

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vliv pasivních solárních systémů na provoz budovy**

**zadání str1+2**

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce popisuje praktické využití pasivních solárních systémů a jejich principů v současnosti. Text se skládá z obecného popisu solárních systémů se zaměřením na pasivní systémy, principů získávání užitečné energie dopadajícího slunečního záření, dlouhodobého měření na modelovém objektu a ze zhodnocení naměřených dat.

## **Klíčová slova**

sluneční záření, intenzita slunečního záření, solární energie, solární systémy, pasivní solární systémy, sluneční okno, solární zisk

## **Abstract**

Master's thesis describes practical usability of passive solar systems and its principles. General description of solar systems, aimed to passive systems, principles of solar energy accumulation, long-term measurement on model object and evaluation of measured data is contained in this thesis.

## **Key words**

solar radiation, solar irradiance, solar energy, solar systems, passive solar systems, glazing, solar heat gain



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 19.5.2017

Jakub Hrbek

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíkovi, Ph. D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>6</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>1 SLUNEČNÍ ENERGIE</b> .....	<b>8</b>
1.1 INTENZITA ZÁŘENÍ .....	10
1.2 ENERGIE ZÁŘENÍ .....	15
1.1 MOŽNOSTI TECHNICKÉHO VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE .....	21
<b>2 SOLÁRNÍ SYSTÉMY</b> .....	<b>24</b>
2.1 ROZDĚLENÍ SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ .....	24
2.2 AKTIVNÍ SOLÁRNÍ SYSTÉMY .....	26
2.2.1 Fotovoltaické systémy .....	27
2.2.2 Koncentrační zrcadlové systémy .....	28
2.2.3 Kolektorové tepelné systémy .....	29
2.3 PASIVNÍ SOLÁRNÍ SYSTÉMY .....	30
2.3.1 Zásady návrhu budovy .....	31
2.3.2 Solární okno .....	32
2.3.3 Sluneční skleník .....	34
2.3.4 Solární akumulární stěna .....	35
2.3.5 Nezasklený solární vzduchový kolektor .....	36
2.3.6 Energetická fasáda a energetická střecha .....	36
2.3.7 Protisluneční ochrany a ochrany proti oslnění .....	38
<b>3 DLOUHODOBÉ MĚŘENÍ NA MODELOVÉM OBJEKTU</b> .....	<b>43</b>
3.1 SPECIFIKACE MODELOVÉHO OBJEKTU .....	43
3.2 POPIS DLOUHODOBÉHO MĚŘENÍ .....	43
3.3 POPIS JEDNOTLIVÝCH MĚŘICÍCH MÍST .....	44
3.3.1 Měřící místo EU1 .....	45
3.3.2 Měřící místo EU3 .....	47
3.3.3 Měřící místo EU5 .....	49
3.3.4 Měřící místo EL311 .....	50
3.3.5 Měřící místo EL703 .....	52
<b>4 ZHODNOCENÍ ČINNOSTI MODELOVÉHO SYSTÉMU</b> .....	<b>54</b>
4.1 VÝPOČET ENERGIE .....	54
4.2 UKÁZKOVÝ VÝPOČET PROSTUPU TEPLA .....	57
4.3 NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	57
4.3.1 Základní informace o vybraných signifikantních dnech .....	58
4.3.2 Průměrné hodnoty teplot slunečního okna pro jednotlivé měřicí místa .....	59
4.3.3 Průměrné hodnoty teplot slunečního okna pro různé typy stínění .....	63
4.4 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....	67
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>69</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>70</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>72</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>73</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>74</b>

## Úvod

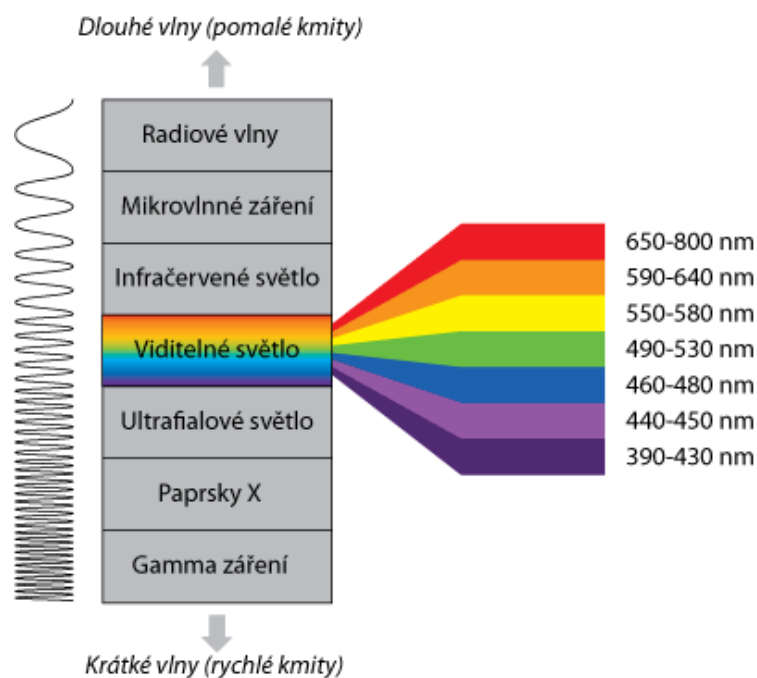
Využívání alternativních zdrojů energie je bezpochyby současný celosvětový trend. V minulosti byl kladen spíše ohled na prospěch průmyslu než-li na ochranu životního prostředí, ale v současnosti je pohled na ochranu životního prostředí v Evropě jiný a modernímu člověku již není toto téma zcela lhostejné. Právě při výrobě potřebné energie konvenčními způsoby obvykle dochází ke značnému znečišťování a ničení životního prostředí. Zejména jedná-li se o spalování fosilních paliv, které neznečišťuje prostředí pouze samotným spalováním, ale také těžbou, manipulací a úpravou suroviny před jejím samotným energetickým využitím. Navíc při spalování dochází k uvolňování oxidu uhličitého zodpovědného za tzv. skleníkový efekt a následné celkové oteplování klimatu Země. Dalším aspektem podporujícím využívání alternativních zdrojů energie je jejich udržitelnost, resp. obnovitelnost (teoreticky nekonečný zdroj).

Se stále rostoucí spotřebou energie je třeba neustále navyšovat výrobní kapacity energetických zdrojů. Nicméně není zcela možné tyto výrobní kapacity navyšovat do nekonečna a začínají se hledat různá východiska. V zásadě jsou východiska pouze dvě - pokrytí části energie obnovitelnými zdroji nebo snížení celkové spotřeby energie. Logicky správnější cesta je samozřejmě snížení spotřeby. Jedním z největších odběratelů energie jsou domácnosti, kde se většina energie využije na vytápění a ohřev teplé užitkové vody (TUV). A právě zde se nachází veliký prostor pro potenciální snížení potřebné energie. Jedním z možných způsobů je využití energie slunečního záření pro vytápění budov či ohřev TUV.

Obor zabývající se možnostmi využití sluneční energie s ohledem na energetickou náročnost budov se nazývá solární architektura. Principy solární architektury jsou uplatňovány zejména u nízkoenergetických a pasivních budov. V ČR zatím nejsou vhodné dotační podmínky pro výstavbu nízkoenergetických či pasivních budov. Nicméně trend výstavby energeticky úsporných budov zejména v západní Evropě a Skandinávii naznačuje rozmach tohoto odvětví v blízké budoucnosti a začíná se objevovat jeho celý potenciál.

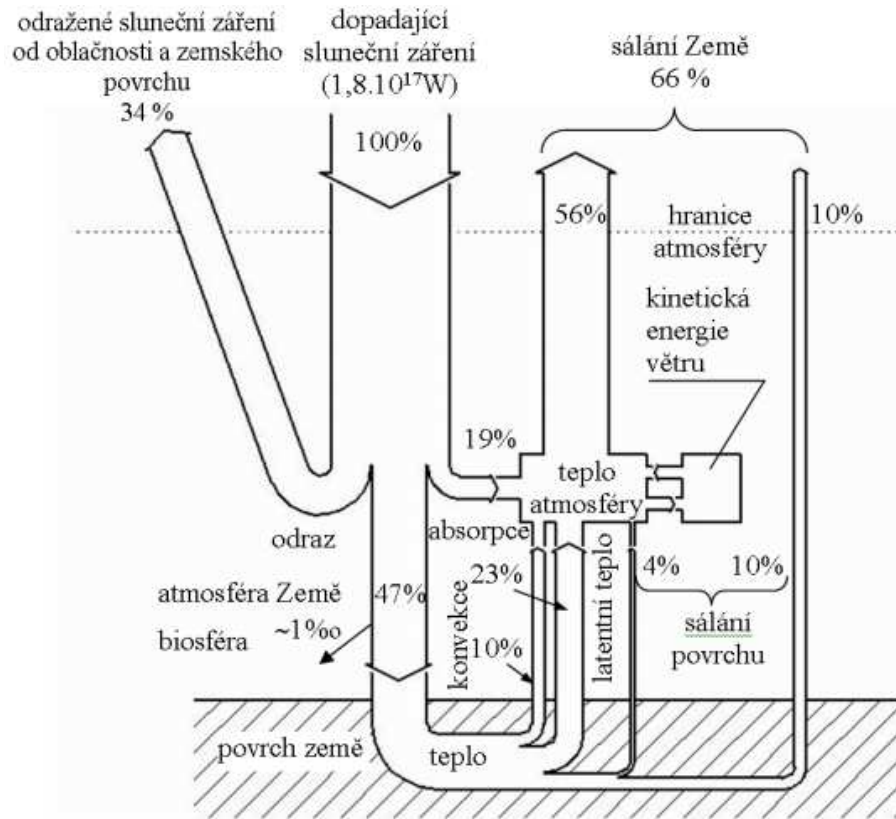
## 1 Sluneční energie

V jádru Slunce neustále probíhají termonukleární reakce za vysokého tlaku a teploty. Nejvýznamnější reakcí je jaderná syntéza, tj. slučování jader, vodíku, resp. jeho izotopů deuteria a tritia, za vzniku jader helia. Při těchto reakcích se vyzařuje do prostoru velké množství energie v celém spektru vlnových délek, tj. vyzařování absolutně černého tělesa. V zásadě dělíme toto vyzařované spektrum do tří kategorií: ultrafialové (vlnová délka  $\lambda < 390$  nm), viditelné ( $390 \text{ nm} < \lambda < 760$  nm) a infračervené sluneční záření ( $\lambda > 760$  nm). Rozdělení spektra slunečního záření je znázorněno na Obr.: 1. [3]



Obr.: 1 - Spektrum slunečního záření [17]

Na hranici zemské atmosféry dopadá záření o intenzitě  $I_0 = 1360 \text{ Wm}^{-2}$ , tzv. sluneční konstanta. Průchodem zemskou atmosférou dochází k částečným odrazům a pohlcení energie. Velká část energie (34 %) je odražena od mraků, částecek prachu v atmosféře a zemského povrchu zpět do vesmíru. Zhruba 19 % z celkového toku energie se pohltí v atmosféře a přemění na teplo. Na zemský povrch dopadá zbylých 47 % z původního záření - viz Obr.: 2. [1]



Obr.: 2 - Průchod slunečního záření atmosférou s přibližnými hodnotami dopadajících a odražených (vyzářených) složek záření [12]

Dopadající sluneční záření má zcela zásadní vliv na život na Zemi a je původcem mnoha přírodních procesů. Jedním z často zmiňovaných jevů, které dopadající záření ovlivňuje, je tzv. skleníkový efekt. Záření se při dopadu na zemský povrch mění v teplo, které se následně vyzařuje z povrchu zpět do atmosféry ve formě infračerveného záření (o vlnové délce  $\lambda = 10 \mu\text{m}$ ). Vyzářené infračervené záření je absorbováno víceatomovými plyny obsaženými ve vzduchu (zejména  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{O}_3$ ) a dochází k zahřívání vzduchu, čímž následně dochází k dalšímu zvyšování teploty zemského povrchu.

Značná část slunečního záření dopadá na hladiny oceánů tvořící 71 % z celkového povrchu planety Země. Tato energie se spotřebuje na vypařování vody (latentní teplo), která je následně ve formě vodní páry unášena vstoupnými vzdušnými proudy do vyšších chladnějších vrstev atmosféry, kde zpětně kondenzuje a tím předává svoje skupenské teplo okolnímu vzduchu. Tento proces zcela zásadně ovlivňuje koloběh vody v atmosféře. [3, 6]

Atmosférická cirkulace vzduchu v atmosféře je také přímo ovlivněna dopadajícím slunečním zářením. Vznik větrů je zapříčiněn výměnou teplého zahřátého vzduchu od

zemského povrchu za vzduch chladný (těžší), nacházející se ve vyšších vrstvách atmosféry. Aby tato cirkulace neustala, tak musí sluneční záření kontinuálně dodávat proudícímu vzduchu energii, kterou prouděním postupně ztrácí (cca 1 % z celkového toku dopadajícího záření). Tato zdánlivě malá část energie je nicméně velmi důležitá pro život na Zemi. Větry například přenášejí teplo z teplých oblastí do studených, dále vlhkost z oceánů nad pevninu a rozptylují lokální znečištění velkých měst či velkých zdrojů znečištění. [6]

V neposlední řadě sluneční záření ovlivňuje biologické reakce probíhající v biosféře<sup>1</sup>. Jedná se zejména o nesčetné chemické reakce probíhající v živé buňce, při nichž dochází např. k vazbě (uvolnění) energie, trávení potravy, stavbě tkáně apod. Je tedy zřejmé, že sluneční záření je nezbytnou podmínkou života na této planetě a tedy i života lidstva. [3]

## 1.1 Intenzita záření

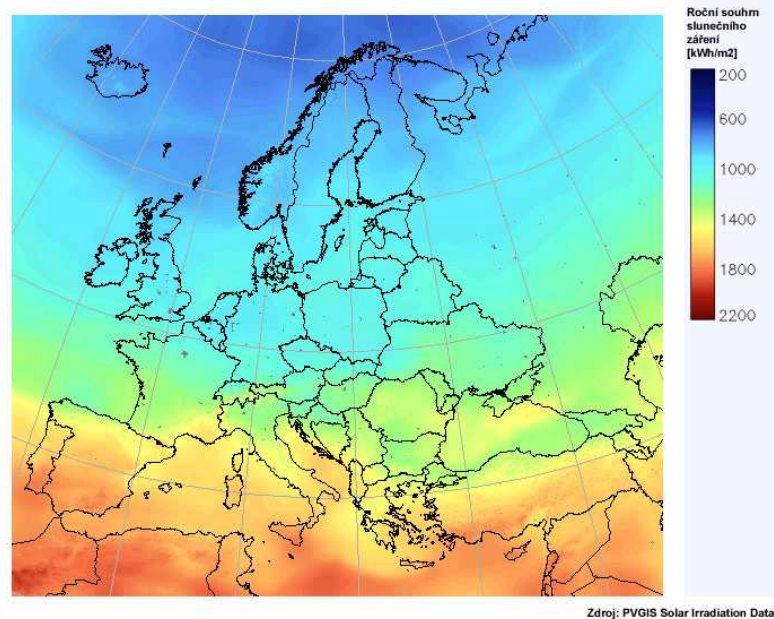
Jedním ze základních parametrů záření je jeho intenzita. Množství dodané energie zářením je závislé na intenzitě záření. Intenzita dopadajícího záření na povrchu Země je množství energie v  $kWh$  na jednotku plochy povrchu v  $m^2$ . Charakteristickou hodnotou je intenzita záření dopadající na hranici atmosféry, tzv. solární konstanta  $I_0 = 1360 W.m^{-2}$ . Intenzita je závislá na několika faktorech: [7]

- zeměpisná šířka - viz *Obr.: 3 a Obr.: 4*
- klimatické podmínky (průměrné počasí, oblačnost, znečištění atmosféry aj.)
- poloha slunce na obloze a azimut (orientace ozařované plochy oproti směru záření)
- tloušťka vrstvy atmosféry (AM faktor<sup>2</sup>)

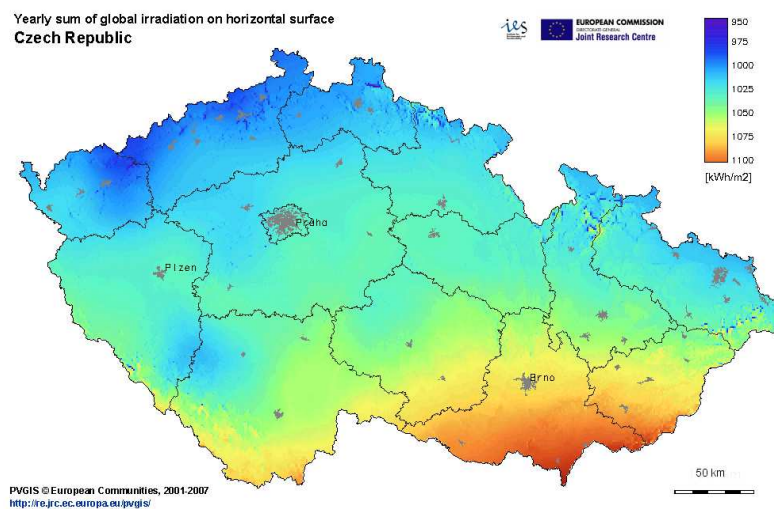
---

<sup>1</sup> tenká vrstva těsně při zemském povrchu, kde existuje život

<sup>2</sup> Air Mass faktor - určen výškou Slunce nad obzorem a nadmořskou výškou



Obr.: 3 - Průměrná hodnota dopadajícího slunečního záření - Evropa [14]



Obr.: 4 - Průměrná hodnota dopadajícího slunečního záření - ČR [14]

Celková intenzita slunečního záření dopadající na plochu v atmosféře je součtem intenzit přímého<sup>3</sup> záření  $I_p$  a difúzního<sup>4</sup> záření  $I_D$ :

$$I = I_p + I_D \quad (W.m^{-2}) \quad (1)$$

<sup>3</sup> Sluneční záření, které při průchodu atmosférou není odraženo ani pohlceno a nebo znovu vyzářeno. Dopadá přímou cestou na danou plochu.

<sup>4</sup> Sluneční záření, které se odrazilo od částic obsažených v atmosféře (vodní kapky, prach...) a změnilo směr. Vlnová délka tohoto záření zůstává stejná jako před odrazem. Množství difúzního záření závisí na oblačnosti a znečištění atmosféry.



Většinou je osluněná plocha odkloněna od směru záření o úhel  $\gamma$ . A zahrneme-li do výpočtu přímého záření součinitel znečištění atmosféry  $Z$  a součinitel respektující nadmořskou výšku a výšku slunce nad obzorem  $\varepsilon$ , pak dostáváme rovnici (2), kde  $I_{Pn}$  je intenzita přímého záření dopadajícího kolmo na osluněnou plochu.

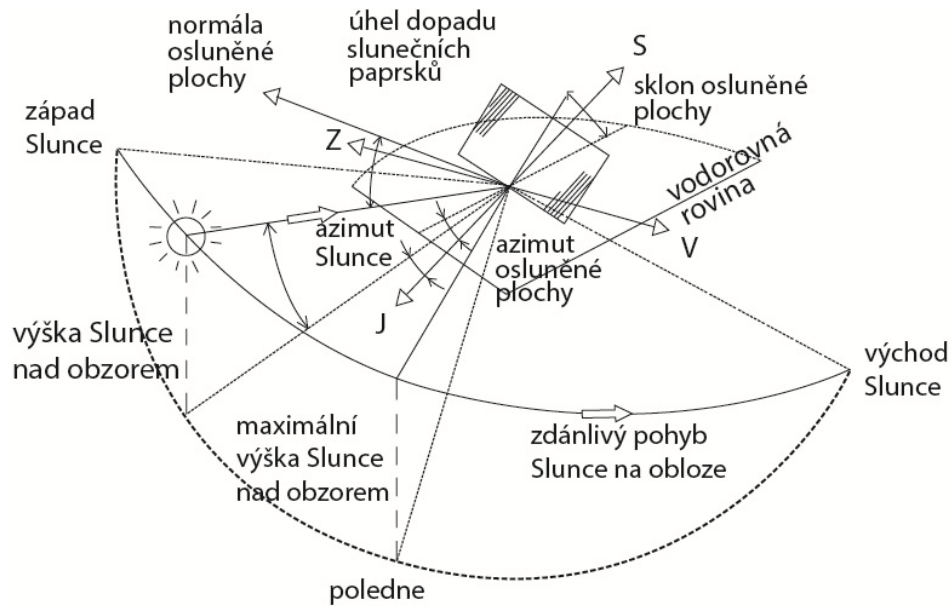
$$I_P = I_{Pn} \cos \gamma = I_0 \frac{Z}{\varepsilon} \cos \gamma \quad (W.m^{-2}) \quad (2)$$

Poloha slunce a azimut je znázorněn na *Obr.: 5* a lze vypočítat dle *rovnice (3)* a *(4)*. Následně lze z těchto hodnot vypočítat úhel dopadu slunečních paprsků  $\gamma$ , resp.  $\cos \gamma$ , dle *rovnice (5)*, kde :  $h$  je výška slunce nad obzorem,  $\delta$  sluneční deklinace, kde v daný den je v poledne slunce kolmo na obloze,  $\varphi$  je zeměpisná šířka daného místa,  $\tau$  je čas měřený od poledne (1 hod = 15°),  $a$  je azimut slunce,  $a_s$  je azimut osluněné plochy,  $\alpha$  je sklon plochy od vodorovné roviny,  $\gamma$  je úhel dopadu slunečních paprsků.

$$\sinh = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau \quad (-) \quad (3)$$

$$\sin a = \frac{\cos \delta}{\cosh} \sin \tau \quad (-) \quad (4)$$

$$\cos \gamma = \sinh \cdot \cos \alpha + \cosh \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - a_s) \quad (-) \quad (5)$$



Obr.: 5 - Poloha slunce a azimut [8]

Sluneční deklinace  $\delta$  je proměnná během roku, proto se pro usnadnění výpočtů počítá s deklinací pro tzv. charakteristický den v měsíci (typicky se volí 21. - 23. den každého měsíce) - viz Tab.: 1. Tato charakteristická hodnota deklinace se následně uvažuje pro celý měsíc a slouží k výpočtu parametrů polohy slunce nad obzorem a intenzity záření. Výslednou hodnotu intenzity záření pro charakteristický den považujeme za průměrnou (střední) hodnotu pro celý příslušný měsíc. Obecně se spočte sluneční deklinace  $\delta$  dle rovnic (6) a (7), kde  $\tau$  je úhel určující pořadí daného dne v roce (tj. datum),  $D$  je den v měsíci a  $M$  je měsíc. [12]

$$\delta = 23,45^\circ \sin(\tau - 109^\circ) \quad (^\circ) \quad (6)$$

$$\tau = 0,98^\circ D + 29,7^\circ M \quad (^\circ) \quad (7)$$

Tab.: 1 - Sluneční deklinace  $\delta$  pro charakteristický den v jednotlivých měsících [4]

den	sluneční deklinace $\delta$
22.12.	-23°27'
22.11 a 21.1.	-20°
23.10. a 20.2.	-11°30'
23.9. a 21.3.	0°
23.8. a 21.4.	11°30'
23.7. a 22.5.	20°
22.6.	23°27'

