science Direct. DOI:10.1016/j.rser.2016.08.052
-



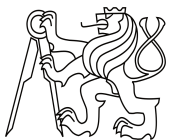
- [27] STANĚK Kamil, Model žaluzie a kód pro výpočet korekčního činitele stínění F_{sh} vytvořený v programu Matlab [software]
- [28] STANĚK Kamil, Solar_CS – pomůcka vytvořená v tabulkovém procesoru MS Excel
- [29] ČSN 73 0580-1: Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky. 2007
- [30] ČSN 73 0580-2: Denní osvětlení budov – Část 2: Denní osvětlení obytných budov. 2007
- [31] KAŇKA Jan, Poznámka k přesnosti měření činitele denní osvětlenosti. tzb-info.cz [online]. 2010. [cit. 21.11.2018]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/6309-poznamka-k-presnosti-mereni-cinitele-denni-osvetlenosti>
- [32] venticool.eu [online]. *Ventilative cooling: need, potential, challenges, strategies*. 2013. [cit. 8.12.2018]. ISBN 2-930471-38-7. Dostupné z: https://venticool.eu/files/venticool_AIVC_v03_TOC.pdf
- [33] KOPECKÝ Pavel, SOJKOVÁ Kateřina, O přiměřeném podílu prosklení obálky administrativních budov. *Vytápění, větrání, instalace*. 2018, 27 (3), stránky 144-152. ISSN 1210-1389
- [34] WINDOWS & DAYLIGHTING. Window [software]. Dostupné z: <https://windows.lbl.gov/>
- [35] ČSN 73 5305: Administrativní budovy a prostory. 2005
- [36] MATHWORKS. *Matlab* [software]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/>

Seznam ilustrací

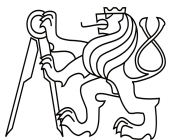
obr. 1 – Pevná clona v kombinaci s fotovoltaickými panely – Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita – Praha Suchbát, zdroj [10]	14
obr. 2 – Slunolamy – CARMINA – Praha Uhřetěves, zdroj [11].....	15
obr. 3 – Vertikální stínící stěny (a žaluzie) – VIG administrativní budova – Praha Karlín, zdroj [12]	15
obr. 4 – Markýzy – sklopné (nahore), svislé (dole), zdroj [13]	16
obr. 5 – Žaluzie – administrativní budova Havířov, zdroj [14]	17
obr. 6 – Rolety kovové (klasické), zdroj [15].....	17
obr. 7 – Screenové rolety – AFI Karlín – Praha Karlín, zdroj [16]	18
obr. 8 – Detail screenových rolet – TYMO Soběslav (foceno 31.8.2018)	18
obr. 9 – Elektrochromní zasklení, zdroj [18].....	19
obr. 10 – Prvky žaluzie.....	20
obr. 11 – Schéma řízení stínících prvků	21
obr. 12 – Venkovní čidla – větrná čidla, teplotní čidlo, dešťové čidlo, sluneční čidla, skříň vnějších čidel	24
obr. 13 – Hřibové čidlo 10x10 cm.....	24



obr. 14 – Širší vztahy 1, zdroj [20].....	28
obr. 15 – Širší vztahy 2, zdroj [20].....	28
obr. 16 – Jihozápadní fasáda budovy A Fakulty stavební ČVUT v Praze a charakteristický výsek obvodového pláště, zdroj [21] a [22].....	29
obr. 17 – Půdorys 4.NP vybaveného systémem mechanického větrání, zdroj [22].....	30
obr. 18 – Půdorys sledovaných místností	30
obr. 19 – Srovnání údajů na datalogrech	31
obr. 20 – Umístění dataloggerů	31
obr. 21 – Ukázka vyplňovaných dotazníků	32
obr. 22 – Meteostanice UCEEB, zdroj [23].....	32
obr. 23 – Vnější okrajové podmínky z meteostanice, zdroj [23]	33
obr. 24 – Časosběrná kamera.....	34
obr. 25 – Příklady výstupních snímků z časosběrné kamery	35
obr. 26 – Výsledky měření v A431.....	36
obr. 27 – Srovnání více užívané kanceláře ve 4. NP (A431) a méně užívané kanceláře v 5.NP (A528).....	37
obr. 28 – Rozdíl teplot větracího vzduchu.....	38
obr. 29 – Rozdíl polohy teplotního čidla	38
obr. 30 – Statistické posouzení vlivu žaluzií	39
obr. 31 – Kategorie vnitřního prostředí a rozsahy jejich operativních teplot, zdroj [24].....	41
obr. 32 – Zvýšení horního limitu operativní teploty [8].....	42
obr. 33 – Dílčí grafy adaptivního modelu měření 1.....	43
obr. 34 – Dílčí grafy adaptivního modelu měření 2.....	44
obr. 35 – Dílčí grafy adaptivního modelu měření 3.....	45
obr. 36 – Míra využití žaluzií ve 4.NP a 5.NP.....	46
obr. 37 – Varianta 1 – VYT.....	49
obr. 38 – Varianta 2 – ZAT0	49
obr. 39 – Varianta 3 – ZAT30 / ZAT45.....	50
obr. 40 – Varianta 4 – ZAT90	50
obr. 41 – Varianta 5 – POLOZAT0.....	51
obr. 42 – Varianta 6 – POLOZAT30 / POLOZAT45.....	51
obr. 43 – Varianta 7 – POLOZAT90.....	52
obr. 44 – Schématické zobrazení variant.....	52
obr. 45 – Perez model, zdroj [26]	53
obr. 46 – Korekční činitel stínění podle orientace – při jasné obloze.....	54
obr. 47 – Měsíční úhrny solární ozáření na svislou rovinu podle orientace – při jasné obloze (v České republice), zdroj [28].....	54