Součinitel znečištění atmosféry  $Z$  respektuje míru snížení intenzity dopadajícího slunečního záření při průchodu atmosférou. Jeho číselná hodnota vyjadřuje, kolik ideálně čistých atmosfér by vyvolalo stejný úbytek intenzity záření -  $Z = 2$  pro vrcholky velehor,  $Z = 5 - 6$  pro průmyslové oblasti. Hodnota součinitele znečištění je časově proměnná a mění se v denním i ročním cyklu. Součinitel znečištění závisí na obsahu příměsí ve vzduchu a nadmořské výšce (atmosférickém tlaku). Pro výpočet se využívá tzv. Linkeho vztahu (viz rovnice (8)), kde  $I_n$  je intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší a  $I_\varepsilon$  je intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší:

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_\varepsilon} \quad (-) \quad (8)$$

Ekonomicky relevantní využití energie slunečního záření v našich podmínkách lze dosáhnout jen v místech, kde roční průměrná hodnota součinitele znečištění je menší než  $Z = 3$ . Jedná se tedy o významnou hodnotu, se kterou je třeba počítat při návrhu každého solárního systému. [1]

Difúzní záření vzniká rozptylem při odrazu o molekuly plynů v ovzduší, částecek prachu a mraků. Vlnová délka odraženého slunečního záření se nemění, tudíž má difúzní záření stejnou vlnovou délku jako záření přímé. Při výpočtu difúzního záření je nutné počítat také se složkou přímého záření, které se odráží od okolních ploch. Difúzní napětí se spočte dle rovnice (9), kde  $\alpha$  je sklon oslněné plochy od vodorovné polohy,  $r$  je tzv. albedo<sup>5</sup> ( $r = 0,15$  až  $0,25$ , typicky  $0,20$ ),  $I_{Ph}$  je intenzita přímého záření na vodorovnou plochu a  $I_{Dh}$  je intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu. [4]

$$I_D = 0,5(1 - \cos \alpha)I_{Dh} + 0,5r(1 - \cos \alpha)(I_{Ph} + I_{Dh}) \quad (Wm^{-2}) \quad (9)$$

---

<sup>5</sup> Albedo = reflexní schopnost okolních ploch (pro sluneční paprsky)

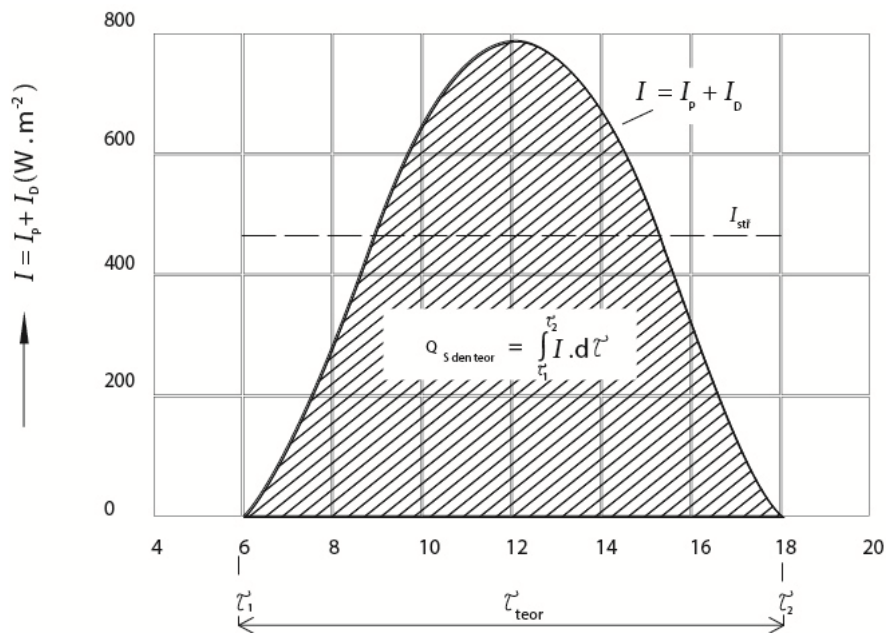
Intenzity přímého a difúzního slunečního záření z rovnice (9) se vypočtou dle rovnic (10) a (11).

$$I_{Ph} = I_{Pn} \sinh \quad (Wm^{-2}) \quad (10)$$

$$I_{Dh} = 0,33(I_0 - I_{Pn}) \sinh \quad (Wm^{-2}) \quad (11)$$

## 1.2 Energie záření

Energie dopadajícího slunečního záření je úměrná dopadající intenzitě toho záření. Jednotkou dopadající energie slunečního záření je  $Whm^{-2}$ , tj. práce dopadající intenzity po dobu jedné hodiny na jednotkovou plochu. Teoretické množství energie dodané během jasného dne  $Q_{Sdent}$  (tj. za zcela jasné oblohy po celou dobu od východu po západ slunce) se vypočte jako integrál průběhu intenzity záření v čase (plocha pod křivkou) dle rovnice (12) - graficky znázorněno na Obr.: 6, kde  $\tau_1$  je východ slunce a  $\tau_2$  je západ slunce.



Obr.: 6 - Průběh intenzity záření za jasného dne [1]

$$Q_{Sdent} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau \quad (Whm^{-2}) \quad (12)$$

Pro výpočet denní, příp. měsíční či roční dopadající energie slunečního záření se jednoduše sumarizují (sčítají) energetické příspěvky za časový úsek, tj. za hodinu (obvykle se sumarizují hodnoty pro jednotlivé hodiny, ale může být počítáno i s jiným časovým úsekem), příp. denní či měsíční energetické příspěvky.

Teoretická (astronomická) doba slunečního svitu  $\tau_{teor}$  je dána rozdílem času západu a východu slunce, tj. rozdílem krajních hodnot průběhu intenzity slunečního záření - viz *Obr.:* 6, dle rovnice (13).

$$\tau_{teor} = \tau_2 - \tau_1 \quad (hod) \quad (13)$$

Čas východu a západu slunce lze exaktně vypočítat pomocí rovnice (3) pro nulovou výšku slunce nad obzorem -  $h = 0$ . Po úpravě původní rovnice dostáváme rovnici (14) pro výpočet doby východu slunce  $\tau_1$  a západu slunce  $\tau_2$ . [2]

$$\cos \tau_{1,2} = -tg \delta . tg \varphi \quad (-) \quad (14)$$

Pro charakteristické dny jednotlivých měsíců a pro místa na 50° severní šířky lze vypočítat časy východů a západů slunce a následně určit hodnoty teoretické doby slunečního svitu pro jednotlivé měsíce, viz *Tab.:* 2.

**Tab.: 2 - Teoretická doba slunečního svitu  $\tau_{teor}$  v charakteristických dnech jednotlivých měsíců; platí pro 50° severní šířky [1]**

Měsíc	Teoretická doba slunečního svitu $\tau_{teor}$ (hod)
prosinec	7,85
leden, listopad	8,26
únor, říjen	10,12
březen, září	12,00
duben, srpen	13,90
květen, červenec	15,70
červen	16,34

Pomocí teoretické doby slunečního svitu lze také vypočítat střední hodnotu intenzity slunečního záření  $I_{stř}$  dle rovnice (15). Tato charakteristická hodnota je vhodná pro výpočty, které vychází z dlouhodobých klimatických podmínek.

$$I_{stř} = \frac{1}{\tau_{teor}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} Id\tau = \frac{Q_{Sdent}}{\tau_{teor}} \quad (Wm^{-2}) \quad (15)$$

Při předchozích výpočtech se uvažují pouze bezoblačné podmínky, tj. teoreticky maximální úhrn dopadající sluneční energie. Nicméně v podmínkách ČR je celková doba slunečního svitu 1700 - 2200 hod/rok. Pro zohlednění oblačnosti se využívá tzv. poměrné doby slunečního svitu  $\bar{\tau}$  nebo eventuelně aproximace (zidealizování) průběhu dopadající energie, kdy je tento průběh rozdělen na fáze zataženo - jasno<sup>6</sup>. Je tedy třeba vycházet z údajů o skutečné době slunečního svitu v daném období, dané místo dopadu záření a naklonění povrchu vůči směru záření, viz rovnice (16) a (17), kde  $Q_{Sden}$  je denní úhrn sluneční energie dopadající na plochu  $1m^2$ ,  $\bar{\tau}$  je poměrná doba slunečního svitu,  $\tau_{skut}$  je skutečná doba slunečního svitu,  $\tau_{teor}$  je teoretická doba slunečního svitu (100% bezoblačnost),  $Q_{Sdenteor}$  je úhrnná sluneční energie dopadající na daný povrch při daném znečištění atmosféry bez oblačnosti za celý den (tabelovaná hodnota) a  $Q_{Dden}$  je úhrn energie dopadajícího difúzního záření na plochu  $1m^2$ . [1]

$$Q_{Sden} = \bar{\tau}Q_{Sdenteor} + (1 - \bar{\tau})Q_{Dden} \quad (Whm^{-2}) \quad (16)$$

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} \quad (hod.) \quad (17)$$

Celková roční doba slunečního záření je značně nerovnoměrně rozdělena do jednotlivých měsíců. To je způsobeno zejména zkrácením teoreticky možné doby slunečního svitu v zimním období a zároveň zde přispívá zvýšená oblačnost v témže období. Naopak v letním

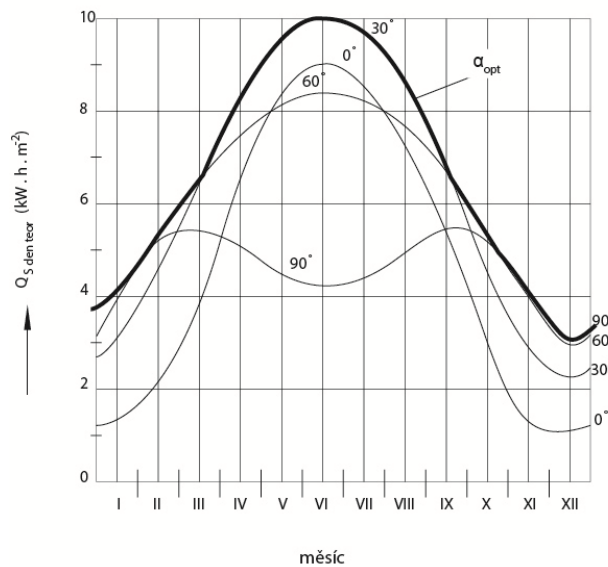
<sup>6</sup> Při jasné obloze působí na osluněnou plochu celková intenzita záření ( $I = I_p + I_D$ ), kdežto při zatažené obloze působí pouze difúzní složka slunečního záření  $I_D$

období je teoretická doba slunečního svitu delší a zároveň je oblačnost obecně menší. V *Tab.:* 3 jsou hodnoty skutečné doby slunečního svitu v Plzni a přepočtené hodnoty poměrné doby slunečního svitu pro jednotlivé měsíce (vztaženo k teoretické době slunečního svitu  $\tau_{\text{teor}}$  platné pro 50° severní šířky - viz *Tab.:* 2). [3]

**Tab.: 3 - Skutečná doba slunečního svitu v Plzni a vypočtená poměrná doba pro jednotlivé měsíce [13]**

Měsíc	Skutečná doba slunečního svitu (hod)	Poměrná doba slunečního svitu (-)
leden	48	0,19
únor	86	0,29
březen	142	0,38
duben	175	0,42
květen	227	0,47
červen	246	0,50
červenec	252	0,52
srpen	229	0,53
září	181	0,50
říjen	112	0,36
listopad	54	0,22
prosinec	35	0,14
celkem za rok	1787	

Obdobně jako u intenzity, tak i množství dopadající sluneční energie je závislé na orientaci plochy vůči horizontální a vertikální (odklon od jihu) rovině. Na *Obr.:* 7 je znázorněn roční průběh teoreticky možné dopadající energie za den při různém sklonu oslněné plochy. Je patrné, že lze získat co největší množství energie, budeme-li během roku postupně měnit úhel mezi plochou, na kterou dopadá sluneční záření a horizontální rovinou (optimální sklon  $\alpha_{\text{opt}}$  je znázorněn v obrázku tučně - obalová křivka ročního průběhu teoreticky využitelné energie slunečního záření). [5]



Obr.: 7 - Roční průběh teoreticky využitelné energie s různým úhlem sklonu  $\alpha$  a optimálního sklonu osluněné plochy  $\alpha_{opt}$  [1]

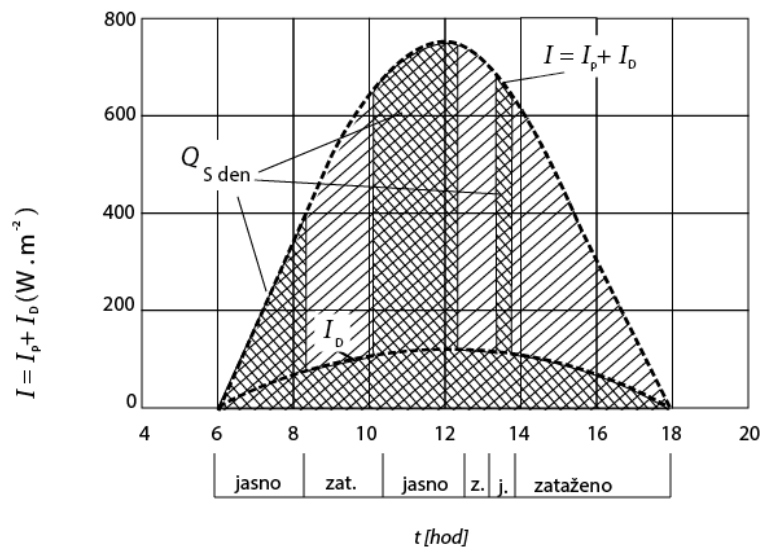
Nicméně průběžné změny úhlu osluněné plochy se v praxi příliš nevyužívá a to zejména z důvodu komplikací spojených s potřebou variability konstrukce nebo potřebou ručního nastavování tohoto úhlu v každém měsíci. Pokud se systému natáčení využívá, tak většinou pouze dvoupolohového, tj. sklon se nastavuje pro letní měsíce a zimní měsíce zvlášť, nikoliv pro každý jednotlivý měsíc - viz Tab.: 4.

Tab.: 4 - Teoreticky optimální a prakticky využívané sklony osluněné plochy oproti vodorovné ploše při orientaci na jih [1]

Teoreticky optimální sklony pro jednotlivé měsíce	
měsíc	sklon
květen, červen, červenec	30° - 35°
duben, srpen	40°
březen, září	50°
únor, říjen	65°
leden, listopad, prosinec	90°
Prakticky používané sklony pro letní a zimní měsíce	
letní provoz	30° - 45°
zimní provoz	60° - 90°

Jak již bylo řečeno, tak množství dopadající energie je závislé na oblačnosti. Při jasné obloze působí na osluněnou plochu celková intenzita záření  $I = I_p + I_D$ , kdežto při zatažené obloze působí pouze difúzní záření  $I_D$ . Na Obr.: 8 je příklad zidealizovaného průběhu intenzity slunečního záření během dne s proměnlivou oblačností.





**Obr.: 8 - Aproximace (zidealizování) průběhu intenzity při střídavé oblačnosti [1]**

Pro usnadnění výpočtů se výše uvedené proměnné veličiny (intenzita slunečního záření, poloha slunce aj.) obvykle tabelizují pro danou polohu (pro ČR se využívá tabulek pro 50° severní šířky), pro oblast s daným průměrným součinitelem znečištění (horské oblasti, venkov, město, průmyslová oblast), pro denní dobu (hodinu) nebo měsíc, odklon od jihu aj. - příkladem *Tab.: 5*.

**Tab.: 5 - Denní energie difúzního záření  $Q_{Dden}$  na různě skloněné plochy v jednotlivých měsících; platí pro 50° severní šířky a součinitel znečištění atmosféry  $Z = 3$  [13]**

Úhel sklonu oslněné plochy $\alpha$	Energie difúzního záření $Q_{Dden}$ (kWhm <sup>-2</sup> ) v jednotlivých měsících						
	prosinec	leden, listopad	únor, říjen	březen, září	duben, srpen	květen, červenec	červen
0°	0,42	0,51	0,72	0,98	1,19	1,35	1,39
15°	0,42	0,51	0,72	0,98	1,19	1,36	1,40
30°	0,41	0,50	0,71	0,98	1,20	1,37	1,41
45°	0,40	0,48	0,69	0,97	1,22	1,40	1,45
60°	0,38	0,46	0,68	0,97	1,24	1,43	1,51
75°	0,35	0,43	0,66	0,97	1,26	1,47	1,56
90°	0,33	0,41	0,64	0,96	1,29	1,52	1,62

## 1.1 Možnosti technického využití solární energie

Moderní člověk dokáže část dopadajícího slunečního záření přeměňovat vhodnými způsoby na užitečnou energii ve svůj prospěch a využít tak tuto neustále dopadající energii pro alespoň částečné pokrytí své neustále rostoucí spotřeby. Jednou z reálných možností je zachycovat sluneční energii ve formě fotonů a účelně ji přeměňovat v jiné formy energie - termickou, mechanickou, elektrickou či chemickou.

Nejsnazší cesta přeměny dopadající energie je přeměna na termickou (tepelnou) energii. Dopadající energie předává teplo do teplotnosného média (vzduch, voda, nemrznoucí směs, speciální soli), které je dále distribuováno dle potřeby. Jednou z možností je zachycení sluneční energie pomocí sběračů, neboli kolektorů, ve tvaru plochých desek (např. trubicové kolektory) za využití tepelné kapacity vzduchu nebo vody k akumulaci energie. Teplota média v takovýchto systémech se pohybuje do 100 °C a nazývají se nízkoteplotními systémy. Takové využití tepla dopadajícího záření je vhodné zejména pro ohřev teplé užitkové vody, topení v budovách nebo k teplovzdušnému sušení různých materiálů. Další možností je koncentrace slunečního záření pomocí koncentračních kolektorů do jednoho bodu, kde se nachází nádoba s teplotnosným médiem - viz *Obr.: 9*. Tímto lze dosáhnout vysoké koncentrace intenzity záření v daném bodě a ohřátí média na vysoké teploty (stovky až tisíce stupňů Celsia). Tyto vysokopotenciálové (vysokoteplotní) systémy našly využití jako sluneční vařiče, destilační přístroje či pece k tavení kovů. [9]



Obr.: 9 - Věžová koncentrační elektrárna v Jülich (Německo) [17]

Systemy přeměňující energii slunečního záření přímo na mechanickou energii jsou zatím málo účinné a praktické využití nachází v mechanických měřidlech intenzity osvětlení, kde se využívá otočné soustavy čtyř slídových destiček, na které dopadají fotony, které způsobí rotaci celé soustavy (rychlost rotace je přímo úměrná intenzitě dopadajícího záření). V současnosti se využívá prakticky pouze jednoho nepřímého způsobu, kdy se energie záření přeměňuje na teplo a až pak následně na mechanickou energii, případně se dále přeměňuje na elektrickou energii. V těchto systémech se využívá koncentrované intenzity slunečního záření k ohřevu média v nádobě umístěné na vysoké věži a následně generaci páry v parogenerátoru. Avšak pára musí dosahovat dostatečných parametrů, aby se dalo využít její energie na lopatkách turbíny a následně výrobě elektrické energie v generátoru, proto je silně závislá na mimořádně příznivých slunečních podmínkách. [1, 9]

Přímou přeměnu dopadajícího slunečního záření na energii elektrickou využíváme při fotovoltaickém jevu. Při dopadu fotonů na polovodičový fotovoltaický článek se z krystalové mřížky začnou uvolňovat elektrony a vytvářet na P-N přechodu elektrické napětí. Fotovoltaické napětí křemíkového článku je přibližně 0,5 V. Dle potřebného výstupního napětí a proudu se jednotlivé články následně zapojují sériově či paralelně a sestavují se z nich fotovoltaické panely (*Obr.: 10*). Přeměna na elektrickou energii si našla využití zejména v odlehlých oblastech se špatným, nebo žádným, připojením k rozvodné síti, ostrovních systémech, malých elektrických zařízeních (kalkulačky, hodinky, aj.) nebo při napájení zařízení v kosmu (družice, vesmírné stanice). Právě potřeba napájení ve vzdáleném vesmíru byla jedním z hlavních prvotních iniciátorů výzkumu v této oblasti, což následně vedlo i k rozšíření v komerční sféře. V ČR se tyto systémy rozšířily v době tzv. solárního boomu (od roku 2008), kdy garantované výkupní ceny vyrobené elektřiny fotovoltaickými systémy byly nevhodně nastaveny a došlo k výstavbě obřích fotovoltaických elektráren. Konec podpory výkupu elektřiny z fotovoltaických elektráren byl důvodem ke snížení ziskovosti investic a následnému zpomalení výstavby fotovoltaických elektráren. [3]



**Obr.: 10 - Různé druhy fotovoltaických panelů na střeše budovy FEL ZČU**

Poslední možností využití slunečního záření je přeměna na energii chemickou. Tato přeměna je možná na základě fotochemické reakce, při níž dopadající fotony jsou pohlceny molekulou a zasáhnou do její struktury. Jako příklad lze uvést výrobu metanu  $\text{CH}_4$  rozpadem molekul aldehydu  $\text{CH}_3\text{COH}$  nebo výrobu vodíku rozkladem vody či organických látek.

## 2 Solární systémy

Energie slunečního záření dopadající na zemský povrch mnohonásobně převyšuje celkovou světovou spotřebu energie. Je tedy vhodné využít, co možná nejvíce, tento prakticky nevyčerpatelný zdroj energie. Existuje hned několik základních možností, jak tento zdroj energie využít a sluneční energii přímo přeměnit na teplo či elektřinu. Již ve starém Řecku byl vyvinut typ domu, který byl otevřený nízkému zimnímu slunci a dobře chráněný od severu (tzv. Sokratův dům), nebo ulice byly koncipovány ve směru východ - západ, aby domy byly otevřené z jihu a navzájem si nestínily. To byly první známky využívání slunečního záření k vytápění a klimatizaci budov. [3, 10]

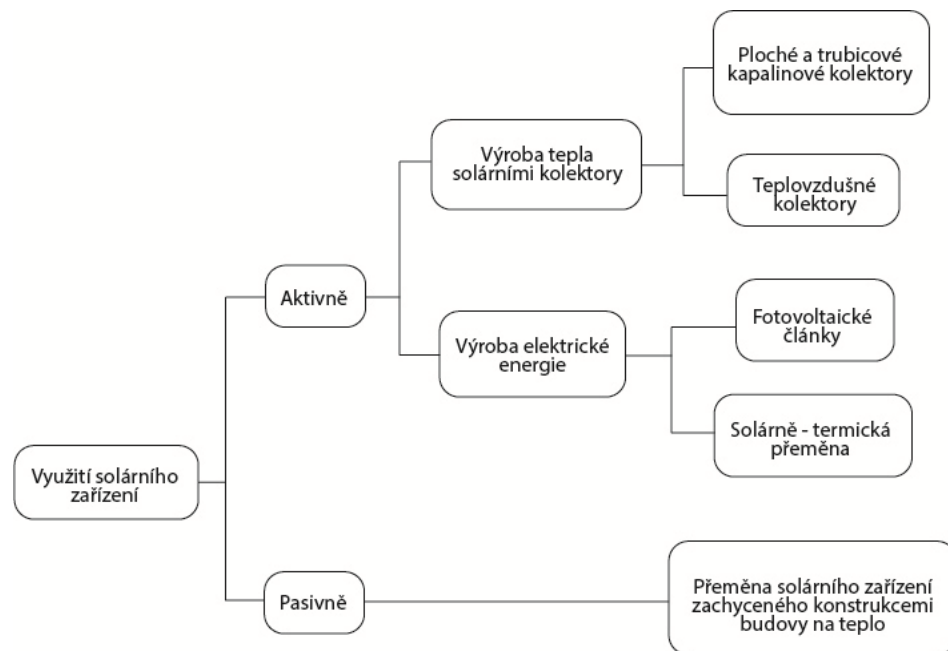
Přeměna světelného záření na teplo (tzv. fototermální přeměna) může být pasivní (principy tzv. solární architektury – vhodně orientované prosklené fasády, zimní zahrady apod.) nebo aktivní (pomocí přídavných technických zařízení – sluneční kolektory). Elektrickou energii lze v našich podmínkách získávat především s využitím tzv. fotovoltaického jevu pomocí fotovoltaických článků. Další možností je koncentrace slunečního záření do jednoho bodu za pomoci soustavy zrcadel, kdy dojde k vypaření média v daném bodě a následně se parametry páry využijí na lopatkách turbíny napojené ke generátoru elektrické energie. V této kapitole blíže rozdělíme možnosti získávání energie ze slunečního záření, vytkneme výhody a nevýhody solárních systémů a popíšeme hlavní zástupce aktivních i pasivních solárních systémů s důrazem právě na pasivní možnosti získávání energie. [8]

### 2.1 Rozdělení solárních systémů

Solární systémy rozdělujeme v zásadě dvěma způsoby a to na pasivní a aktivní systémy dle způsobu využití energie dopadajícího slunečního záření. První způsob využití je v ČR značně opomíjen a přehlížen v porovnání např. s jihoevropskými státy. Jedná se o využití sluneční energie bez speciálního technického zařízení určeného k tomuto účelu, např. slunečního kolektoru. Typickým představitelem staveb určených speciálně pro pasivní využití solární energie je skleník. Dalšími možnostmi pasivního získávání energie ze slunečního záření je volba orientace budovy vůči světovým stranám, vnitřní uspořádání

budovy, volba a rozmístění slunečních oken, zimní zahrada, Trombeho stěna<sup>7</sup>. Odvětví, zabývající se využitím sluneční energie při návrhu a realizaci staveb, se nazývá solární architektura. O pasivních solárních systémech detailněji pojednává kapitola 2.2. [2]

Aktivní systémy zachycují sluneční energii pomocí slunečních kolektorů, fotovoltaických článků, parabolických zrcadel apod. a přeměňují ji primárně na tepelnou či elektrickou energii. Hlavním kritériem rozdělení je tedy způsob transformace energie slunečního záření. Tepelné systémy převádí energii do teplotnosného média, kdežto fotovoltaické systémy převádí záření na polovodičových panelech (hlavně křemík) na energii elektrickou. Na Obr.: 11 je graficky znázorněno základní rozdělení možností využívání energie ze slunečního záření za pomoci solárních systémů.



Obr.: 11 - Možnosti využití slunečního záření

Jak již bylo zmíněno, tak aktivní solární systémy se dělí na systémy vyrábějící tepelnou či elektrickou energii. Tepelné solární systémy umožňují přenesení energie vyzařované ze Slunce na teplotnosné médium ve formě tepla a zvýšit tak teplotu média, které se dá využít pro ohřev vody či vytápění. Vzhledem k orientaci diplomové práce na pasivní solární systémy

<sup>7</sup> Speciální konstrukční prvek využívající sluneční záření k vytápění či ventilaci (chlazení) budovy, podrobněji v kapitole 2.3.4.

budou principy aktivních systémů popsány pouze obecně a bez hlubšího matematicko-fyzikálního popisu.

## 2.2 Aktivní solární systémy

Základní dělení těchto systémů je na základě použitého teplotnosného média. Jsou to systémy kapalinové nebo vzduchové. Dále systémy dělíme dle: [7]

- funkce (využití pro):
  - ohřev vody v bazénu
  - ohřev užitkové vody (pitné)
  - ohřev užitkové vody a vytápění
  - chlazení a klimatizace
- dle oběhu teplotnosného média:
  - se samotížným oběhem
  - s nuceným oběhem
- dle použití dodatečného ohřívání:
  - s dohříváním
  - bez dohříváním
- dle cyklu média:
  - otevřené, tj. beztlakové
  - uzavřené, tj. tlakové

Nejrozšířenějším druhem tepelných solárních systémů jsou systémy s kapalinovými kolektory, protože kapaliny mají větší měrnou tepelnou kapacitu než vzduch. Díky tomu lze stejné množství tepelné energie přenést menším objemem média. Druh média většinou závisí na způsobu provozu solárního systému. Pokud je systém v provozu pouze sezónně, tak se nejčastěji využívá destilované vody jako teplotnosného média. V případě, že je systém v provozu celoročně, pak je vhodnější využít nemrznoucí směs (nebo syntetickou kapalinu s nízkou teplotou tuhnutí a vysokou teplotou varu). [8]

Systemy se slunečními kolektory jsou často spojeny s potřebou akumulace tepelné energie, zejména pak z důvodu velkého časového rozdílu mezi dobou vyrobením této energie a její spotřebou. V komerční sféře je aktivní využití solární energie v ČR relativně hojně rozšířeno. Prudký vzestup fotovoltaiky nastal po tzv. solárním boomu, kdy nevhodně nastavené výkupní ceny vyrobené energie z fotovoltaických systémů snížily návratnost investic natolik, že to přitáhlo mnoho investorů (i zahraničních), což způsobilo nárůst výstavby obřích solárních parků. Jedním z důvodů malého rozšíření v domácnostech je investiční náročnost a dlouhá doba návratnosti investic do fotovoltaických zařízení. Proti hojnějšímu využití tepelných solárních systémů v domácnostech stojí fakt, že v zeměpisných šířkách a atmosférických podmínkách ČR dosahují hodnoty intenzity slunečního záření a poměrné doby slunečního záření relativně nízkých hodnot, např. porovnáme-li tyto hodnoty se státy jižní Evropy (kde je využití solární energie denní praxí každé domácnosti). [5]

## 2.2.1 Fotovoltaické systémy

Fotovoltaický jev je přímá přeměna energie slunečního záření na elektrickou energii za pomoci fotovoltaických článků/panelů. Avšak výroba těchto panelů je hlavní nevýhodou fotovoltaických systémů - jedná se o technologicky náročný proces a proto relativní cena vyrobené elektrické energie je vysoká. Právě proto jsou fotovoltaické systémy vhodné zejména tam, kde není k dispozici připojení k distribuční síti nebo kde se jedná o napájení mobilního spotřebiče. Na druhou stranu cena panelů v posledních letech klesá díky postupné optimalizaci technologie výroby, tudíž se návratnost vložené investice zkracuje a začíná být výhodnější i pro jednotlivce za daných podmínek. [3]



Obr.: 12 - Malá fotovoltaická elektrárna na střeše nízkoenergetického domu [2]



Fotovoltaický jev objevil A. Becquerel již v roce 1839. Nicméně účinnost a praktické využití těchto prvotních experimentů pro výrobu elektrické energie bylo takřka nulové. Pro praktické využití byly smysluplné až křemíkové fotovoltaické články vyrobené v Bellových laboratořích v USA v roce 1954. [5]

Nejpoužívanějším materiálem pro fotovoltaické články je křemík. Křemík je krystalická látka se čtyřmi valenčními elektrony a má vlastnosti polovodiče - zahřátím nebo osvětlením dochází k prudkému zvýšení jeho vodivosti. Při absorpci fotonu z dopadajícího slunečního záření (konkrétně viditelného světla a blízkého infračerveného záření) dojde k přenosu jeho energie na elektron ve valenční sféře atomu křemíku. Elektron se uvolní a v krystalové mřížce zůstane jeden přebytečný kladný náboj, tzv. díra. Do této díry mohou přejít elektrony z jiného atomu křemíku a tak se díra může ve vrstvě pohybovat - obrazně řečeno se chová jako kladný volný nosič náboje. Následnou další absorpcí fotonů se generují v krystalové mřížce nosiče náboje - dvojice elektron a díra. K získání potenciálu je třeba tyto dvojice oddělit, a proto se využívá polovodičového PN přechodu. PN přechod je složen ze dvou vrstev - jedna obsahuje příměs prvku s menším počtem valenčních elektronů (typicky bor, který má tři valenční elektrony) a druhá vrstva obsahuje příměs prvku s větším počtem valenčních elektronů (typicky fosfor s pěti valenčními elektrony). Vrstva s nedostatkem elektronů se nazývá polovodič typu p, vrstva s přebytkem elektronů se nazývá typ n a jejich spojení se nazývá PN přechod. Na rozhraní dojde k přechodu části elektronů z vrstvy, kde je jich více, do vrstvy, kde je jich méně. V důsledku toho se objeví na PN přechodu elektrické pole (rozdíl potenciálů), které přesun dalších elektronů pochopitelně zastaví. Toto elektrické pole dokáže oddělit elektrony a díry vzniklé absorpcí fotonu - elektrony pošle do n-polovodiče, díry do p-polovodiče. Díky tomu vznikne na sběrných kontaktech elektrické napětí a po připojení zátěže začne obvodem protékat elektrický proud. [3, 5]

### 2.2.2 Koncentrační zrcadlové systémy

Koncentrační zrcadlové systémy dělíme do dvou základních skupin. Zrcadlové systémy, které soustřeďují sluneční záření pomocí soustavy zrcadel (reflektorů) a čoček (refraktorů) do jednoho bodu (ohniska) většinou na vrcholu věže, se nazývají věžové. Druhou skupinou jsou systémy s parabolickými zrcadly ve tvaru žlabu, které koncentrují sluneční záření průběžně po délce slabého potrubí protékaného teplonosným médiem, nazývané žlabové.

Principem těchto systémů je koncentrace (soustředění) přímého slunečního záření na nádobu s teplotním médiem, kterému se předá tepelná energie. Je několik možných cest využití této energie, většinou se však využívá vhodnějšího přístupu s ohledem na místní podmínky. Jedna možnost je využití tepelné energie k hromadnému vytápění budov, tj. centrálnímu rozvodu tepla. Tato možnost je využívána minimálně, spíše pak v kooperaci s přeměnou na pohybovou energii. Přeměna tepelné energie na pohybovou je druhou možností využití energie z média koncentračních systémů. Teplo média se využívá k výrobě páry, která je následně vháněna na lopatky turbíny a rotace turbíny je přes hřídel přenášena na rotorovou část generátoru elektrické energie.



Obr.: 13 - Věžová koncentrační elektrárna [11]

Parametry koncentračních systémů se značně liší od kolektorových systémů. Teploty média mohou dosahovat až tisíce stupňů Celsia a s tím jsou spojeny technologické problémy adaptace systému na takto vysokou teplotu (materiály, konstrukce aj.). Nevýhodou koncentračních systémů je jeho vliv na intenzitě přímého slunečního záření, nikoliv celkového (s difúzním zářením). Z tohoto důvodu nejsou podmínky na území ČR vhodné pro využití koncentračních systémů a tyto systémy se u nás prakticky nevyužívají. [11]

### 2.2.3 Kolektorové tepelné systémy

Z názvu systému vyplývá, že nejdůležitější částí kolektorových systémů je solární kolektor. Kolektory slouží ke sběru slunečního záření a následnému převedení na teplo v teplotním médiu. Množství absorbované energie kolektorem je silně závislé na jejich konstrukčním provedení. Společnými předpoklady kolektorových systémů je maximální absorpce sluneční energie a co nejmenší odrazivost kolektorů. Povrch solárních kolektorů se většinou natírá černým matným nátěrem (dále černým chromem či vysoce selektivním nátěrem), což přispívá k absorpci dopadající sluneční energie. Obvykle se účinnost kolektorů pohybuje okolo 85 - 95 %. Velikost a konstrukční provedení je navrhováno s ohledem na snadnou manipulaci s kolektory, potřebnou odolnost proti klimatickým podmínkám

(dostatečná robustnost) a ekonomickou stránku. Dle tvaru dělíme kolektory na ploché a trubicové, speciálním typem jsou kolektory vakuové a dle použitého teplotního média pak na vzduchové a kapalinové. [15]



Obr.: 14 - Plochý solární kolektor [2]

### 2.3 Pasivní solární systémy

Pasivní solární systémy nevyžadují pro svou činnost žádné speciální zařízení zabezpečující transport energie, proto název pasivní. Mezi pasivní systémy lze zařadit každou budovu či její část, kde její architektura je navržena tak, aby tepelné zisky z dopadajícího slunečního záření do interiéru pasivními solárními prvky bylo možno co nejlépe využít. Za nejvýhodnější pasivní využití sluneční energie se považuje akumulace tepla v konstrukčních prvcích budovy (sluneční záření prostupuje transparentní izolací - oknem, a posléze předává energii stěnám a stropu, resp. podlaze) a v následném využití této energie na vytápění nebo chlazení (klimatizaci) budovy. Touto problematikou se zabývá tzv. sluneční architektura. Sluneční architektura se zabývá hlavně výstavbou a projektováním novostaveb, kde je poměr energetických zisků a nákladů výrazně menší než u přestaveb a renovací objektů. [16]

Pasivní solární systémy dělíme: [5]

- dle způsobu využití sluneční energie
  - přímé - průchod slunečního záření (okna)
  - nepřímé - akumulace energie (akumulační stěny)
  - hybridní - kombinace přímého a nepřímého využití sluneční energie

- dle umístění v konstrukci
  - prvky v obvodových stěnách (okna, orientace zejména na jih)
  - střešní prvky
  - přídatné prvky

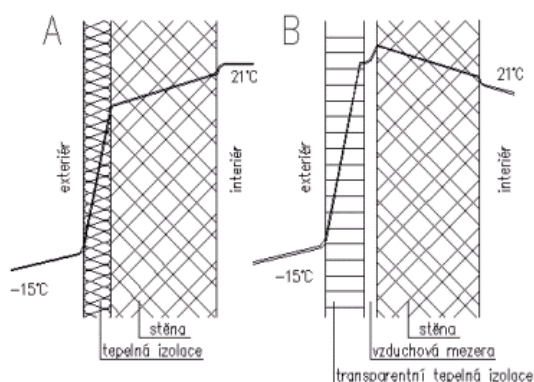
Jako pasivní solární prvek se považuje již samotná orientace budovy ke světovým stranám a návrh prostorového uspořádání budovy. Nejčastěji využívanými prvky solární architektury jsou prosklené plochy na jižní straně budov, zimní zahrady, prosklené lodžie, solární okna či verandy. Dalšími možnostmi akumulace energie jsou systémy rolet, žaluzií, pergol a dalších stínících prvků nebo systémů využívajících rekuperace tepla vzduchu při přirozeném či nuceném koloběhu v objektu. V neposlední řadě se také jedná o speciální stavební úpravy či materiály jako tzv. Trombeho stěny či transparentní tepelné izolace (speciální omítka). V následujících kapitolách jsou detailněji popsány principy a funkce zmíněných způsobů pasivního využívání sluneční energie pro vytápění budovy. [8, 16]

### 2.3.1 Zásady návrhu budovy

Ne vždy jsou místní podmínky ideální pro maximální pasivní využití slunečního záření. Popišme si tedy ideální případ lokality a jejího okolí, vnitřního uspořádání budovy (tzv. tepelné zónování v půdoryse) a umístění solárních prvků zaručující nejvýhodnější pasivní využití dopadajícího slunečního záření.

Budova by měla být umístěna na jižním svahu. Z jižní strany by měl být prostor otevřený a nezastíněný, příp. lze využít částečného zastínění listnatými stromy, které v létě propouští pouze část intenzity slunečního záření a v zimě, kdy mají opadané listy, propouští teoreticky plnou intenzitu slunečního záření. Naopak západní a severní strana by měla být chráněna před větrem buďto pokračujícím svahem nebo větrolamem (les, alej aj.). Ve vnitřním uspořádání budovy by mělo být zohledněno použití a doba využití jednotlivých místností. Nejvíce obývané místnosti by měly být situovány na jih či jihozápad, kuchyně, která je využívána především dopoledne, na východ či jihovýchod, technické místnosti, chodby či schodiště na západ a sever. Tímto dosáhneme dodržení zásad tepelného zónování v půdoryse a snažíme se tím vytvářet akumulační jádra budov. Okna se snažíme neumísťovat na návětrnou nebo severní stranu, případně zde umístíme okna pouze malých rozměrů. Největší solární zisk se

snažíme dostat z jižního průčelí, kde umístíme nejvíce oken a dalších pasivních solárních systémů. Samozřejmostí je kvalitní použitá tepelná izolace budovy. V neposlední řadě by měla být členitost budovy minimální - nejlepší tvar s ohledem na tepelné úniky a plochu, která může akumulovat sluneční záření, je kostka či kvádr. Proto je také většina nízkoenergetických budov či pasivních domů navrhována v podobně nečlenitém tvaru. [1]



**Obr.: 15 - Řez zdi s klasickou tepelnou izolací a zdi s transparentní izolací - s průběhy teplot [3]**

Samozřejmostí by mělo být použití kvalitní tepelné izolace na celém objektu. A zejména pak kvalitní instalace. Dnes nejvíce využívanými izolacemi budov jsou minerální vata (MW<sup>8</sup>), pěnový polystyren (EPS<sup>9</sup>) a jejich kombinace. Moderní materiály jsou tepelně izolační omítky (tj. termo omítky), izolace na bázi tuhé fenolické pěny<sup>10</sup> nebo transparentní tepelná izolace (skleněná nebo plastová izolace s dobrou propustností slunečního záření a nízkou tepelnou ztrátou - viz *Obr.: 15*). Mezi alternativnější a méně často využívané materiály patří různé dřevovláknité desky, již od pradávna používaná sláma, izolace z bavlny a ovčí vlny. Velmi zřídka se pak lze setkat s exotičtějšími izolačními materiály jako korek, konopí či rákos. [13]

### 2.3.2 Solární okno

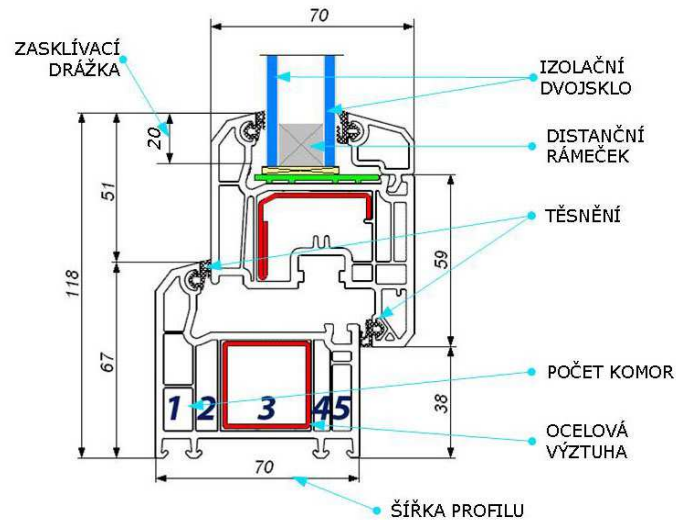
Samotné okno je samozřejmě také považováno za pasivní solární systém. Jde o přímý systém, který je součástí pláště budovy a je jedním z velmi zranitelných míst, co se tepelných ztrát týče. Tepelné ztráty oken jsou důležitým parametrem a započítávají se při celkovém energetickém hodnocení budov (energetický štítek budovy, energetická známka budovy).

<sup>8</sup> z angl. mineral wool

<sup>9</sup> z angl. expanded polystyren (expandovaný, tj. pěnový)

<sup>10</sup> tepelně izolační desky s nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti (až  $0,02 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

Účinnost solárních oken je závislá na jejich propustnosti, tj. na počtu skel, jejich znečištění a na použité náplni. I když má trojitě zasklené okno v zásadě menší propustnost než dvojitě, tak na druhou stranu má i menší tepelnou ztrátu - je tedy nutné najít kompromis mezi propustností, tepelnou ztrátou a ekonomickou stránkou (trojitě zasklená okna jsou samozřejmě dražší).



Obr.: 16 - Řez jednoduchým oknem s dvojsklem [14]

V současné době existuje velké množství typů zasklení a izolace solárních oken. Pro jednoduchost si rozdělíme izolační zasklení na starší, se součinitelem prostupu tepla  $U_g > 2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ , a současně používané, s  $U_g < 1,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Typickým příkladem staršího typu zasklení je dvojsklo, tj. dvě skleněné tabule s dutinou vyplněnou vzduchem. Tato starší technologie izolačního zasklení dosahuje součinitele prostupu tepla okolo  $2,5 - 3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Pro splnění stále vyšších energetických nároků na budovy bylo třeba zásadně vylepšit tepelně-izolační schopnost oken. Proto současně používaná okna se vyplňují speciálním plynem a využívá se skel s nízkou emisivitou  $\epsilon$ . Díky tomu se takové izolační zasklení dostává na hodnotu koeficientu prostupu tepla menší než  $1,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . K prostupu tepla dochází čtyřmi způsoby: [2]

- konvekcí (prouděním) v mezeře
- radiací (sáláním) mezi protilehlými povrchy skel
- kondukcí (vedením) přes plynovou výplň mezery
- kondukcí (vedením) přes distanční profily

Ztráty sáláním mezi protilehlými povrchy zasklení lze rapidně snížit snížením emisivity  $\epsilon$ . Snížení emisivity se dosahuje pomocí velmi tenké vrstvy stříbra a oxidů kovů na povrchu skel. To způsobí odraz dlouhovlnného tepelného záření, tj. teplo z místnosti je odraženo zpět do místnosti. Kovová vrstva je natolik tenká, 0,01 - 0,1  $\mu\text{m}$ , že je propustná pro téměř celé spektrum viditelného světla a odráží pouze dlouhovlnné tepelné záření. Zároveň takto upravené zasklení dosahuje vysoké světelné propustnosti  $\tau$ .

Dalším důležitým faktorem snižujícím součinitel prostupu tepla zasklením je druh plynu v mezeře mezi skly. Dnes jsou používány hlavně vzácné plyny jako Argon, Krypton, Xenon a  $\text{SF}_6$ <sup>11</sup>. V následující *Tab.: 6* jsou vypsány hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_g$  v závislosti na tloušťce mezery  $d$  a druhu použitého plynu s vlastní tepelnou vodivostí  $\lambda_j$ .