obr. 48 – Porovnání účinností žaluzie během roku na jihozápadní fasádě s použitím všech lamel (vlevo) a použití 2/3 lamel (vpravo) – při jasné obloze	55
obr. 49 – Žaluzie a výška Slunce	56
obr. 50 – Rozdíl v uvažování jasné oblohy a použití klimatických dat z meteostanice (Praha Libuš, 2010)	56
obr. 51 – Porovnání účinnosti žaluzie na jihozápadní fasádě během dne – letní a zimní slunovrat – při jasné obloze	57
obr. 52 – Definice činitele denní osvětlenosti, zdroj [31]	58
obr. 53 – Model v programu DIAL+	59
obr. 54 – Report modelu v programu DIAL+	60
obr. 55 – Varianty nastavení žaluzií v programu DIAL+	61
obr. 56 – Získaná rozložení činitele denní osvětlenosti – varianta zat0 (rastr 20x20 dílků, DF=daylight factor, resp. D – činitel denní osvětlenosti)	62
obr. 57 – Kontrolní body pro činitele denní osvětlenosti	62
obr. 58 – Průběh činitele denní osvětlenosti 1m od stěny při zatažené žaluzii (přes KB1)	63
obr. 59 – Průběh činitele denní osvětlenosti 1m od stěny při částečně zatažené žaluzii (přes KB1)	63
obr. 60 – Modelová místnost, zdroj [33]	65
obr. 61 – Průběhy solárního ozáření na svislou jihozápadní rovinu ve vybraných charakteristických dnech, zdroj [28]	68
obr. 62 – RC schéma simulačního modelu, zdroj [33]	69
obr. 63 – Počáteční úvaha – aproximace ročních průběhů	70
obr. 64 – Počáteční úvaha – vliv izolačních vlastností obálky	71
obr. 65 – Počáteční úvaha – vliv mechanického větrání	72
obr. 66 – Počáteční úvaha – vliv vnitřních tepelných zisků	73
obr. 67 – Optimální plochy na 1 pracovníka, zdroj [35]	74
obr. 68 – Porovnání průběhů teplot vnitřního vzduchu podle základních algoritmů stínění	76
obr. 69 – Porovnání průběhů teplot vnitřního vzduchu v letním období a v jarním přechodovém období	77
obr. 70 – Dílčí grafy adaptivního modelu algoritmů stínění 1	79
obr. 71 – Dílčí grafy adaptivního modelu algoritmů stínění 2	80
obr. 72 – Porovnání průběhů teplot vnitřního vzduchu v letním období při uvažování zvýšeného ranního větrání	82
obr. 73 - Dílčí grafy adaptivního modelu algoritmů stínění 3 – s uvažováním zvýšeného větrání	83
obr. 74 – Vliv nastavení požadované hodnoty při ovládání podle teploty vnitřního vzduchu	84
obr. 75 – Vliv nastavení požadované hodnoty při ovládání podle slunečního záření na svislou jihozápadní rovinu	85
obr. 76 – Průběh solárního ozáření na svislou jihozápadní rovinu	87
obr. 77 – Rozdíl v tepelné pohodě při použití 1 a 2 poloh zatažení žaluzie při ovládání podle slunečního záření	87



obr. 78 – Cyklování pohybu žaluzie projevující se na účinnosti	88
obr. 79 – Průběh teploty vnitřního vzduchu výsledného algoritmu 7 v porovnání s výchozími základními algoritmy	89