*Tab.: 6 - Součinitel prostupu tepla okny v závislosti na tloušťce mezery a použitého plynu [3]*

plyn	$\lambda_j$ ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	$U_g$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ) s tloušťkou mezery $d$ (m)		
		0,006	0,012	0,018
vzduch	0,0258	3,3	2,93	2,8
xenon	0,0054	2,75	2,59	2,56
argon	0,0173	3,04	2,75	2,66
krypton	0,0093	2,6	2,53	2,54

Energetické ztráty zasklení lze také snížit vložením velmi tenké fólie do dutiny mezi skly. Zasklení s fólií dosahuje tepelně-izolačních vlastností trojskla při udržení hmotnosti obyčejného dvojskla. Je třeba, aby měla použitá fólie nízkou hodnotu emisivity  $\epsilon$ , v praxi běžně kolem hodnoty 0,12. Kvalitní dvojitá okna s fólií dosahují součinitele prostupu tepla  $U_g$  cca 0,3 - 0,7  $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . [3]

### 2.3.3 Sluneční skleník

Principem tohoto pasivního systému je funkce obyčejného skleníku (paňíku). Jde o nepřímý systém, který tvoří prosklený samostatný prostor bez dalšího zdroje tepla. Teplo ze skleníku se do přilehlých místností přenáší sáláním (radiací) společné stěny nebo prouděním (konvekcí) teplého vzduchu. Jedná se o jednodušší systém, proto i jeho účinnost je nízká a pohybuje se okolo 15 - 35 %. Vzhledem k nízkým solárním ziskům a vysokým tepelným

<sup>11</sup> Fluorid sírový, tj. hexafluorid síry



ztrátám v zimních obdobích se jedná spíše o doplňkový systém pro přitápění. Praktické využití nalézá sluneční skleník zejména ve formě zimních zahrad, zasklených teras, verand či atrií. V poslední době jde energetické využití těchto systémů ruku v ruce se zajímavým vizuálním vzhledem a proto se tyto systémy stávají i módními prvky budov. [4]



Obr.: 17 - Sluneční skleník [17]

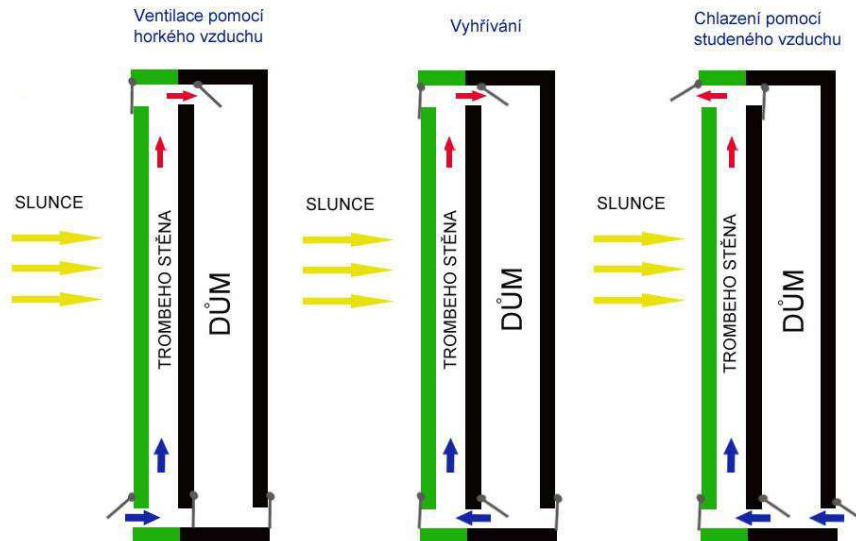
#### 2.3.4 Solární akumulční stěna

Také označována jako tzv. Trombeho stěna. Jde o nepřímý systém tvořený masivní stěnou natřenou tmavou barvou ze strany exteriéru s předsunutým transparentním průčelím (sklo) a vzduchovou mezerou cca 10 cm. U podlahy a u stropu jsou uzavíratelné průduchy pro dodatečnou regulaci a přepnutí letního režimu a zimního režimu. Tepelná kapacita stěny by měla být optimalizována pro okrajové měsíce topné sezóny, tj. duben a říjen. Stěny jsou nejčastěji keramické nebo vodní (využití vysoké tepelné kapacity vody).

Sluneční záření prochází skleněným průčelím a dopadá na akumulční stěnu, ve které se energie přemění na teplo a akumuluje se. Přitom se ohřívá vzduch ve vzduchové mezeře, ten následně stoupá vzhůru a způsobuje cirkulaci vzduchu. Směr cirkulace lze měnit uzavíratelnými průduchy a nastavovat tak systém do letního a zimního režimu - viz *Obr.: 18*. Při poklesu teploty v budově oproti stěně se naakumulované teplo šíří sáláním (radiací) do okolí. V zimním režimu jsou průduchy nastaveny tak, že se ohřátý vzduch ve vzduchové mezeře přivádí do vytápěné místnosti, kde prouděním (konvekcí) předává svoji energii a prochází budovou po směru gradientu teploty až k ventilačnímu otvoru na studené severní straně. V letním režimu se naopak přivádí z ventilačního otvoru čerstvý studený vzduch, ten ochlazuje tuto místnost a přes průduchy ve stěně samovolně odchází ven z budovy za pomoci



komínového efektu ve vzduchové mezeře. Průduchy lze plynule regulovat dle potřeby na vytápění/klimatizaci místnosti. [2]



Obr.: 18 - Trombeho stěna - zimní a letní provoz [14]

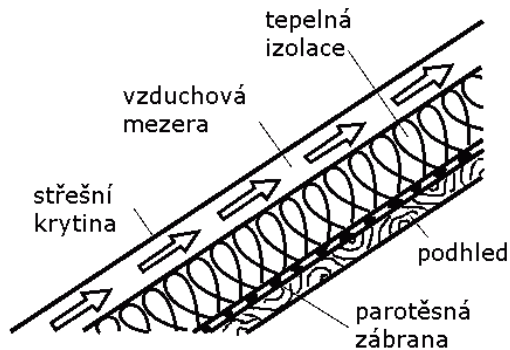
### 2.3.5 Nezasklený solární vzduchový kolektor

Základem je děrovaný, tmavý trapézový plech, který je umístěn cca 2 - 4 cm od finální zateplené obvodové vrstvy budovy. Ve vzniklé vzduchové mezeře se ventilátorem vzduchotechnického systému vytváří podtlak a tím dochází k nasávání vzduchu do mezery skrze děrování. Jak vzduch postupně stoupá vzhůru, tak se ohřívá a následně je nasáván do stávajícího vzduchotechnického rozvodu objektu. Navíc plech snižuje tepelné ztráty stěny tím, že vytváří další dodatečnou vrstvu pro prostupující teplo. Teplota vzduchu mezi plechem a stěnou se může zvýšit o 10 - 25 °C. Účinnost těchto systémů je vysoká a pohybuje se okolo 60 - 70 % [2]. Jak bylo řečeno, tak se tyto systémy montují na již stávající finální zateplenou vrstvu fasády objektu při orientaci na jih a bez oken (aby je plech zbytečně nezakrýval, pak by měly spíše efekt tepelného mostu). Praktické využití získávají zejména na průmyslových objektech, výrobních halách, skladech apod. [4]

### 2.3.6 Energetická fasáda a energetická střecha

Tyto systémy se skládají z jednoduchých vzduchových kolektorů, jejichž transparentní vrstvu tvoří skleněná deska a absorpční povrch zastupuje stávající konstrukční prvek budovy - fasáda nebo střecha. Systémy fungují obdobně jako Trombeho stěna, viz kapitola 2.3.4.

V zimním provozu se teplo zachycené fasádou využívá pro vytápění objektu - radiací a konvekcí. V letním období funguje fasáda jako větrací šachta s přirozenou cirkulací vzduchu a je tak schopna odvádět velkou část tepelné zátěže dopadající na osluněnou stranu budovy. Na *Obr.: 19* je v řezu zobrazena skladba konstrukce energetické střechy. [2]



**Obr.: 19 - Energetická střecha - řez [2]**

Vztlak, který je nutný pro přirozenou cirkulaci vzduchu v systému za letního provozu, je závislý na výškovém rozdílu mezi vstupem vzduchu do systému a výstupem vzduchu z něj. Proto se často využívá kombinace těchto dvou systémů, kdy se dosáhne většího rozdílu vstupu a výstupu vzduchu. V realizaci samotné energetické střechy se naopak nedoporučuje využití tohoto systému pro střechy se sklonem menším než 30° právě s ohledem na nedostatečný vztlak pro cirkulaci vzduchu v systému.

Speciálním typem je dvojitá transparentní fasáda tvořená dvěma vzájemně odsazenými skleněnými deskami. Tento systém se aplikuje zejména u prosklených komerčních (kancelářských) budov, kdy je fasáda tvořena převážně z velkorozměrových skleněných segmentů, které jsou vytvořeny spojením dvou skel se zanecháním vzduchové mezery. V současnosti se do těchto segmentů zabudovává stínění zabraňující přehřívání objektu (více v následující kapitole 2.3.7) a tvoří tak multifunkční prvek, který splňuje jak funkční požadavky, tak estetické (*Obr.: 20*). [16]



Obr.: 20 - Ukázka využití dvojitě transparentní fasády se zabudovanými stínícími prvky [17]

### 2.3.7 Protisluneční ochrany a ochrany proti oslnění

Při návrhu pasivních solárních systémů je třeba počítat s tím, že v letním období mohou být tepelné zisky nežádoucí. Důvodem toho je optimalizace pasivního systému na období největší potřeby - zimu, proto v létě dochází k přehřívání objektu způsobené značným rozdílem mezi vysokými tepelnými zisky a teoreticky nulovými tepelnými ztrátami. K ochraně proti nadměrným tepelným ziskům se využívají zejména různé stínící zařízení či stavební prvky. Tyto stínící systémy mají za úkol chránit vnitřní prostory před přehříváním a oslněním (v létě), zdánlivě naproti tomu musí zajistit požadované osvětlení místnosti denním světlem a zároveň zabraňovat úniku tepla (zejména v zimě). [1]

Protisluneční ochrany dělíme do tří hlavních kategorií [16]:

- Záměrné clonění okenních otvorů
  - pevné clony - rošty, lamely či prostorové mřížoviny
  - pohyblivé clony - markýzy, pohyblivé lamely, žaluzie
- Použití okenních výplní se skly se sníženou propustností slunečního záření
  - speciální skla s nízkou hodnotou tepelné propustnosti
  - antireflexní fólie (přilepením na původní sklo)
- Clonění fasád
  - mechanické systémy - vnější žaluzie, statické lamelové mříže

- skleněná omítka se selektivní propustností (v závislosti na úhlu dopadajícího záření)

U slunečních oken, jakožto u základního prvku pasivních vytápěcích systémů, je stínění realizováno pevnými či pohyblivými stínícími prvky na fasádě budovy. Cílené využití pohyblivých protislunečních ochranných zařízení jako žaluzií, lamel, závěsů apod. je možné automaticky přizpůsobovat našim požadavkům (minimální stínění v zimě a naopak maximální v létě), nicméně tyto automatické systémy potřebují poměrně složitá regulační zařízení, proto se ve většině případů opouští od automatizace a je tedy na uživateli, jak a jestli budou tyto systémy využívat k vytápění, stínění či kombinaci obojího. U pevných výstupků na fasádě budovy, ať vodorovných stínících stříšek nebo svislých zástěn, je třeba počítat s časově proměnlivými parametry dráhy Slunce na obloze, čímž je také délka stínu těchto zástěn proměnlivá v průběhu dne, ale také v průběhu celého roku. [1, 16]

Délka stínu vodorovné zástěny  $e_1$  se vypočte dle rovnice (18). Kde  $c$  je šířka stříšky,  $h$  je výška slunce nad obzorem (v obloukových stupních),  $a$  je azimut slunce a  $a_s$  je azimut oslněné plochy (oba azimuty také v obloukových stupních).

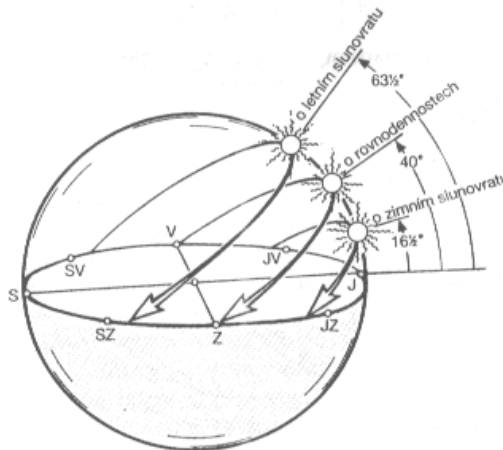
$$e_1 = c \frac{\operatorname{tg}(h)}{\cos(a - a_s)} \quad (m) \quad (18)$$

Při použití svislých zástěn je třeba počítat s posunem slunce po své zdánlivé dráze na obzoru, tj. svislá zástěna směřující na jih vrhá dopoledne stín na jednu stranu a odpoledne zase na druhou. Sluneční okna a ostatní typy pasivních systémů, které je vhodné chránit proti oslnění, je třeba stínit svislými zástěnami z obou stran, abychom využili chtěného efektu co možná nejvíce. Délka stínu vržená svislou zástěnou  $e_2$  se spočte dle rovnice (19), kde  $d$  je šířka zástěny.

$$e_2 = d \cdot \operatorname{tg}(a - a_s) \quad (m) \quad (19)$$

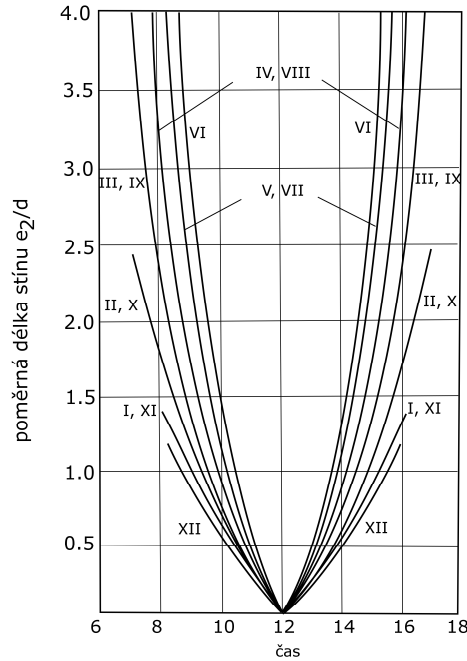
Hodnoty výšky slunce  $h$  a azimutu slunce  $a$  jsou tabelizovány pro tzv. charakteristický den v měsíci (každý 21. den měsíce) a při výpočtech se tyto hodnoty uvažují jako průměrné

(střední) hodnoty pro celý měsíc. Pro zjednodušení výpočtů byly z těchto charakteristických hodnot sestaveny tabulky poměrné délky stínů  $e/c$  vrženého svíslou a vodorovnou stínící plochou při azimutech  $a_s = \pm 0^\circ, \pm 15^\circ, \pm 30^\circ$  a  $\pm 45^\circ$ . Z těchto tabulek lze následně snadno vypočítat skutečnou délku stínu pro danou šířku zástěny. Na Obr.: 21 je znázorněn pohyb slunce po jeho zdánlivé dráze na obloze - v rámci dne, ale i celého roku. [2]

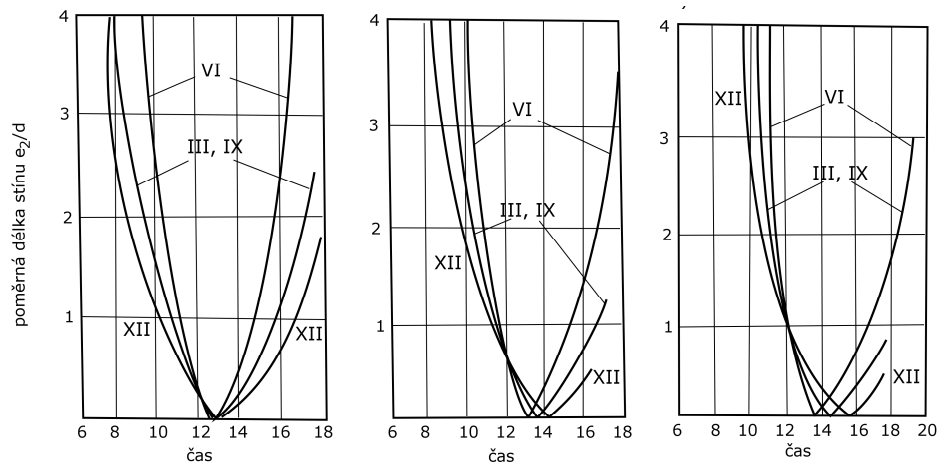


**Obr.: 21 - Znázornění pohybu slunce k určení polohy a úhlu dopadajícího záření [4]**

Z denních průběhů poměrných délek stínů vodorovných zástin je patrná vhodnost jejich využití pro stínění pasivních solárních systémů - viz Obr.: 22 a Obr.: 23. Při různé orientaci splňují vodorovné zástiny základní požadavky - minimální stínění v zimě a maximální stínění v létě. Je patrné, že tyto podmínky jsou splněny, neboť stín je velmi krátký v zimních měsících (říjen - únor) a naopak nejdelší v měsících letních (duben - srpen). Pro systémy orientované na jih jsou denní průběhy symetrické dle osy procházející 12. hodinou na časové ose, kdežto při natočení systému se křivky značně deformují, přičemž i při různém natočení systémů vůči jihu stínění splňuje základní požadavky.

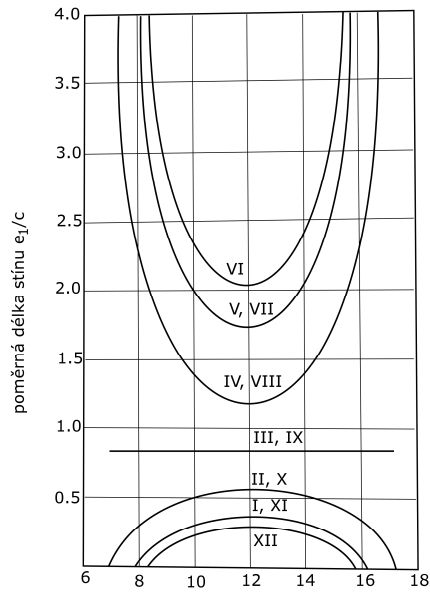


Obr.: 22 - Denní průběh poměrné délky stínu vrženého svislou zástěnou orientovanou na jih [1]

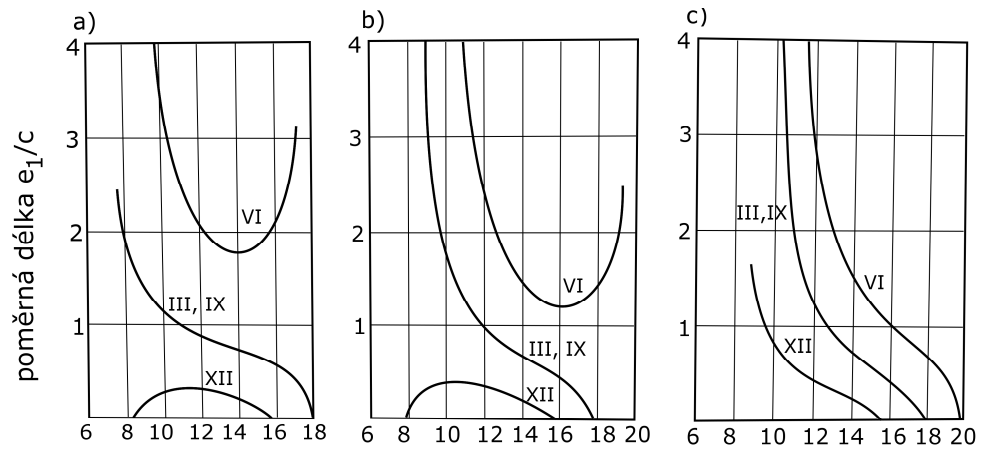


Obr.: 23 - Denní průběh poměrné délky stínu vrženého svislou zástěnou pro různé azimuty  
- vlevo  $a_s = 15^\circ$ ; uprostřed  $a_s = 30^\circ$ ; vpravo  $a_s = 45^\circ$  [1]

Naopak u průběhů poměrných délek stínů svislých zástin (viz Obr.: 24 a Obr.: 25) lze říci, že jejich využití pro stínění pasivních solárních systémů je nevhodné. Průběhy se neztotožňují se základními požadavky - to je nejvíce patrné v letních měsících, kdy dochází k největšímu stínění ráno a poté večer, ale prakticky nestíní v poledne, kdy je sluneční záření nejintenzivnější a dochází tak k největším solárním ziskům a může docházet k přehřívání objektu. Často se používá kombinace vodorovných a svislých zástin, nicméně funkční stránku zastávají vodorovné stínící prvky a svislé stínící prvky plní spíše estetickou funkci (nebo stavební, kdy jsou součástí podpěrné konstrukce apod.). [1, 16]



Obr.: 24 - Denní průběh poměrné délky stínu vrženého vodorovnou stříškou orientovanou na jih [1]



Obr.: 25 - Denní průběh poměrné délky stínu vrženého vodorovnou stříškou pro různé azimuty -  
a)  $a_s = 15^\circ$ ; b)  $a_s = 30^\circ$ ; c)  $a_s = 45^\circ$  [1]

### 3 Dlouhodobé měření na modelovém objektu

Hlavním cílem dlouhodobého měření je ověřit funkci instalovaných pasivních solárních systémů na budově fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni (FEL ZČU). Sledovanými systémy byly prosklené prvky fasády - solární okna, v kombinaci s různými stínícími prvky - okolní prostředí, žaluzie, rolety aj. Měření bylo zaměřeno ke zjištění vlivu stínících prvků na dynamiku teploty solárního okna a následnému posouzení jejich vlivu na parametry prostředí v budově.

#### 3.1 Specifikace modelového objektu

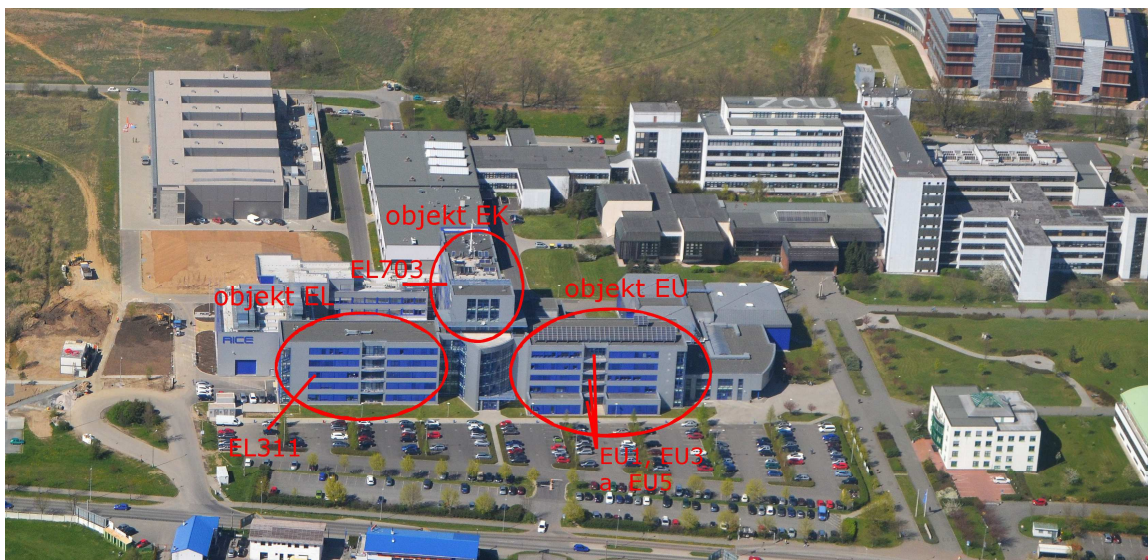
K měření vlivu pasivních solárních systémů na provoz budovy bylo využito prostor fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. V kapitole 2.3.1 byla řešena otázka zásad při stavbě budov s ohledem na co nejlepší zisk energie, což bylo bohužel při návrhu budovy FEL opomenuto. Snad jen okolní prostředí víceméně koresponduje se zásadami - v okolí není žádný signifikantní stínící prvek, na druhou stranu zde není žádná větrná bariéra, která by bránila, převážně západnímu, větru k odvodu absorbovaného tepla budovou (konstrukcí). Také tvarová jednoduchost a orientace budovy k jihu je v zásadě dodržena, nicméně vnitřní uspořádání nerespektuje uvedené zásady - většina dlouhodobě obývaných místností (zejména kanceláře) jsou převážně zastíněny po většinu dne, protože jsou situovány do severního výběžku budovy (krom horních pater) a orientace slunečních oken v tomto výběžku je buďto na východ nebo na západ, tj. zachytávají dopadající sluneční záření pouze v dopoledních hodinách a nebo pouze v odpoledních hodinách. V neposlední řadě je zcela nerespektována hlavní zásada o umístování solárních oken a volbě jejich velikosti s ohledem na orientaci vůči světovým stranám, tj. s ohledem na co největší solární zisky - největší prosklená plocha na jih, co možná nejmenší na sever a návětrnou stranu (v tomto případě západní).

#### 3.2 Popis dlouhodobého měření

Dlouhodobé měření vlivu pasivních solárních systémů na provoz budovy probíhalo od listopadu 2016 do dubna 2017. V tomto časovém horizontu bylo změřeno celkem 15 celodenních měření za co možná nejideálnějších klimatických podmínek - maximální intenzita slunečního záření, tj. bezoblačná obloha. Největším nedostatkem tohoto



dlouhodobého měření je nemožnost automatizace měřicího systému za pomoci čidel a počítačového řízení (mikroprocesor), tudíž měření a zápis jednotlivých dat byl prováděn ručně a až následné vyhodnocování naměřených dat bylo provedeno za pomoci výpočetní techniky.



Obr.: 26 - Letecký snímek budovy FEL s označením jednotlivých částí (objektů) a znázornění měřících míst

Hlavní část měření probíhala na pěti různých místech - viz. *Obr.: 26*. Tři měřicí místa byla zvolena na chodbách v části objektu FEL s učebnami (EU) - v prvním, třetím a pátém patře (dále jen EU1, EU3 a EU5), další měřicí místo bylo v laboratorní části (EL) v učebně EL311 a poslední měřicí místo bylo v učebně EL703, která se nachází v části objektu EK (dochází zde k změně značení místností, proto je učebna označena EL703 i přes to, že se nachází v objektu EK). Měřená solární okna v objektech EU a EL jsou orientována na jih, okna v místnosti EL703 jsou jako jediná orientována na západ. Měřicí místa v EU části objektu byla volena tak, aby každé z míst bylo stíněno jiným způsobem a bylo tak možné porovnat vliv daného stínění na množství dopadající sluneční energie.

### 3.3 Popis jednotlivých měřících míst

Již bylo řečeno, že prakticky celé měření bylo rozděleno do pěti místností dle jejich zastínění konstrukčními prvky, typů použitých stínících prvků a orientace vůči světovým stranám. První tři měřicí místa jsou na chodbách mezi učebnami v prvním, třetím a pátém patře části objektu EU a sledoval se na nich vliv svislých a vodorovných zástin - viz *Obr.: 27*. V učebně EL311 byl kladen důraz na změření vlivu pohyblivých stínících prvků solárních

oken, kdy bylo využito stávajícího systému stínících prvků - venkovní rolety, vnitřní žaluzie a jejich kombinace. Na posledním měřicím místě, učebna EL703, byl sledován vliv orientace solárního okna na západ s možnostmi akumulace energie za využití stávajících stínících prvků jako noční ochrany proti úniku tepla. V následujících kapitolách je popsán způsob, postup a realizace měření na jednotlivých měřicích místech.



Obr.: 27 - Pohled zvenku na měřená solární okna na měřicích místech EU1, EU3 a EU5

### 3.3.1 Měřicí místo EU1

Měřicí místo EU1 se nachází v prvním podlaží objektu EU budovy FEL ZČU mezi učebnami s označením EU1xx. Solární okno tvoří velkou kompaktní plochu, která je přerušena pouze kovovým rámem jednotlivých oken tvořících právě tuto prosklenou plochu. Toto solární okno je orientováno na jih s mírným odklonem k východu. V tomto případě není využito pohyblivých stínících prvků (žaluzie, rolety aj.), ale využívá se stínu vrhaného konstrukcí budovy - z Obr.: 28 a Obr.: 29 je patrné, že dochází k částečnému stínění shora od

balkónu v druhém patře, což vhodně slouží ke snížení nadbytečné sluneční energie v letních měsících. Navíc je sledované sluneční okno zasazeno (utopeno) mezi přednáškovými učebnami, které zde tvoří svislé stínící prvky z obou stran okna. Díky těmto svislým stínícím prvkům lze sledovat zkrácení doby oslunění  $\tau$  tohoto solárního okna, tzn. zmenšení možné energie, kterou lze pasivně využít k vytápění budovy. Nicméně velikost těchto stínících prvků není zvolena vhodně pravděpodobně proto, že se při návrhu s tímto vůbec nepočítalo - v zimních měsících, kdy slunce nevystoupá dostatečně vysoko na obzoru, dochází k zastínění tohoto slunečního okna po výraznou část dne a velmi výrazně to tak limituje možnosti správného využití tohoto prvku s ohledem na energetické zisky. Ukázka naměřených dat dne 22.11. 2016 je na konci této podkapitoly v *Tab.: 7*.



Obr.: 28 - Konfigurace měřených bodů na solárním okně v EU1





Obr.: 29 - Pohled zvenku na stínící prvky solárního okna v EU1

Tab.: 7 - Naměřené teploty solárního okna v EU1 dne 22.11. 2016

22.11.	pozice	bod 1	bod 2	bod 3	bod 4	bod 5	bod 6	bod 7	bod 8	čas měření
rámy	měření 1	13,4	10,7	13,6	11,9	21,2	20,4	23,5	24,2	8:30
	měření 2	13,4	10,7	13,6	11,9	21,2	20,4	23,5	24,2	9:15
	měření 3	15,8	13,5	16,4	15,1	22,6	22,3	24,7	25,2	10:00
	měření 4	21,7	20,2	23,2	22,5	26,6	25,7	29,4	28,8	10:40
	měření 5	26,4	25,5	28,6	27,8	29,9	29,1	32,0	32,5	11:20
	měření 6	30,3	29,8	30,2	31,1	31,9	31,4	32,7	32,3	12:25
	měření 7	31,7	33,1	31,5	32,3	32,4	31,9	24,8	23,0	13:10
	měření 8	31,5	32,9	31,4	32,2	21,6	21,1	20,3	18,2	13:45
	měření 9	27,4	26,1	24,2	27,8	17,9	17,3	18,6	16,3	14:30
	měření 10	21,5	19,9	19,9	20,9	17,1	17,0	16,9	15,6	15:20
	měření 11	17,1	15,1	17,6	16,3	14,6	14,8	14,9	15,1	16:10
22.11.	pozice	bod 9	bod 10	bod 11	bod 12	bod 13	bod 14	teplota zdi	čas měření	
okna	měření 1	14,4	14,6	12,8	19,9	20,0	19,8	21,5	8:30	
	měření 2	15,6	15,9	14,2	21,0	21,1	21,0	21,7	9:15	
	měření 3	20,1	20,6	20,5	28,6	30,3	30,5	23,1	10:00	
	měření 4	29,4	29,1	30,1	34,9	36,4	37,3	23,7	10:40	
	měření 5	35,9	36,5	38,9	37,9	39,1	40,6	24,1	11:20	
	měření 6	36,9	36,8	39,1	38,0	38,8	39,7	23,9	12:25	
	měření 7	32,6	33,2	34,6	26,3	25,7	26,1	23,5	13:10	
	měření 8	24,5	24,4	26,0	22,1	21,9	21,5	22,8	13:45	
	měření 9	22,2	22,0	23,2	21,3	21,1	21,2	22,7	14:30	
	měření 10	21,0	20,8	21,9	21,0	20,3	20,4	22,5	15:20	
	měření 11	19,8	19,5	19,8	19,6	19,2	19,0	22,4	16:10	

### 3.3.2 Měřící místo EU3

Pozice tohoto měřícího místa je zvolena analogicky k pozici EU1, pouze se nachází ve třetím podlaží. Typ, geometrické uspořádání, orientace vůči světovým stranám i velikost okna jsou identické jak pro EU1 a EU3, tak i pro EU5. Opět obdobně není využito žádných pohyblivých stínících prvků. Nicméně stínění tohoto solárního okna je různé od EU1, aby bylo možné sledovat jejich vliv. Stínění od balkónu je stejné jako u EU1, nicméně je tu značný rozdíl ve velikosti svislých stínících prvků na obou stranách solárního okna - tyto svislé stínící prvky jsou tvořeny zapuštěním (utopením) okna do fasády o cca 1,5 metru.

Možnost energetického využití takto koncipovaného okna je výhodnější, protože nedochází k tak velkému zastínění, tj. tak velkému zkrácení doby oslunění. Konfigurace (rozdělení) měřených bodů na solárním okně je znázorněno na *Obr.: 30*. V *Tab.: 8* je ukázka naměřených dat z 22.11. 2016.



**Obr.: 30 - Konfigurace měřených bodů na solárním okně v EU3**

**Tab.: 8 - Naměřené teploty solárního okna v EU3 dne 22.11. 2016**

22.11.	pozice	bod 1	bod 2	bod 3	bod 4	bod 5	bod 6	bod 7	bod 8	čas měření
rámy	měř1	19,5	19,8	20,5	21,2	23,1	20,8	22,1	24,6	8:30
	měř2	22,7	21,5	24,8	25,4	28,4	25,8	26,5	28,6	9:15
	měř3	30,4	28,6	34,1	30,0	34,0	31,1	31,9	32,8	10:00
	měř4	35,8	32,7	36,7	32,5	36,9	34,4	35,4	34,9	10:40
	měř5	36,9	34,7	36,9	35,0	37,4	36,1	36,2	34,5	11:20
	měř6	37,9	38,9	38,9	35,9	39,7	37,0	36,8	36,9	12:25
	měř7	35,0	34,9	34,8	32,1	35,5	35,7	33,6	32,9	13:10
	měř8	33,5	31,6	30,4	29,1	30,2	33,1	29,4	29,7	13:45
	měř9	31,2	28,4	28,7	26,9	27,9	30,4	27,9	27,4	14:30
	měř10	25,2	23,6	24,9	23,1	22,9	24,1	23,5	23,1	15:20
	měř11	21,4	20,8	21,4	20,5	19,3	19,1	19,6	19,4	16:10
22.11.	pozice	bod 9	bod 10	bod 11	bod 12	bod 13	bod 14	teplota zdi	čas měření	
okna	měř1	26,9	29,2	24,9	25,8	30,4	26,7	21,5	8:30	
	měř2	34,2	36,1	32,8	33,3	38,0	34,6	21,7	9:15	
	měř3	40,6	42,2	39,9	38,4	43,9	39,8	23,1	10:00	
	měř4	44,1	45,1	42,8	43,6	45,9	43,9	23,7	10:40	
	měř5	43,8	45,2	43,5	44,8	45,4	44,6	24,1	11:20	
	měř6	43,6	44,8	43,4	42,4	43,4	41,9	23,9	12:25	
	měř7	41,3	42,6	42,1	41,1	40,8	40,6	23,5	13:10	
	měř8	39,4	39,7	39,6	39,8	39,4	39,1	22,8	13:45	
	měř9	34,1	34,3	33,9	33,4	34,5	34,8	22,7	14:30	
	měř10	28,8	29,9	28,7	28,3	29,0	29,4	22,5	15:20	
	měř11	25,9	26,6	25,6	25,3	25,8	26,2	22,4	16:10	

### 3.3.3 Měřicí místo EU5

Obdobně jako u pozice EU3, nebo EU1, se tato měřicí pozice nachází v objektu EU, tentokrát v pátém podlaží. Parametry slunečního okna (velikost, geometrie, orientace, typ okna) jsou opět shodné s okny na pozicích EU1 a EU3. Stejně tak není využito pohyblivých stínících prvků. Rozdílnost tohoto místa spočívá v absenci vodorovné zástiny shora (balkónu ve vyšším patře, jelikož další patro již tato část budovy nemá). Absence tohoto prvku by tedy neměla stínit v zdánlivě nejvyšších pozicích slunce na obzoru a chránit tak, zejména v letních měsících, proti nadbytečným energetickým ziskům solárního okna, které by způsobovaly přehřívání objektu a tím zhoršení podmínek uvnitř budovy. Svislé stínící prvky jsou stejné jako u pozice EU3, tj. zapuštěním okna dochází ke stínění z obou stran - hlavně tedy při východu a západu slunce. Naměřené hodnoty jednoho dne jsou v *Tab.: 9*.



Obr.: 31 - Konfigurace měřených bodů na solárním v okně v EU5

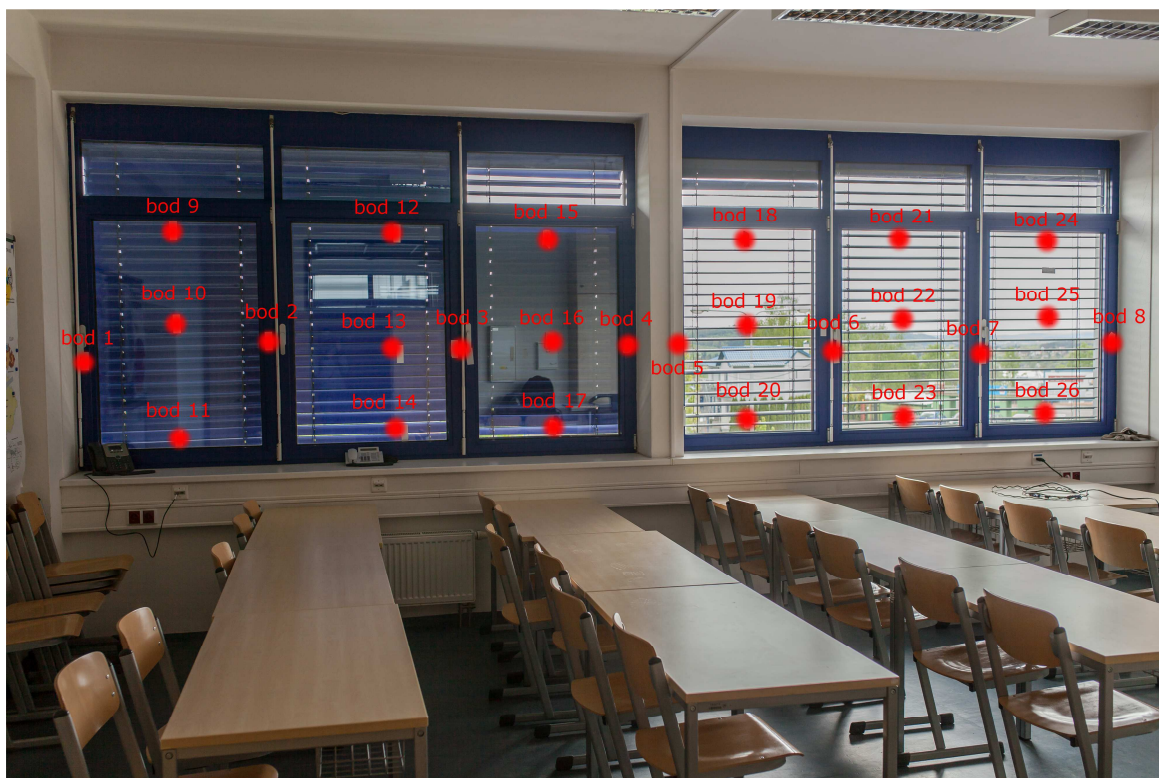
Tab.: 9 - Naměřené teploty solárního okna v EU5 dne 22.11. 2016

22.11.	pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	čas měření
rámy	měř1	21,5	21,8	22,1	23,4	24,8	22,9	24,4	26,3	8:30
	měř2	25,0	23,7	25,9	26,5	30,6	28,4	29,2	30,7	9:15
	měř3	31,1	29,2	30,3	30,7	34,2	31,9	32,7	33,2	10:00
	měř4	34,8	33,1	35,5	33,6	36,9	34,9	36,0	34,9	10:40
	měř5	37,0	34,7	36,1	35,1	38,4	36,2	36,3	36,0	11:20
	měř6	37,8	37,6	38,6	38,3	39,0	36,9	36,6	36,7	12:25
	měř7	35,4	35,2	35,1	34,7	36,1	33,7	33,9	33,1	13:10
	měř8	32,1	32,9	32,5	33,1	31,5	31,3	31,7	32,0	13:45
	měř9	30,8	31,3	31,6	32,2	30,4	30,1	30,8	30,2	14:30
	měř10	24,1	24,4	25,7	25,1	23,3	23,8	24,3	23,9	15:20
	měř11	21,5	21,4	22,1	21,6	19,9	19,7	20,2	20,0	16:10
22.11.	pozice	9	10	11	12	13	14	teplota zdi	čas měření	
okna	měř1	29,7	31,1	27,5	32,7	33,5	32,9	21,5	8:30	
	měř2	36,9	37,8	35,4	39,9	41,9	40,8	21,7	9:15	
	měř3	42,0	42,5	41,3	43,8	45,3	44,4	23,1	10:00	
	měř4	45,1	45,0	43,7	45,9	47,0	46,6	23,7	10:40	
	měř5	44,1	44,8	43,8	46,0	45,8	45,7	24,1	11:20	
	měř6	43,8	45,0	43,6	44,2	43,6	44,3	23,9	12:25	
	měř7	42,3	43,3	42,8	41,8	41,4	42,4	23,5	13:10	
	měř8	42,9	43,0	42,1	41,2	40,8	41,4	22,8	13:45	
	měř9	40,2	39,6	38,8	36,8	38,0	38,3	22,7	14:30	
	měř10	33,3	33,1	32,6	29,3	30,1	30,7	22,5	15:20	
	měř11	28,8	28,9	28,3	26,2	26,7	27,2	22,4	16:10	

### 3.3.4 Měřící místo EL311

Jak již označení napovídá, tak se toto měřící místo nachází v laboratoři EL311, tj. ve třetím podlaží objektu EL budovy FEL ZČU. V této laboratoři se nacházejí dva stejné okenní segmenty, které jsou stavebně odděleny zděným sloupkem. Orientace tohoto okna je stejná jako u pozic EU1, EU3 a EU5, tj. na jih s mírným odklonem k východu. Zásadní změnou oproti měření v objektu EU je přítomnost pohyblivých stínících systémů. V tomto případě se jedná o venkovní pohyblivé rolety a vnitřní pohyblivé žaluzie. Stínění vlivem samotné konstrukce budovy je zde minimální - zapuštění rámu okna oproti rovině finálně upravené fasády je v řádech několika centimetrů. Tudíž lze na tomto solárním okně sledovat vliv těchto pohyblivých stínících prvků. Díky přítomnosti dvou stejných segmentů bylo možné u každého z nich monitorovat vliv různě nastavených stínících prvků a následně je porovnat mezi sebou. V jednom případě byly žaluzie staženy dolů a natočeny tak, aby jejich stínící efekt byl maximální možný. Oproti tomu v druhém případě byly venkovní žaluzie staženy dolů, ale byly nastaveny tak, aby propouštěly co nejvíce dopadajícího záření (mezery mezi jednotlivými lamelami byly maximální). Nastavení sklonu venkovních rolet je vidět na Obr.: 32. Ukázka naměřených hodnot je zobrazena v Tab.: 10.





Obr.: 32 - Konfigurace měřených bodů na solárním okně v místnosti EL311

Tab.: 10 - Naměřené teploty solárního okna v EL311 dne 22.11. 2016

22.11.	pozice	bod 1	bod 2	bod 3	bod 4	bod 5	bod 6	bod 7	bod 8	teplota zdi	čas měření
rámy (pro obě stínění)	měř1	21,0	21,1	20,6	20,8	21,1	21,5	21,4	21,7	21,5	8:35
	měř2	22,7	22,8	21,9	22,5	22,3	23,2	23,2	23,4	21,7	9:20
	měř3	24,7	25,3	24,9	25,2	24,3	25,6	25,5	25,8	23,1	10:05
	měř4	27,2	28,7	27,8	28,1	27,1	29,0	28,8	29,1	23,7	10:50
	měř5	29,2	31,5	31,1	30,6	29,6	31,6	31,6	31,9	24,1	11:35
	měř6	28,6	31,0	30,6	30,4	28,9	31,3	31,2	31,7	23,9	13:10
	měř7	27,9	29,7	29,1	29,7	28,8	30,6	30,5	30,9	23,5	13:55
	měř8	27,0	28,8	28,4	28,8	28,1	29,0	28,8	29,2	22,8	14:40
	měř9	26,1	26,3	27,3	27,2	26,9	26,5	26,4	26,7	22,7	15:25
	měř10	25,8	24,6	25,7	26,2	25,4	25,9	25,7	26,3	22,5	16:10
	pozice	bod 9	bod 10	bod 11	bod 12	bod 13	bod 14	bod 15	bod 16	bod 17	čas měření
okna (maximální stínění)	měř1	16,1	16,8	17,2	16,9	16,4	17,3	16,8	17,0	16,9	8:35
	měř2	17,6	19,5	20,5	20,1	17,9	20,1	21,1	20,6	20,3	9:20
	měř3	21,4	24,9	25,9	25,3	21,9	25,8	26,8	26,5	25,8	10:05
	měř4	29,9	32,7	33,1	32,9	30,6	32,8	32,4	33,4	32,4	10:50
	měř5	34,7	36,8	37,4	37,1	35,4	36,1	35,7	37,7	35,7	11:35
	měř6	35,7	37,7	38,1	37,5	36,5	37,5	36,3	38,1	36,3	13:10
	měř7	35,8	36,2	35,8	35,1	36,0	36,6	36,8	35,3	35,3	13:55
	měř8	35,7	35,6	35,0	33,7	35,5	34,7	35,0	33,6	33,6	14:40
	měř9	33,0	33,2	33,7	31,7	33,3	32,9	33,4	31,3	31,3	15:25
	měř10	30,2	30,5	30,2	29,2	30,7	31,0	31,1	29,0	29,0	16:10
	pozice	bod 18	bod 19	bod 20	bod 21	bod 22	bod 23	bod 24	bod 25	bod 26	čas měření
okna (minimální stínění)	měř1	16,0	17,0	16,9	17,1	15,9	16,8	17,0	16,6	16,5	8:35
	měř2	17,2	20,3	21,1	20,6	17,3	19,5	20,5	20,1	20,1	9:20
	měř3	21,9	25,8	26,8	26,5	21,4	24,9	25,9	25,3	25,3	10:05
	měř4	30,6	32,8	32,4	33,4	29,9	32,7	33,1	32,9	32,9	10:50
	měř5	35,4	36,1	35,7	37,7	34,7	36,8	37,4	37,1	37,4	11:35
	měř6	36,5	37,5	36,3	38,1	35,7	37,7	38,1	37,5	38,1	13:10
	měř7	36,0	36,6	36,8	35,3	35,8	36,2	35,8	35,1	35,8	13:55
	měř8	35,5	34,7	35,0	33,6	35,7	35,6	35,0	33,7	35,6	14:40
	měř9	33,3	32,9	33,4	31,3	33,0	33,2	33,7	31,7	33,2	15:25
	měř10	30,7	31,0	31,1	29,0	30,2	30,5	31,2	29,4	30,5	16:10



### 3.3.5 Měřicí místo EL703

Poslední měřicí místo se nachází v laboratoři EL703 v sedmém podlaží objektu EK budovy FEL ZČU. Signifikantním rozdílem oproti předchozím měřicím místům je v tomto případě orientace na západ. A právě z důvodu orientace na západ je úhrn dopadajícího záření na solární okno výrazně menší - k oslunění plochy dojde až v odpoledních hodinách, tj. dojde k výraznému snížení doby, kdy je možné dopadající sluneční záření vhodně využívat k vytápění budovy. Stínění v tomto případě je realizováno pomocí pohyblivých stínících prvků stejně jako v laboratoři EL311 - venkovními roletami a vnitřními žaluziemi. Stínící vliv samotné konstrukce je minimální - zapuštění okenního rámu je v řádu několika centimetrů oproti rovině finálně upravené fasády. V tomto případě byl sledován zejména vliv právě výrazně odlišné orientace solárního okna oproti jihu (azimut slunce pro západ:  $270^\circ$ ) a vliv kombinace venkovních rolet a vnitřních žaluzií - *Obr.: 33*. Naměřené hodnoty pro jeden den zobrazeny v *Tab.: 11*.