Seznam tabulek

Tab. 1 – Kategorie prostředí [8]	40
Tab. 2 – Činitel denní osvětlenosti v kontrolních bodech (1 m od stěny, v polovině místnosti)	64
Tab. 3 – Porovnání základních algoritmů stínění	78
Tab. 4 – Porovnání tepelné pohody při užití jednotlivých algoritmů	81
Tab. 5 – Porovnání základních algoritmů stínění s uvažováním zvýšeného ranního větrání	82
Tab. 6 – Vliv nastavení požadované hodnoty při ovládní podle vnitřní teploty vzduchu	84
Tab. 7 – Vliv nastavení požadované hodnoty při ovládní podle slunečního záření na svislou jihozápadní rovinu	85

Seznam příloh

- 1) **Výsledky součinitele prostupu tepla oknem U_w bez a s použitím žaluzie z programu WINDOW [34]**
- 2) **Popis výpočetního modelu kanceláře [33]**
- 3) **Matlab/Simulink model kanceláře [36]**
- 4) **DVD – elektronická verze práce**

Příloha 1 – Výsledky součinitele prostupu tepla oknem U_w bez a s použitím žaluzie z programu WINDOW

V programu WINDOW byla zkoumána změna součinitele prostupu tepla oknem U_w bez a s použitím žaluzie s kovovými lamelami na modelovém okně o rozměrech 1200x1500mm s plochou 1,8 m², s hliníkovým rámem a s předdefinovaným tepelně izolačním dvojsklem o skladbě (od interiéru):

ploché sklo	5,7	mm
vzduchová mezera 10% vzduch + 90% argon	12,7	mm
ploché sklo	5,6	mm

Výstupy viz následující ilustrace:

1) bez žaluzie

The screenshot displays the WINDOW software interface. On the left, a panel shows window properties: ID # 7, Name 'double bez žaluzie léto', Mode 'NFRC', Type 'Fixed (picture)', Width 1200 mm, Height 1500 mm, Area 1.800 m², Tilt 90, and Environmental Conditions 'NFRC 100-2010 Summer'. To the right is a 3D perspective view of a window frame with a double-pane glass unit. Below the properties panel, the 'Total Window Results' section shows the U-factor circled in red, with a value of 1.799 W/m²-K. Other results include SHGC 0.362, VT 0.561, and CR N/A. To the right of the results is a 'Glazing System' section with a dropdown menu set to 'Double low-e (argon) with ext. horiz. VB (45 c)'. Below this, various parameters are listed: ID 32, Ucenter 1.097 W/m²-K, Nlayers 3, SC 0.471, Area 1.207 m², SHGC 0.410, Edge area 0.298 m², and Vtc 0.671.

Total Window Results	
U-factor	1.799 W/m ² -K
SHGC	0.362
VT	0.561
CR	N/A

Glazing System	
Name	Double low-e (argon) with ext. horiz. VB (45 c)
ID	32
Ucenter	1.097 W/m ² -K
Nlayers	3
SC	0.471
Area	1.207 m ²
SHGC	0.410
Edge area	0.298 m ²
Vtc	0.671

2) s žaluzií s náklonem lamel 45°

ID # <input type="text" value="8"/> Name <input type="text" value="double s žaluzií 45 léto"/> Mode <input type="text" value="NFRC"/> Type <input type="text" value="Fixed (picture)"/> >> Width <input type="text" value="1200"/> mm Height <input type="text" value="1500"/> mm Area <input type="text" value="1.800"/> m ² Tilt <input type="text" value="90"/> Environmental Conditions <input type="text" value="NFRC 100-2010 Summer"/>	
--	--

Total Window Results U-factor <input type="text" value="1.789"/> W/m ² -K SHGC <input type="text" value="0.108"/> VT <input type="text" value="0.100"/> CR <input type="text" value="N/A"/>	Click on a component to display characteristics below Glazing System Name <input type="text" value="Double low-e (argon) with ext. horiz. VB (45 c)"/> >> ID <input type="text" value="32"/> Ucenter <input type="text" value="1.083"/> W/m ² -K Nlayers <input type="text" value="3"/> SC <input type="text" value="0.111"/> Area <input type="text" value="1.207"/> m ² SHGC <input type="text" value="0.097"/> Edge area <input type="text" value="0.298"/> m ² Vtc <input type="text" value="0.120"/>
---	---

3) s žaluzií s náklonem lamel 90°

ID # <input type="text" value="9"/> Name <input type="text" value="double s žaluzií 90 léto"/> Mode <input type="text" value="NFRC"/> Type <input type="text" value="Fixed (picture)"/> >> Width <input type="text" value="1200"/> mm Height <input type="text" value="1500"/> mm Area <input type="text" value="1.800"/> m ² Tilt <input type="text" value="90"/> Environmental Conditions <input type="text" value="NFRC 100-2010 Summer"/>	
--	--