Obr.: 33 - Konfigurace měřených bodů na solárním okně v místnosti EL703

**Tab.: 11 - Naměřené teploty solárního okna v EL703 dne 22.11. 2016**

22.11.	pozice	bod 1	bod 2	bod 3	bod 4		teplota zdí	čas měření				
rámy	měř1	15,0	15,0	14,9	14,0		20,1	9:25				
	měř2	15,4	15,4	15,2	14,4		20,3	10:35				
	měř3	15,8	15,8	15,6	14,8		20,8	11:40				
	měř4	15,4	15,4	15,1	14,9		20,2	12:30				
	měř5	17,1	19,1	21,0	22,1		21,1	13:40				
	měř6	20,3	24,3	26,7	26,8		20,9	14:35				
	měř7	24,9	26,1	28,1	27,8		21,7	15:30				
	měř8	23,8	24,8	25,7	25,6		21,6	16:00				
	měř9	20,2	20,7	21,2	21,3		21,7	16:30				
	měř10	17,6	17,9	18,1	18,3		21,5	17:00				
	pozice	bod 5	bod 6	bod 7	bod 8	bod 9	bod 10	bod 11	bod 12	bod 13	čas měření	
okna	měř1	19,6	21,1	19,6	20,6	22,5	22,4	20,4	21,5	19,5	9:25	
	měř2	19,9	21,4	19,6	21,1	23,3	22,9	20,7	21,4	19,6	10:35	
	měř3	20,0	21,3	19,4	21,1	23,0	22,3	20,3	21,3	19,3	11:40	
	měř4	19,7	20,9	18,9	20,9	22,8	22,0	20,2	21,2	19,0	12:30	
	měř5	22,7	22,6	21,6	27,9	27,8	25,8	28,4	27,8	26,7	13:40	
	měř6	26,7	27,0	24,9	33,1	32,7	31,1	32,9	32,7	31,3	14:35	
	měř7	28,3	28,7	27,6	31,6	31,4	28,6	32,1	30,7	29,6	15:30	
	měř8	27,1	27,8	26,7	27,7	27,4	26,2	28,0	26,9	25,6	16:00	
	měř9	22,3	23,0	22,6	23,3	24,3	22,7	22,8	22,6	21,1	16:30	
	měř10	20,1	20,8	20,7	21,8	23,4	21,8	20,9	21,4	19,1	17:00	

## 4 Zhodnocení činnosti modelového systému

Hlavním atributem pro zhodnocení vlivu stínících prvků je dynamika teplot solárního okna. Průběhy teplot okenních rámců a tabulí (skel) byly měřeny zvláště kvůli rozdílnosti tepelných parametrů pro různý materiál dané části solárního okna. Zhodnocení vlivu jednotlivých stínících prvků je zejména založeno na posouzení grafických výstupů z naměřených dat - tj. porovnání průběhů jednotlivých konfigurací stínění slunečního okna. S ohledem na rozsah naměřených dat jsou v kapitole 4.2 uvedena data a jejich grafické interpretace pro tři signifikantní dny z celkového naměřeného souboru 15 dnů.

### 4.1 Výpočet energie

Úvodem zhodnocení uveďme ještě výpočet tepelné bilance zasklené plochy jakožto základní prvek uplatňující se u všech pasivních vytápěcích systémů - v našem případě výpočet tepelné bilance slunečního okna. Bilanční výpočty pro sluneční skleník či sluneční akumulaci stěnu nebudou uvedeny s ohledem na zaměření práce a naměřené hodnoty.

Zasklená plocha je schopna propustit i difúzní záření o malé intenzitě. Z toho důvodu musíme pro výpočet skutečné energie dopadající na zasklenou plochu v průměrném dni v měsíci vycházet ze vzorce (16), který zohledňuje příspěvek od přímého i difúzního záření. K získání měsíční hodnoty úhrnu energie se jednotlivé denní příspěvky sečtou nebo se vynásobí hodnota energie průměrného dne počtem dní v měsíci. Skleněná plocha část dopadajícího slunečního záření odráží zpět do okolí, takže prochází do místnosti pouze část dopadající energie, která se může akumulovat a následně vhodně využívat k přitápění. Míru procházející sluneční energie popisuje tzv. propustnost  $p$ , která může nabývat hodnot 0 až 1. Případně se užívá také reflexivita  $r$ , která se spočte  $r = (1 - p)$ . Propustnost není konstantní, ale mění se s úhlem dopadajícího záření - největší hodnotu nabývá při nulové odchylce (směr slunečního záření je stejný s normálou osluněné plochy), poté velmi málo klesá až k odchylce cca  $\pm 60^\circ$  a pro větší úhly klesá strmě až k nule ( $\pm 90^\circ$ ). Nicméně při výpočtech se obvykle počítá s konstantní hodnotou propustnosti, protože při velkých odchýleních je intenzita již velmi malá a následné zkreslení výsledku je minimální. V Tab.: 12 jsou uvedeny běžné hodnoty propustnosti pro různá provedení solárního okna.

Tab.: 12 - Typické hodnoty propustnosti  $p$  pro kolmo dopadající záření pro různé typy zasklení [tzb]

typ zasklení	propustnost
jednoduché	0,85
dvojsklo	0,75
trojsklo	0,70
zdvojené okno	0,75

Ovšem tyto hodnoty platí pouze pro čisté skleněné plochy. Uvažuje-li se i znečištění skleněné plochy, pak výsledná propustnost je obvykle o cca 5 % menší. Výsledná hodnota energie  $Q_A$  procházející skleněnou plochou po dobu jednoho měsíce, která je následně absorbována stavbou, se vypočte dle rovnice (20), kde  $n$  je počet dnů v měsíci. Tato absorbovaná energie přispívá k vytápění místnosti a v bilanční rovnici je označována jako hrubý tepelný zisk  $Q_{zisk} = Q_A = pQ_s$ .

$$Q_{Aměs} = pQ_{Směs} = npQ_{Sden} \quad (kWhm^{-2}) \quad (20)$$

Současně na zasklenou plochu působí ztrátová složka  $Q_{ztr}$ , která je vyvolána prostupem tepla skrz tuto plochu. Tepelná ztráta za měsíc se vypočte dle rovnice (21), kde  $k$  je součinitel prostupu tepla a  $\Delta t$  je rozdíl mezi venkovní a vnitřní teplotou.

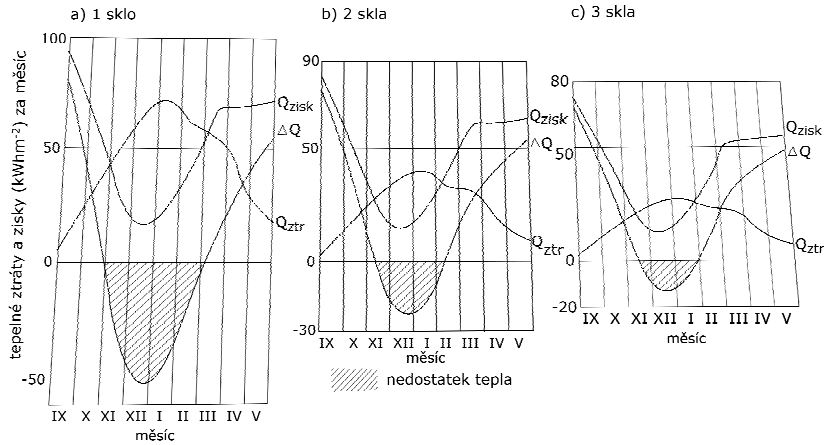
$$Q_{ztr} = 0,024nk\Delta t \quad (kWhm^{-2}) \quad (21)$$

Výsledný (čistý) tepelný zisk  $\Delta Q$  osluněné zasklené plochy je dán jako rozdíl hrubého tepelného zisku a tepelné ztráty prostupem, viz rovnice (22).

$$\Delta Q = Q_{zisk} - Q_{ztr} \quad (kWhm^{-2}) \quad (22)$$

Následující Obr.: 34 graficky znázorňuje průběhy hrubého tepelného zisku, tepelných ztrát a výsledného tepelného zisku skleněné plochy pro období září až květen, kdy klademe největší důraz na efektivitu a pro různé typy zasklení - jednoduché sklo, dvojsklo a trojsklo. Z toho obrázku je zřejmé, že největších hodnot nabývá v okrajových měsících otopného

období, kdy je potřeba méně energie a je tedy nutné využít stínících prvků jako ochran proti nadměrnému oslnění (přehřátí budovy), viz kapitola 2.3.7.



Obr.: 34 - Průběhy jednotlivých složek tepelné bilance svíslé zasklené plochy orientované na jih pro různé typy zasklení

V praxi se využívá nejčastěji dvojitě zasklených oken na jižní straně budovy a trojitě zasklených na méně, nebo vůbec neoslněných stranách budovy. Hlavním kritériem je poměr tepelného zisku a ceny oken, který vychází lépe pro dvojitě zasklená okna. proto se velká jižní okna volí dvojitá a malá okna na méně oslněných stranách trojitá.

Důležitým parametrem budov je tzv. tepelný faktor  $q$  (tj. měrná tepelná ztráta budovy), který vypočteme dle rovnice (23), kde  $\dot{Q}_{max}$  je maximální tepelná ztráta dle ČSN 06 0210,  $S_n$  je půdorysná plocha vytápěných místností a  $\Delta t_{max}$  je rozdíl teplot dle ČSN 06 0210.

$$q = \frac{\dot{Q}_{max}}{S_n \Delta t_{max}} \quad (Wm^{-2} K^{-1}) \quad (23)$$

A následně dostáváme výslednou energetickou bilanční rovnici (24) pro výpočet slunečního okna, kde  $S_{ok}$  je zasklená plocha slunečního okna a  $\eta_{ok}$  je účinnost solárního okna.

$$Q_{Sdentear} \frac{S_{ok}}{S_n} \eta_{ok} = 24q\Delta t \quad (Whm^{-2}) \quad (24)$$

## 4.2 Ukázkový výpočet prostupu tepla

Prostup tepla je jedním z nejdůležitějších parametrů budov pro energetické zhodnocení jejího provozu a získá se jako součet všech příspěvků od jednotlivých prvků konstrukce (okna, dveře, střecha aj.). K výpočtu prostupu tepla je třeba znát součinitel tepelné vodivosti (nebo jeho převrácenou hodnotu - tepelný odpor), tloušťku překážky přes kterou teplo prostupuje a povrchové teploty na obou stranách překážky. Problémy nastávají při určování hodnot tepelných vodivostí, protože zdi i okna jsou složeny z vícero různých materiálů s různými součiniteli tepelného prostupu - hodnoty je třeba experimentálně změřit nebo lze vycházet z tabelizovaných hodnot. Hodnoty v tabulkách jsou rozděleny dle typu zdiva a typu zasklení (dvojsklo, trojsklo aj.)<sup>12</sup>. Ukázkový výpočet průměrné hodnoty tepelného toku prostupem skrz jednotkovou plochu okna v místnosti EL311 dne 22.11. je znázorněn v rovnici (25), kde  $t_1$  a  $t_2$  jsou povrchové teploty na obou stranách okna,  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  jsou tepelné vodivosti povrchů na obou stranách (respektují přestup tepla z pevné látky do vzduchu, příp. opačně),  $\delta$  je šířka okna a  $\lambda$  je tepelná vodivost okna (dáno způsobem zasklení a materiálem rámu).

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}} = \frac{23 - 9}{\frac{1}{0,13} + \frac{1}{0,04} + \frac{0,003}{2,1}} = 30,6 \text{ mWm}^{-2} \quad (25)$$

## 4.3 Naměřené hodnoty

Měření probíhalo od listopadu 2016 do dubna 2017, kdy byly proměřeny denní průběhy teplot solárních oken na vybraných měřicích místech s různým druhem stínění (podrobnější popis v kapitole 3.3). Všechna měření probíhala za co možná nejlepších klimatických podmínek - zejména za bezoblačné oblohy. Celkově bylo změřeno 15 denních průběhů. S ohledem na rozsah naměřených dat byly vybrány tři signifikantní dny - den s nízkou, střední a vysokou teplotou okolního vzduchu, které jsou graficky interpretovány v následujících

---

<sup>12</sup>  $\lambda = 2,1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  pro jednoduché plastové okno s dvojsklem a selektivní vrstvou;  $\alpha_1 = 0,13 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  a  $\alpha_2 = 0,04 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  z normy ČSN 73 0540

kapitolách. Rozsáhlejší ukázka dat je v *Příloze 1* a celý soubor naměřených dat je nahrán na přiloženém disku.

Měření teplot se provádělo pomocí bezkontaktního termometru. Důležitou proměnnou pro snímání bezkontaktním způsobem je emisivita povrchu  $\varepsilon$ , která vyjadřuje poměr intenzity vyzařování daného tělesa ku vyzařování absolutně černého tělesa, tj. schopnost tělesa vyzařovat teplo. Jelikož mají rámy i okna různou emisivitu, tak bylo použito papírové lepící pásky k srovnání měřeného povrchu - viz *Obr.: 35*. Nicméně tato metoda s sebou zanáší chybu měření jelikož se papírové pásky na oknech zahřívají od dopadajícího slunečního záření na rozdíl od pásek na rámech.



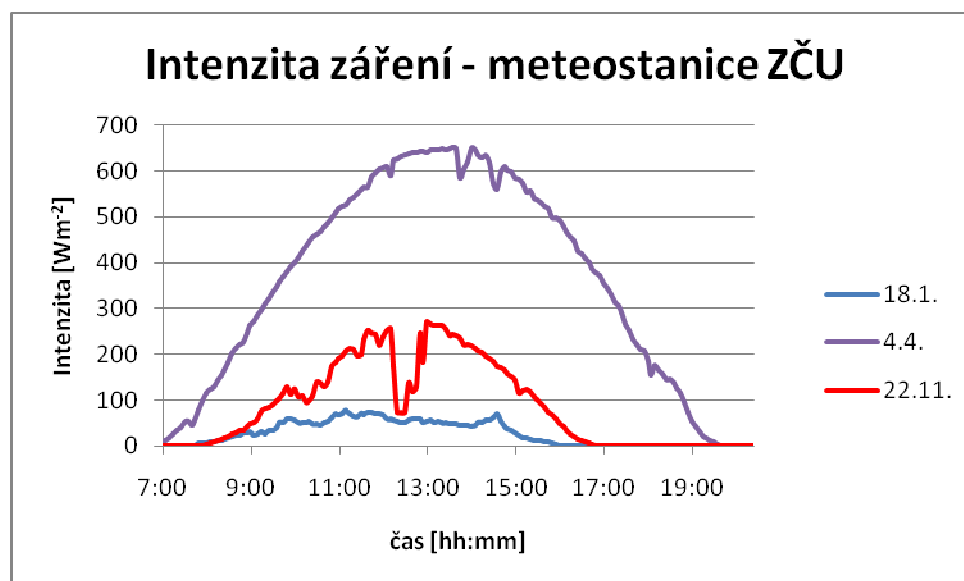
**Obr.: 35 - Ilustrační fotografie použití papírových pásek ke vzájemnému přibližnému srovnání emisivit povrchů solárního okna**

#### 4.3.1 Základní informace o vybraných signifikantních dnech

V této kapitole jsou shrnuty základní klimatické podmínky pro vybrané signifikantní dny - 22.11., 18.1. a 4.4. Sledované základní klimatické podmínky jsou časy západů a východů slunce, venkovní teploty, rychlosti větru a intenzity dopadajícího slunečního záření.

den	22.11.	18.1.	4.4.
západ slunce [hod]	7:25	7:50	6:30
východ slunce [hod]	16:10	16:30	19:35
maximální teplota [°C]	7 až 11	-6 až -2	19 až 23
rychlost větru [m/s]	5 - 10	< 4	< 4

Na Obr.: 36 jsou denní průběhy intenzity záření pro vybrané dny naměřené meteostanicí, nacházející se na budově FEL ZČU.



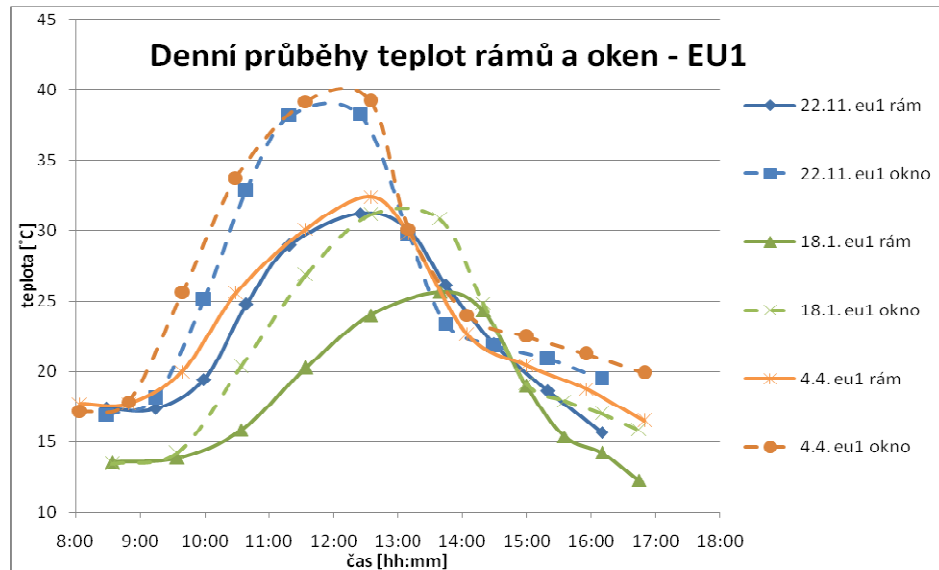
Obr.: 36 - Denní průběhy intenzity záření z meteostanice ZČU pro vybrané dny

Pro názorné zobrazení naměřených dat a vlivu různých druhů zastínění bylo využito dvou různých přístupů ke zpracování dat - zobrazení průběhů průměrných teplot okenních tabulí a rámců pro různé dny na jednom měřícím místě nebo porovnání průměrných hodnot teploty oken a rámců ve stejný den pro různé druhy stínění (tj. různá měřící místa).

#### 4.3.2 Průměrné hodnoty teplot slunečního okna pro jednotlivá měřící místa

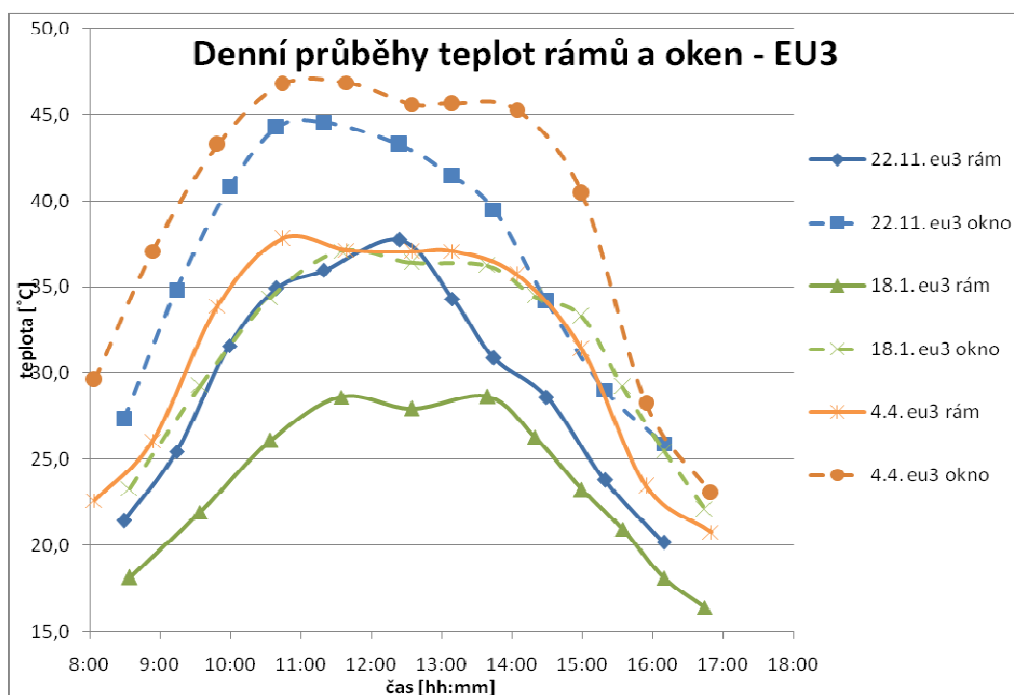
Na grafech průměrných hodnot teplot solárního okna pro jednotlivé dny jsou zobrazeny denní průběhy teplot okenních rámců a tabulí pro vybrané signifikantní dny. Na jednom grafu lze pozorovat rozdíl teploty různých materiálů (plastový rám a skleněná tabule) a vliv různých klimatických podmínek (venkovní teplota, zdánlivá dráha slunce nad obzorem aj.). V této kapitole bude okomentováno důležité či zajímavé chování průběhů pro každý jednotlivý graf.





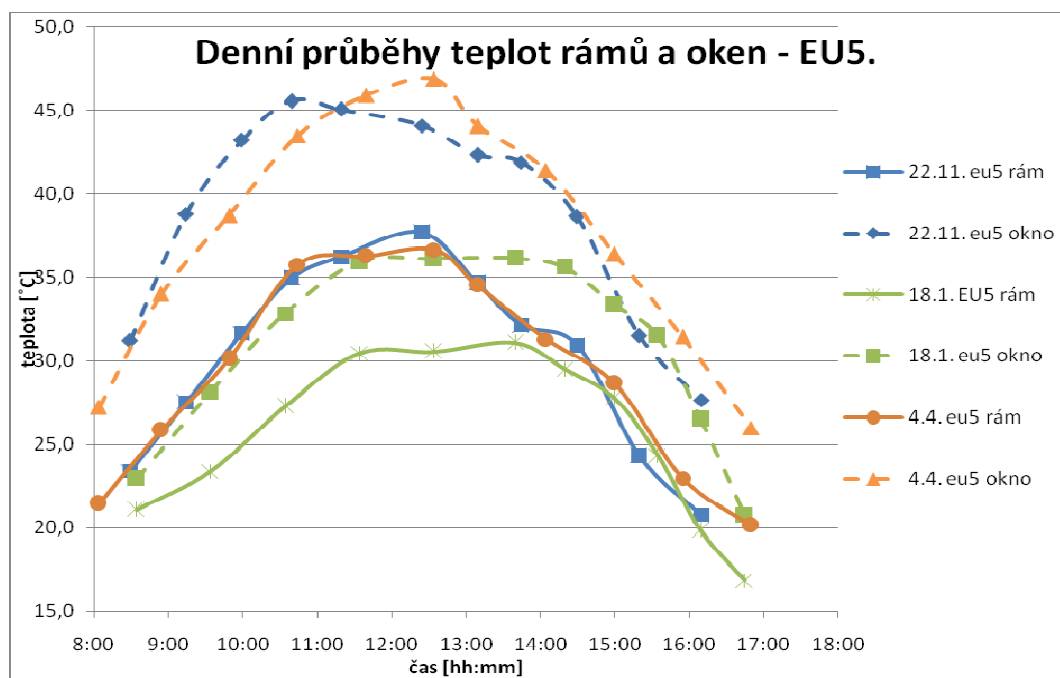
Obr.: 37 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EU1

Na Obr.: 37 je jednoznačně patrný rozdíl mezi teplotou skleněné tabule a plastového rámu. To je důsledek rozdílného součinitele prostupu tepla a je proto třeba při podrobných výpočtech zisků solárního okna s tím počítat. Dále je vidět, že dochází ke značnému zastínění a následnému poklesu teploty již okolo 13. hodiny. Zajímavé je, že průběhy teplot ze dne 18.1. jsou rozdílné těm z 22.11. a 4.4. Pravděpodobně vzájemná synergie všech vlivů - zvýšená oblačnost, zkrácená doba oslunění dána stíněním a minusová venkovní teplota, pravděpodobně způsobila tento významný rozdíl.



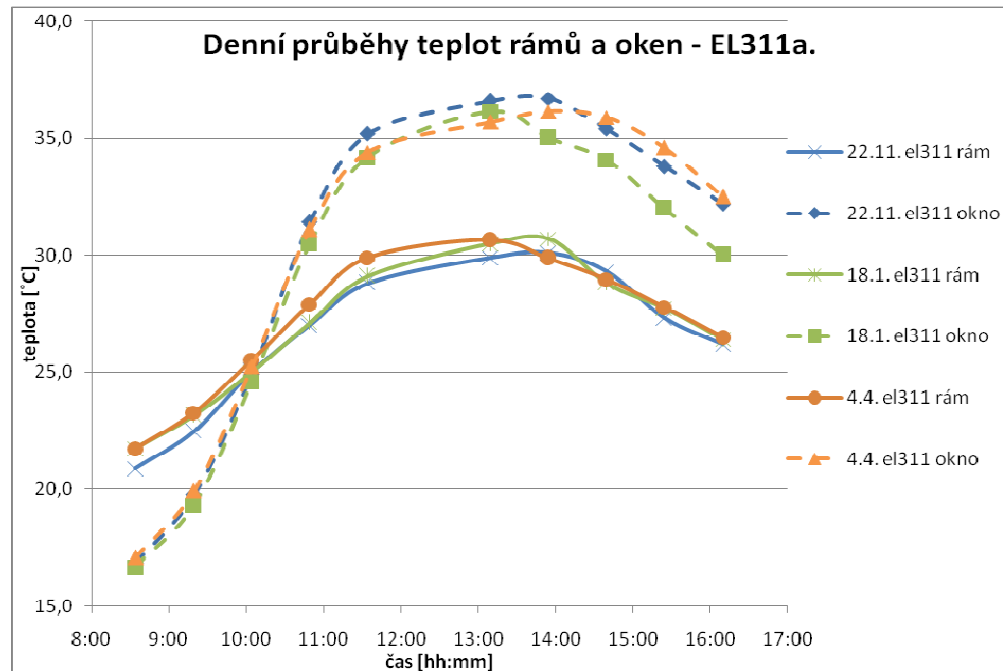
Obr.: 38 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EU3

Na rozdíl od předchozího grafu je na *Obr.: 38* zcela zřetelný vliv venkovní teploty - je patrná závislost teploty solárního okna na venkovní teplotě. Dále je vidět, že dochází k zastínění v době poledne ve dnech 18.1. a 4.4., ale 22.11. k tomu zastínění nedochází. To indikuje ne zcela vhodnou volbu velikosti vodorovného zastínění, které v zimě má stínit minimálně a v létě naopak maximálně. V tomto případě dochází k částečnému stínění již v lednu, kdy jsou stále teploty nízké a bylo by třeba využívat maximální množství dopadající energie.

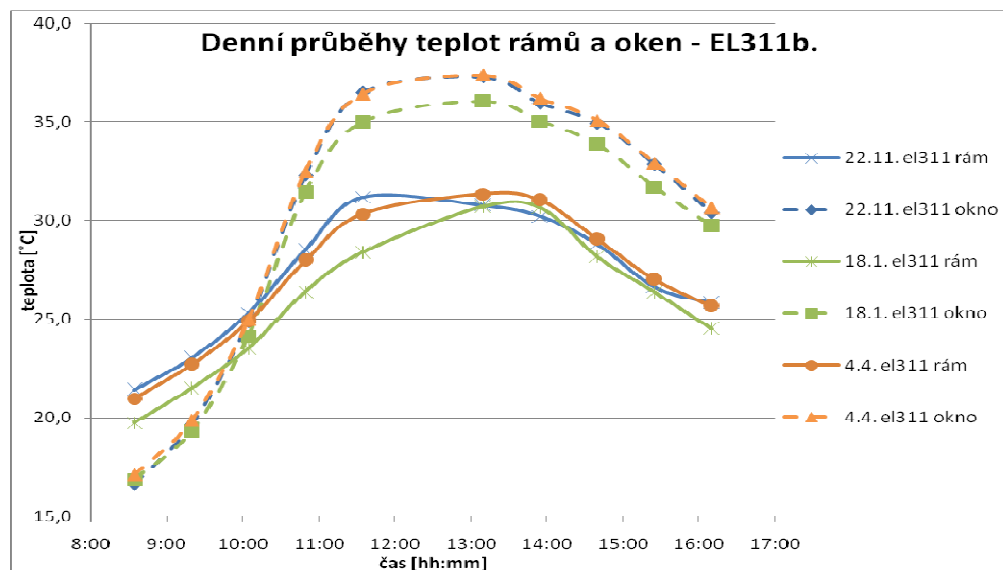


**Obr.: 39 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EU5**

Na *Obr.: 39* je vidět, že průběhy 22.11. a 4.4. jsou velmi podobné a není vidět vliv rozdílné venkovní teploty jako v předchozím grafu. Možnou příčinou by mohla být poloha tohoto měřicího místa těsně pod střešní krytinou, kdy může docházet k odvodu tepla konstrukcí střechy a tím se vliv vyšší teploty může anulovat. Nicméně vliv velmi nízké teploty dne 4.4. je stále patrný.



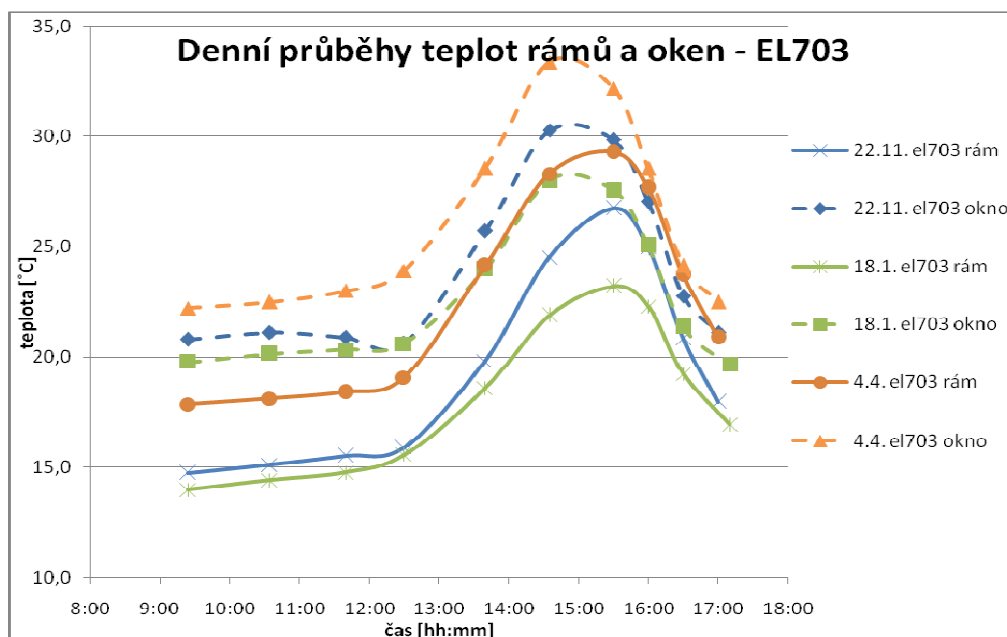
Obr.: 40 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EL311 - levá část (a)



Obr.: 41 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EL311 - pravá část (b)

Na Obr.: 40 a Obr.: 41 je vidět vliv při použití venkovních rolet. V levé části byly rolety zcela zataženy a rozdíl teplot okna je tak minimální. V pravé části byly rolety staženy dolů, ale byly naklopeny tak, aby propouštěly část slunečního záření a rozdíly mezi průběhy teplot jsou tedy o něco větší. Dál lze vyzorovat, že jsou-li rolety zataženy po celý den, tak je vliv venkovní teploty na teploty oken a rámců minimální. To je pravděpodobně způsobeno samotnými roletami a další vzduchovou mezerou, která vznikne mezi roletami a oknem, což zabraňuje prostupu tepla na okno. Je tedy možné tohoto využít při průchodu tepla opačným

směrem - zevnitř ven a vhodně tak zadržovat naakumulovanou energii na konci dne, kdy venkovní teplota začne klesat nebo při dnech s velmi nízkou venkovní teplotou.

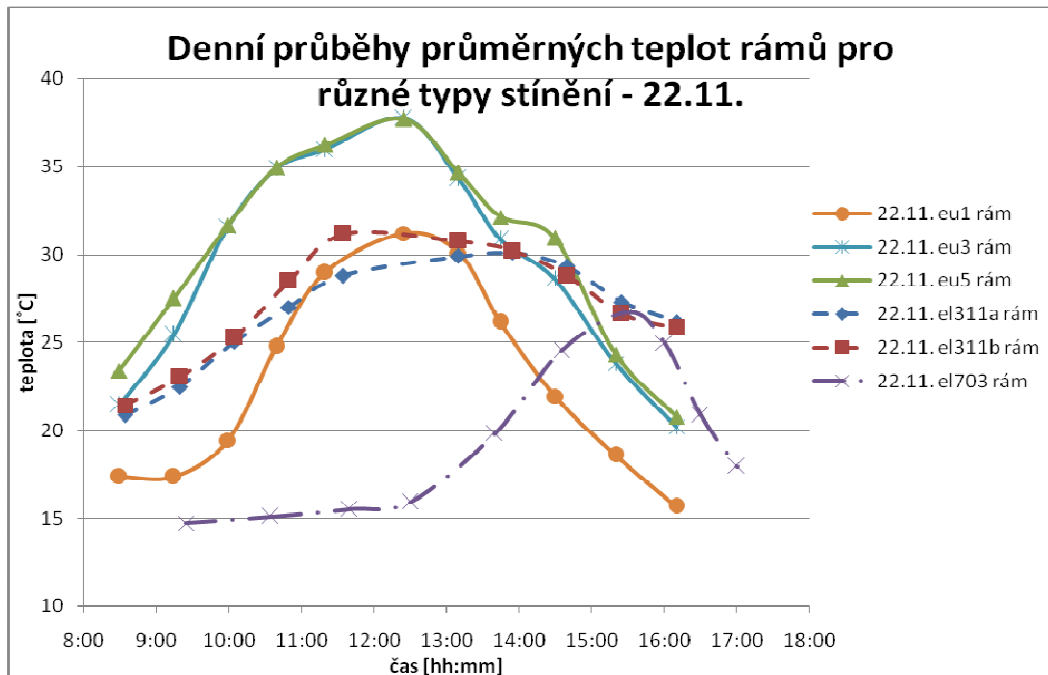


Obr.: 42 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EL703

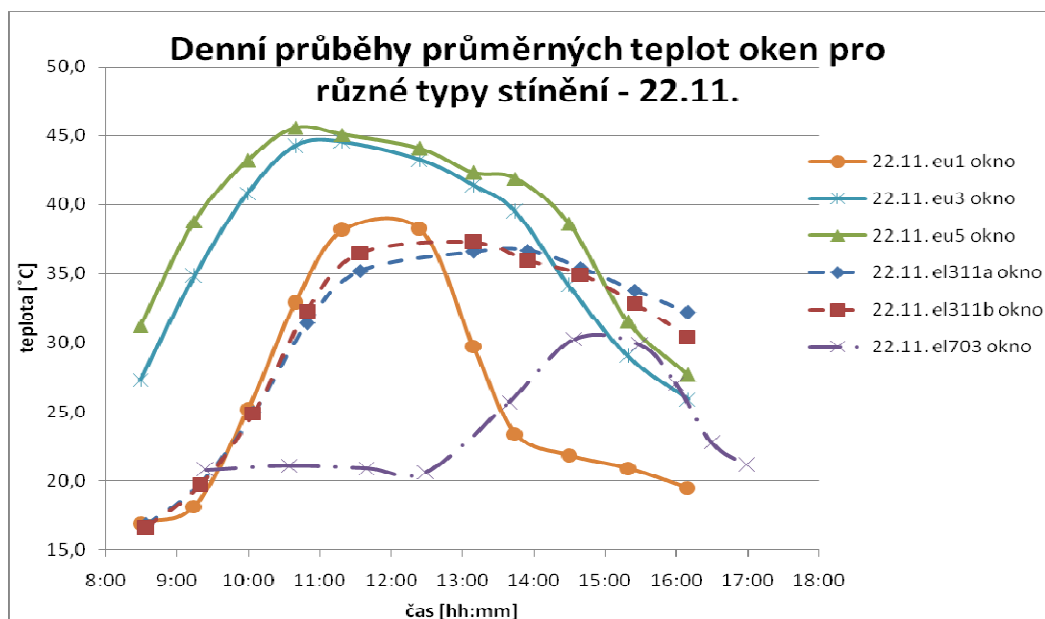
Sluneční okno v EL703 je jako jediné natočeno na západ. Vliv orientace okna je na *Obr.:* 42 zcela zjevný - dochází k nárůstu teploty okna až po poledni, kdy slunce na obzoru přejde na západní stranu a začne tak osvětlovat západní stěny budovy. Je zde také vidět závislost na venkovní teplotě.

### 4.3.3 Průměrné hodnoty teplot slunečního okna pro různé typy stínění

Grafy v této kapitole srovnávají průběhy teplot rámců nebo oken v jeden den pro různé měřící místa, tj. pro různé druhy stínění a lze tak jednotlivé druhy stínění porovnat mezi sebou za stejných podmínek.

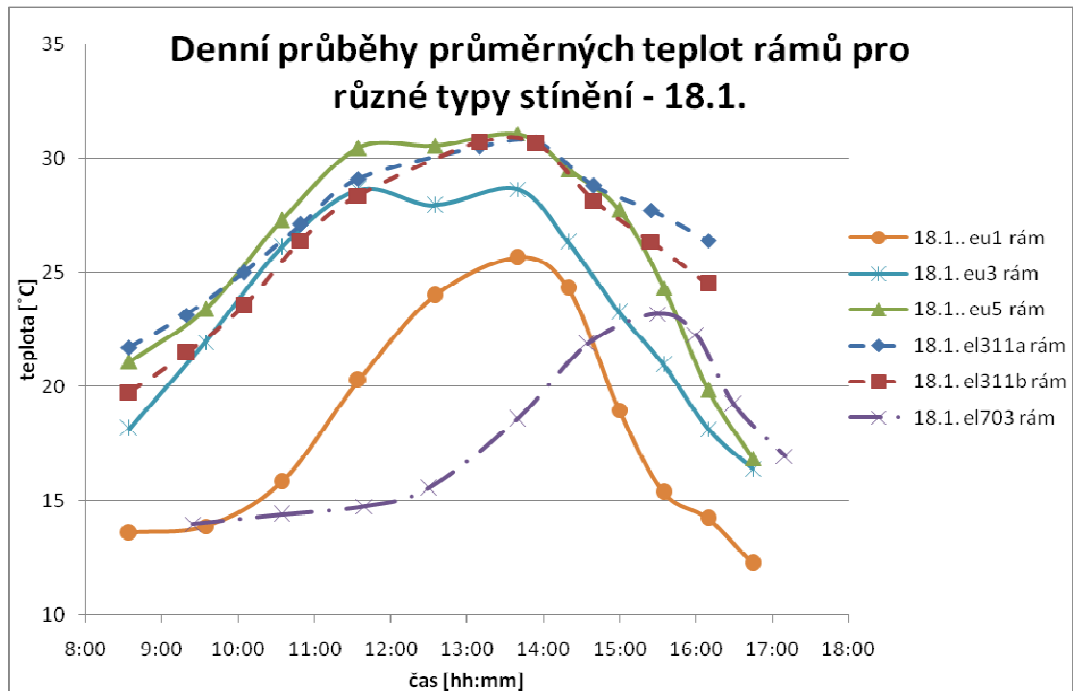


Obr.: 43 - Průběhy průměrných hodnot teploty ráků pro různé typy stínění dne 22.11.

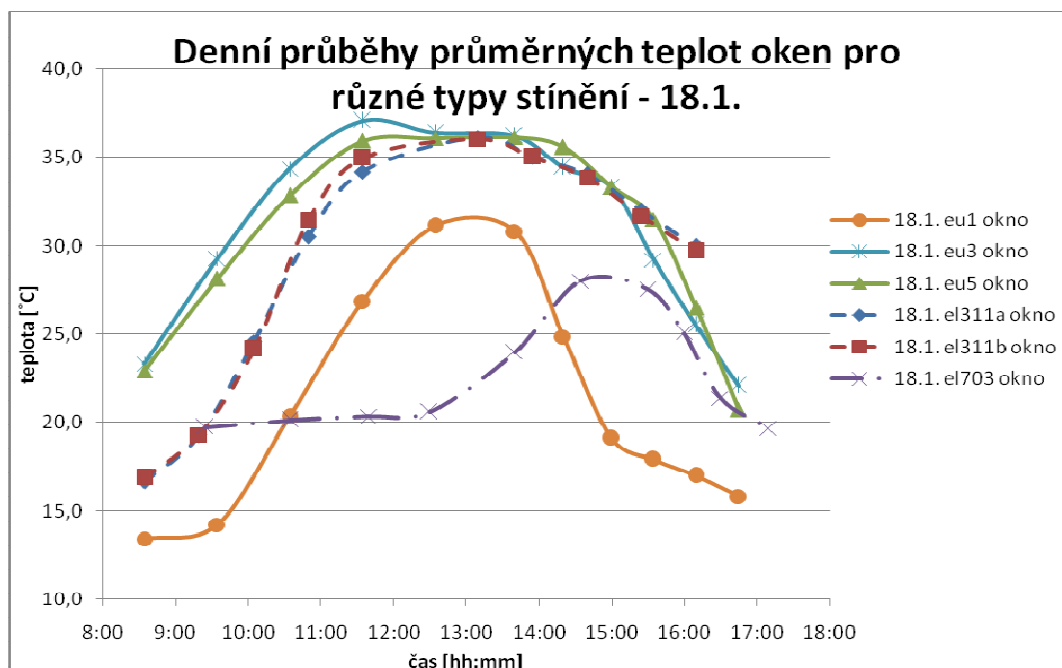


Obr.: 44 - Průběhy průměrných hodnot teploty oken pro různé typy stínění dne 22.11.

Na Obr.: 43 a Obr.: 44 jsou vidět vlivy různých druhů stínění a vliv orientace okna jiným než jižním směrem. Průběh teploty rámu a okna v místnosti EL703 je zcela výrazně ovlivněn svojí orientací na západ. Dochází tak k oslnění okna prakticky jen polovinu času a tím pádem nedochází k takovému ohřátí jako v ostatních případech. Obdobně pak lze vidět, že dochází ke zkrácení doby oslnění pro měřící místo EU1 oproti měřícím místům EU3 a EU5 z důvodu svislých zástin realizovaných přilehlými přednáškovými místnostmi. To je opět důvodem k ohřátí okna na nižší teplotu než v ostatních případech.

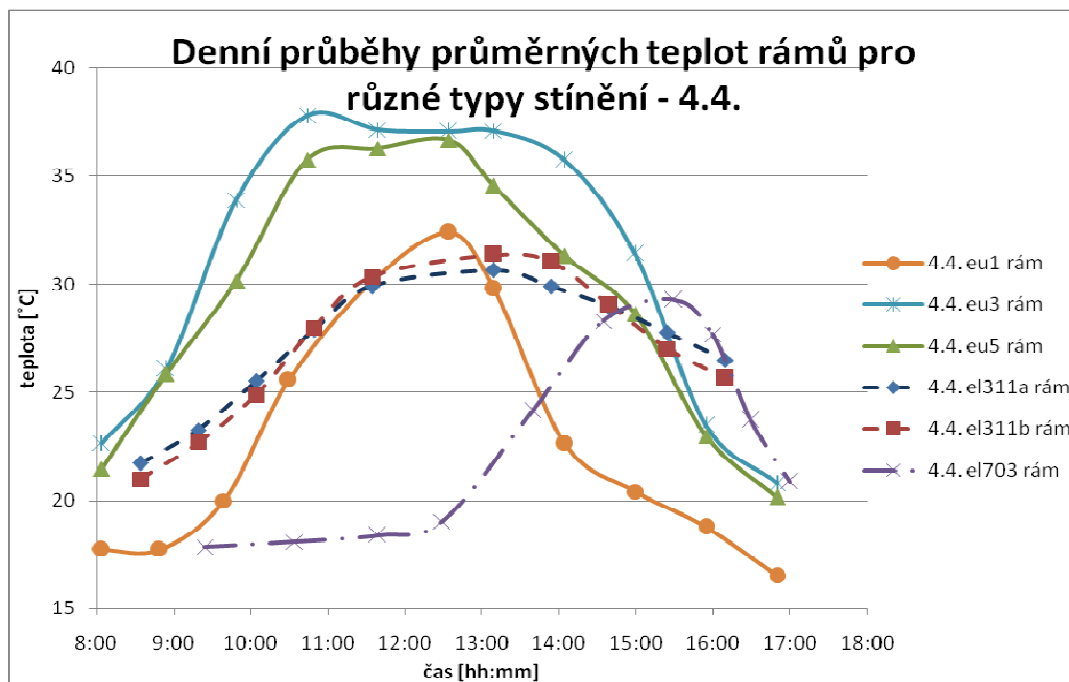


Obr.: 45 - Průběhy průměrných hodnot teploty ráků pro různé typy stínění dne 18.1.