Total Window Results U-factor <input type="text" value="1.775"/> W/m ² -K SHGC <input type="text" value="0.044"/> VT <input type="text" value="0.004"/> CR <input type="text" value="N/A"/>	Click on a component to display characteristics below Glazing System Name <input type="text" value="Double low-e (argon) with ext. horiz. VB (45 c)"/> >> ID <input type="text" value="32"/> Ucenter <input type="text" value="1.065"/> W/m ² -K Nlayers <input type="text" value="3"/> SC <input type="text" value="0.022"/> Area <input type="text" value="1.207"/> m ² SHGC <input type="text" value="0.019"/> Edge area <input type="text" value="0.298"/> m ² Vtc <input type="text" value="0.005"/>
---	---

Příloha 2 - Popis výpočetního modelu kanceláře [33]

Každý uzel v modelu představuje obyčejnou diferenciální rovnici prvního řádu, která vyjadřuje zákon zachování energie. Soustava obyčejných diferenciálních rovnic může být zapsána ve formě stavového modelu:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}(t)$$

kde \mathbf{A} je matice systému, \mathbf{B} je matice vazeb systému na vstupy, \mathbf{x} je vektor stavových proměnných (v našem případě se jedná o teploty v jednotlivých uzlech), \mathbf{u} je vektor vstupů, a t je čas. K řešení soustavy rovnic byl použit Matlab/Simulink [4]. Výpočtový model byl verifikován metodikou BESTEST [5], viz publikace [6], a také experimentálně validován v rámci účasti na společných výpočtových cvičeních IEA Annex 58, Twinhouses experiment [7].

Struktura modelu kopíruje paralelní strukturu stavebních prvků obklopujících prostor kanceláře. Jedná se o fasádu (parapet, okno a nadpraží), dvě boční příčky do sousedních kanceláří, příčku do chodby, podlahu a strop. Transparentní část fasády se modeluje jedinou vodivostí – schopnost akumulace tepla v zasklení a v příčlích lehkého obvodového pláště se zanedbává. Ostatní stavební prvky jsou modelovány pomocí dvou teplotních uzlů majících schopnost akumulace tepla. Vnitřní prostředí se nahrazuje dvěma vzájemně propojenými teplotními uzly, přičemž jeden z nich představuje teplotu vnitřního vzduchu a druhý výslednou vnitřní teplotu. Teplo od vnitřních zdrojů tepla, solárního záření či od otopné soustavy se rozděluje na konvektivní a sálavou složku mezi oba vnitřní uzly. Propojovací vodivost X a faktorizace podílem α_c/α_r vyplývá z postupné transformace ještě nezjednodušeného výpočtového modelu do podoby zjednodušeného modelu. Postup transformace je popsán v literatuře [3]. Teplo od solárního záření dopadajícího na neprůsvitné prvky obálky je zohledněno příčinným zvýšením teploty venkovního vzduchu (ekvivalentní teplota T_e). Simulační model je v mnoha ohledech zjednodušený. Dvojuzlový popis přenosu tepla přes stavební prvek nabízí z vlastní zkušenosti dobrý poměr mezi přesností a rychlostí (u většiny běžných stavebních prvků), což nakonec potvrzuje i literatura [8]. Adiabatické hranice vložené do vnitřních stavebních prvků zapříčiňují, že modelovaná kancelář není tepelně propojena se zbytkem budovy. Toto zjednodušení patrně vede k určitému podcenění potřeby tepla na vytápění a naopak k o něco vyšší potřebě tepla na chlazení (není modelován odtok tepla do nitra budovy). Avšak protože v parametrické studii se jedná zejména o postihnutí rozdílů, možné nepřesnosti absolutních hodnot patrně nebudou zásadní. Naopak výhodou takto pojatého modelu je jeho výpočetní rychlost. Simulace jednoho roku trvá několik vteřin, a proto není problém model spouštět opakovaně a v relativně krátkém čase napočítat stovky variant.

[3] Davies M., G., Building Heat Transfer, Wiley, 2004.

[4] Matlab, www.mathworks.com.

[5] Judkoff, R., Neymark, J., International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, NREL, 1995.

[6] Kopecký, P. Comparative Testing of Simplified Lumped Parameter Building Thermal Models. In: Central Europe towards Sustainable Building 2016 – Innovations for Sustainable Future. CESB16 Prague, 22.–24.06.2016. Praha: Grada Publishing. 2016, ss. 789–795. ISBN 978-80-271-0248-8.

[7] Kopecký, P., Subtask 4 – Validation experiments on Twinhouses, Report to Experiment 1, Interní report pro IEA Annex 58 – Reliable Building Energy Performance Characterisation Based on Full Scale Dynamic Measurements.

Příloha 3 – Matlab/Simulink model kanceláře [36]