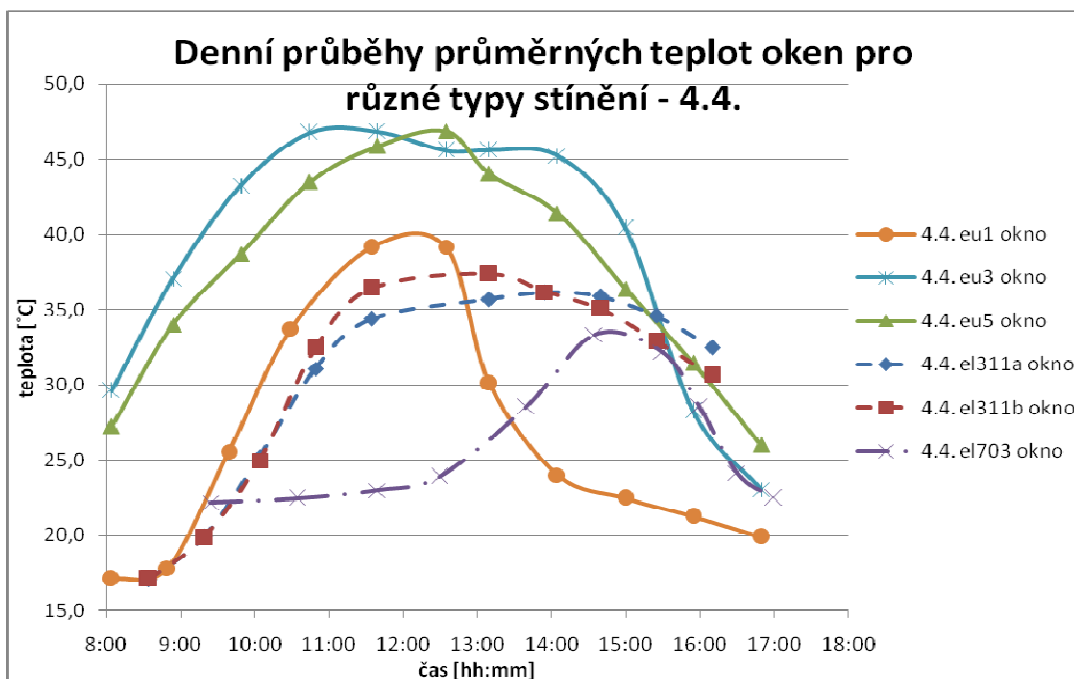


Obr.: 46 - Průběhy průměrných hodnot teploty oken pro různé typy stínění dne 18.1.

Na Obr.: 45 a Obr.: 46 jsou opět patrné vlivy různých stínění, Nicméně průběhy teplot v místnosti EL311 více odpovídají předpokladu než na předchozích grafech. Předpokladem je, že vzniklá vzduchová mezera mezi oknem a roletami a samotné rolety představují další překážky prostupu tepla - akumulace tepla na začátku dne probíhá pozvolněji a pozvolněji dochází i k úniku tepla směrem ven na konci dne, kdy dochází k poklesu venkovní teploty.



Obr.: 47 - Průběhy průměrných hodnot teploty rámců pro různé typy stínění dne 4.4.



Obr.: 48 - Průběhy průměrných hodnot teploty oken pro různé typy stínění dne 4.4.

Na Obr.: 47 a Obr.: 48 je opět patrné svislé stínění na měřícím místě EU1, vliv orientace okna v EL703 a zadržení naakumulované energie pomocí venkovních rolet v EL311. Na rozdíl od předchozích grafů je zde více patrný vliv vodorovného zastínění na měřících místech EU3 a EU5. Slunce v tuto roční dobu vystoupá již relativně vysoko a proto je vliv vodorovného stínění markantnější než v předchozích případech.

#### 4.4 Zhodnocení výsledků

Vliv naddimenzovaných svislých stínících prvků (v tomto případě přílehlé přednáškové učebny) měřicího místa EU1 je z grafů zcela zřejmý. Dochází k výraznému snížení doby oslunění solárního okna a tím zmenšení solárního zisku. Rozdíl teploty oken EU1 je oproti stejným oknům bez svislých zástěn EU3 takový, že na takovém místě je solární zisk minimální. Bylo by tedy vhodnější zde neumisťovat prosklenou plochu takových velkých rozměrů nebo zde použít zasklení s vysokým součinitelem tepelného odporu, aby docházelo k pozvolnějšímu úniku naakumulované energie a využívala by se tak delší dobu.

Na měřicím místě EU3 byl sledován vliv horní vodorovné zástěny. Tato zástěna má v létě, kdy je slunce nejvýše na obzoru, vrhat stín v době nejsilnějšího záření (v poledne) a chránit tak proti nežádoucím tepelným ziskům, které způsobují přehřívání objektu. Naopak v zimě, kdy je slunce relativně nízko nad obzorem i v poledne, vrhá vodorovná zástěna minimální stín a je možné využít veškerou dopadající sluneční energii. Z měření je zřejmé, že velikost zástěny není zcela ideální a bylo by třeba její velikost vhodně upravit. Nicméně funkce zástěny je z naměřených dat patrná.

Měřicí místo EU5 je bez horní vodorovné zástěny. Vliv chybějící vodorovné zástěny by se měl projevit zejména v létě, kdy by mělo být vidět, že nedochází k stínění v době, kdy je dopadající energie nežádoucí a dochází tak k přehřívání místnosti. A s ohledem na časové rozmezí měření nelze tento předpoklad zcela jednoznačně potvrdit.

Rozdíly mezi hodnotami v místnosti EL311 pro různé natočení rolet byly překvapivě malé. V jednom případě byly rolety úplně sklopeny, aby nepropouštěly žádné záření. V případě druhém roletami mohlo procházet světlo. U roztažených rolet byly naměřeny vyšší hodnoty, ale rozdíl je mnohem menší než se předpokládalo. Obdobně jako u měřicího místa EU5 by se větší rozdíl projevil při vyšších intenzitách záření a venkovních teplotách, tj. hlavně v letních měsících.

Měření v EL703 zcela jasně potvrdilo předpokládaný vliv změny orientace okna vůči světovým stranám. V tomto případě je okno orientováno na západ a dochází k oslunění okna



pouze na poloviční dobu. Tím dochází k rapidnímu snížení solárního zisku okna a nelze tady očekávat velké solární zisky.

Budovu FEL ZČU nelze považovat za optimalizovanou k získávání solární energie pasivní cestou. Již zásady návrhu budovy jsou zde opomenuty, tudíž prostor ke zlepšení stávajících podmínek bez drastických stavebních úprav je minimální. Z měření vyplývá, že vhodným použitím zástěn lze dosáhnout několika efektů. Zaprvé lze pomocí venkovních rolet zvýšit tepelný odpor okna vytvořením překážky pro prostup tepla samotnými roletami a vzduchovou mezerou mezi roletami a oknem. Lze tím dosáhnout pozvolnějšího nárůstu či poklesu teploty v místnosti. Vhodným načasováním lze v zimě docílit delšího zadržení tepla v budově. Naopak v létě lze zpomalit prudký nárůst teploty. Zadruhé lze horní vodorovnou zástěnou chránit budovu před nežádoucími tepelnými zisky a tím způsobeným přehříváním objektu v letních měsících. Zatřetí orientace okna je zásadní na jejich solární zisk. Je proto vhodné na méně osluněné strany budovy umísťovat okna menších rozměrů a s lepšími tepelně-izolačními vlastnostmi (např. trojskla), aby docházelo k co nejmenším tepelným ztrátám. Začtvrté stínění po dlouhou dobu dne zásadně limituje možnosti solárního zisku okna. To bohužel nelze změnit bez větších stavebních úprav.

Z naměřených dat lze potvrdit předpokládané vlivy použitého typu stínění. Nicméně pro demonstraci potřeby ochrany před nežádoucími tepelnými zisky by bylo třeba dalšího měření a to zejména v letním období. Obdobně tak pro jednoznačné určení vlivu nastavení polohy venkovních rolet.

## 5 Závěr

Diplomová práce byla rozdělena na čtyři části. V první části jsou popsány základní parametry slunečního záření a možnosti technického využití sluneční energie. Druhá část práce rozděluje solární systémy na pasivní a aktivní a uvádí několik příkladů těchto systémů s popisem jejich funkce. Ve třetí části je popsán modelový objekt a průběh dlouhodobého měření. V poslední části jsou prezentovány výsledky měření s jejich popisem a následným zhodnocením dat.

Hlavním cílem měření bylo ověření činnosti jednotlivých stínících prvků. Měření ověřilo většinu předpokládaných vlivů stínění na dopadající záření. Vhodným nastavením stínících prvků lze dosáhnout co nejlepšího solárního zisku oken a využít tak energii k vytápění. V našich podmínkách není pouhé vytápění slunečním zářením dostačující, proto se v praxi využívá kombinace s lokálním zdrojem tepla (elektrika, plyn, pevná paliva). Nicméně vhodným rozmístěním pasivních solárních prvků lze dosáhnout značné úspory a tím snížením spotřeby energie budovy. Jak bylo řečeno, tak největší část celkové vyrobené energie jde právě do domácností, kde z velké části je využita k vytápění a ohřevu TUV. Snížením této položky lze rapidně snížit celkovou spotřebu energie a tím šetřit konvenčními zdroji a jejich zásobami.

Snižování energetické náročnosti je v současné době často zmiňované téma. Je jen otázkou času, kdy se pasivní solární systémy budou běžně objevovat v našich domácnostech a nízkoenergetické či pasivní domy budou standardem bydlení. Tento trend je již patrný ve vyspělých zemích, kde je obyvatelstvo environmentálně vzdělané - např. Nizozemsko, Belgie, skandinávské země aj. Pasivní solární systémy mají slibnou budoucnost teprve před sebou.

## Seznam obrázků

Obr.: 1 - Spektrum slunečního záření [17] .....	8
Obr.: 2 - Průchod slunečního záření atmosférou s přibližnými hodnotami dopadajících a odražených (vyzářených) složek záření [12] .....	9
Obr.: 3 - Průměrná hodnota dopadajícího slunečního záření - Evropa [14] .....	11
Obr.: 4 - Průměrná hodnota dopadajícího slunečního záření - ČR [14] .....	11
Obr.: 5 - Poloha slunce a azimut [8] .....	13
Obr.: 6 - Průběh intenzity záření za jasného dne [1] .....	15
Obr.: 7 - Roční průběh teoreticky využitelné energie s různým úhlem sklonu $\alpha$ a optimálního sklonu osluněné plochy $\alpha_{opt}$ [1] .....	19
Obr.: 8 - Aproximace (zidealizování) průběhu intenzity při střídavé oblačnosti [1] .....	20
Obr.: 9 - Věžová koncentrační elektrárna v Jülich (Německo) [17] .....	21
Obr.: 10 - Různé druhy fotovoltaických panelů na střeše budovy FEL ZČU .....	23
Obr.: 11 - Možnosti využití slunečního záření .....	25
Obr.: 12 - Malá fotovoltaická elektrárna na střeše nízkoenergetického domu [2] .....	27
Obr.: 13 - Věžová koncentrační elektrárna [11] .....	29
Obr.: 14 - Plochý solární kolektor [2] .....	30
Obr.: 15 - Řez zdí s klasickou tepelnou izolací a zdí s transparentní izolací - s průběhy teplot [3].....	32
Obr.: 16 - Řez jednoduchým oknem s dvojsklem [14] .....	33
Obr.: 17 - Sluneční skleník [17] .....	35
Obr.: 18 - Trombeho stěna - zimní a letní provoz [14].....	36
Obr.: 19 - Energetická střecha - řez [2].....	37
Obr.: 20 - Ukázka využití dvojité transparentní fasády se zabudovanými stínícími prvky [17] .....	38
Obr.: 21 - Znázornění pohybu slunce k určení polohy a úhlu dopadajícího záření [4].....	40
Obr.: 22 - Denní průběh poměrné délky stínu vrženého svislou zástěnou orientovanou na jih [1].....	41
Obr.: 23 - Denní průběh poměrné délky stínu vrženého svislou zástěnou pro různé azimuty - vlevo $a_s = 15^\circ$ ; uprostřed $a_s = 30^\circ$ ; vpravo $a_s = 45^\circ$ [1] .....	41
Obr.: 24 - Denní průběh poměrné délky stínu vrženého vodorovnou stříškou orientovanou na jih [1].....	42
Obr.: 25 - Denní průběh poměrné délky stínu vrženého vodorovnou stříškou pro různé azimuty - a) $a_s = 15^\circ$ ; b) $a_s = 30^\circ$ ; c) $a_s = 45^\circ$ [1] .....	42
Obr.: 26 - Letecký snímek budovy FEL s označením jednotlivých částí (objektů) a znázornění měřících míst ..	44
Obr.: 27 - Pohled zvenku na měřená solární okna na měřících místech EU1, EU3 a EU5 .....	45
Obr.: 28 - Konfigurace měřených bodů na solárním okně v EU1 .....	46
Obr.: 29 - Pohled zvenku na stínící prvky solárního okna v EU1 .....	47
Obr.: 30 - Konfigurace měřených bodů na solárním okně v EU3 .....	48
Obr.: 31 - Konfigurace měřených bodů na solárním v okně v EU5.....	49
Obr.: 32 - Konfigurace měřených bodů na solárním okně v místnosti EL311 .....	51
Obr.: 33 - Konfigurace měřených bodů na solárním okně v místnosti EL703 .....	52
Obr.: 34 - Průběhy jednotlivých složek tepelné bilance svislé zasklené plochy orientované na jih pro různé typy zasklení .....	56
Obr.: 35 - Ilustrační fotografie použití papírových pásek ke vzájemnému přibližnému srovnání emisivit povrchů solárního okna .....	58
Obr.: 36 - Denní průběhy intenzity záření z meteostanice ZČU pro vybrané dny.....	59
Obr.: 37 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EU1.....	60
Obr.: 38 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EU3.....	60
Obr.: 39 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EU5.....	61
Obr.: 40 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EL311 - levá část (a) .....	62
Obr.: 41 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EL311 - pravá část (b).....	62
Obr.: 42 - Průběhy průměrných hodnot teploty solárního okna v EL703.....	63
Obr.: 43 - Průběhy průměrných hodnot teploty rámu pro různé typy stínění dne 22.11.....	64
Obr.: 44 - Průběhy průměrných hodnot teploty oken pro různé typy stínění dne 22.11. ....	64
Obr.: 45 - Průběhy průměrných hodnot teploty rámu pro různé typy stínění dne 18.1.....	65
Obr.: 46 - Průběhy průměrných hodnot teploty oken pro různé typy stínění dne 18.1. ....	65

<b>Obr.: 47 - Průběhy průměrných hodnot teploty ráků pro různé typy stínění dne 4.4.....</b>	<b>66</b>
<b>Obr.: 48 - Průběhy průměrných hodnot teploty oken pro různé typy stínění dne 4.4. ....</b>	<b>66</b>

## Seznam tabulek

Tab.: 1 - Sluneční deklinace $\delta$ pro charakteristický den v jednotlivých měsících [4] .....	13
Tab.: 2 - Teoretická doba slunečního svitu $\tau_{\text{teor}}$ v charakteristických dnech jednotlivých měsíců; platí pro 50° severní šířky [1] .....	16
Tab.: 3 - Skutečná doba slunečního svitu v Plzni a vypočtená poměrná doba pro jednotlivé měsíce [13] .....	18
Tab.: 4 - Teoreticky optimální a prakticky využívané sklony osluněné plochy oproti vodorovné ploše při orientaci na jih [1].....	19
Tab.: 5 - Denní energie difúzního záření $Q_{\text{Dden}}$ na různě skloněné plochy v jednotlivých měsících; platí pro 50° severní šířky a součinitel znečištění atmosféry $Z = 3$ [13] .....	20
Tab.: 6 - Součinitel prostupu tepla okny v závislosti na tloušťce mezery a použitého plynu [3] .....	34
Tab.: 7 - Naměřené teploty solárního okna v EU1 dne 22.11. 2016 .....	47
Tab.: 8 - Naměřené teploty solárního okna v EU3 dne 22.11. 2016 .....	48
Tab.: 9 - Naměřené teploty solárního okna v EU5 dne 22.11. 2016 .....	50
Tab.: 10 - Naměřené teploty solárního okna v EL311 dne 22.11. 2016 .....	51
Tab.: 11 - Naměřené teploty solárního okna v EL703 dne 22.11. 2016 .....	53
Tab.: 12 - Typické hodnoty propustnosti $p$ pro kolmo dopadající záření pro různé typy zasklení [tzb].....	55

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.
- [2] ŠEVČÍKOVÁ, Lenka, Sylva KLÍMOVÁ a Danuše ČUPROVÁ. *Pasivní solární energie: nové trendy*. In: *TZB-info.cz* [online]. Brno: VUT BRNO, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství, 14.11.2003 [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1705-pasivni-solarni-energie-nove-trendy>
- [3] MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. *Solární energie pro váš dům*. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-7366-029-6.
- [4] CIHELKA, Jaromír. *Sluneční vytápěcí systémy*. Praha: SNTL, 1984. Knižnice technických aktualit.
- [5] SRDEČNÝ, Karel. *Energeticky soběstačný dům - realita, či fikce?*. Brno: ERA, 2006. 21. století. ISBN 80-7366-052-0.
- [6] MATOUŠKOVÁ, Leona. *Znečištění ovzduší přízemním ozonem*. In: [online]. CENIA-Česká informační agentura životního prostředí [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: [http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/\\$pid/MZPEBFL8NIS5](http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/$pid/MZPEBFL8NIS5)
- [7] ČECHURA, Petr. *Návrh solárního systému pro obytný dům s bazénem*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. ZČU.
- [8] BOHŮN, Vojtěch. *Kooperace tepelného čerpadla s pasivním solárním systémem*. Brno, 2008. Bakalářská práce. VUT v Brně.
- [9] ZOBAA, Ahmed F. a R. C. BANSAL. *Handbook of renewable energy technology*. Hackensack, N.J.: World Scientific, c2011. ISBN 981428906X.
- [10] SØRENSEN, Bent. *Renewable energy: physics, engineering, environmental impacts, economics & planning*. 4th ed. Burlington, MA: Academic Press, c2011. ISBN 9780123750259.
- [11] PATEL, Mukund R. *Wind and solar power systems: design, analysis, and operation*. 2nd ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, c2006. ISBN 9780849315701.
- [12] Meteorologické prvky a jejich klimatologické charakteristiky: Sluneční záření. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz\\_geogr/web/pages/03-prvky.html#soul](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/03-prvky.html#soul)
- [13] BERANOVSKÝ, Jiří a Jan TRUXA. *Alternativní energie pro váš dům*. 2., aktualiz. vyd. Brno: EkoWATT, 2004. Edice 21. století. ISBN 80-86517-89-6.
- [14] CENTRUM EKOWATT. *Energie slunce: ohřev vody, vytápění* [online]. Sdružení MAC, 2010 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: [http://ekowatt.cz/upload/8d8404454da8be9d52d9234092c9d457/slunecni\\_teplo\\_web.pdf](http://ekowatt.cz/upload/8d8404454da8be9d52d9234092c9d457/slunecni_teplo_web.pdf)
- [15] Kolektory na ohřev vody. *TERMS cz: regulace - automatizace* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.terms-cz.com/solarni-energie-ohrev-vody.php>
- [16] TYMOVÁ, Petra. *Solární systémy v architektuře*. In: *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - TU Ostrava* [online]. 2007 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/64588/FAST-2007-7-1-233-tymova.pdf?sequence=2>
- [17] Charakteristika: Sluneční elektrárny. *Svět energie: Vzdělávací portál ČEZ* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.svetenergie.cz/cz/elektrarny/slunecni-elektrarny/charakteristika>

## Přílohy

### Příloha č.1: Vybraná ukázková naměřená data

#### EU1:

den	pozice	bod 1	bod 2	bod 3	bod 4	bod 5	bod 6	bod 7	bod 8	bod 9	bod 10	bod 11	bod 12	bod 13	bod 14	teplota zdi	čas měření
22.11.	měření 1	13,4	10,7	13,6	11,9	21,2	20,4	23,5	24,2	14,4	14,6	12,8	19,9	20,0	19,8		21,5
	měření 2	13,4	10,7	13,6	11,9	21,2	20,4	23,5	24,2	15,6	15,9	14,2	21,0	21,1	21,0		9:15
	měření 3	15,8	13,5	16,4	15,1	22,6	22,3	24,7	25,2	20,1	20,6	20,5	28,6	30,3	30,5		10:00
	měření 4	21,7	20,2	23,2	22,5	26,6	25,7	29,4	28,8	29,4	29,1	30,1	34,9	36,4	37,3		10:40
	měření 5	26,4	25,5	28,6	27,8	29,9	29,1	32,0	32,5	35,9	36,5	38,9	37,9	39,1	40,6		11:20
	měření 6	30,3	29,8	30,2	31,1	31,9	31,4	32,7	32,3	36,9	36,8	39,1	38,0	38,8	39,7		12:25
	měření 7	31,7	33,1	31,5	32,3	32,4	31,9	24,8	23,0	32,6	33,2	34,6	26,3	25,7	26,1		13:10
	měření 8	31,5	32,9	31,4	32,2	21,6	21,1	20,3	18,2	24,5	24,4	26,0	22,1	21,9	21,5		13:45
	měření 9	27,4	26,1	24,2	27,8	17,9	17,3	18,6	16,3	22,2	22,0	23,2	21,3	21,1	21,2		14:30
	měření 10	21,5	19,9	19,9	20,9	17,1	17,0	16,9	15,6	21,0	20,8	21,9	21,0	20,3	20,4		15:20
	měření 11	17,1	15,1	17,6	16,3	14,6	14,8	14,9	15,1	19,8	19,5	19,8	19,6	19,2	19,0		16:10
18.1.	měř1	8,1	8,5	10,8	9,5	16,9	16,4	18,9	19,6	11,5	11,6	10,2	15,7	15,9	15,6		8:35
	měř2	8,4	8,8	11,0	9,8	17,3	16,7	19,1	19,9	11,9	12,0	10,5	16,9	17,1	17,0		9:35
	měř3	12,9	11,0	13,3	12,3	18,3	18,1	20,3	20,4	16,5	16,7	16,4	23,1	24,5	24,8		10:35
	měř4	17,7	16,7	18,9	18,4	21,8	21,0	24,1	23,6	24,2	23,8	24,6	28,9	29,5	30,3		11:35
	měř5	21,7	21,6	23,5	23,1	24,5	24,2	26,7	26,6	29,7	29,7	32,5	30,8	31,3	32,8		12:35
	měř6	24,8	24,4	25,0	25,6	26,4	25,7	26,9	26,4	30,4	30,3	32,6	29,7	30,5	31,4		13:40
	měř7	26,2	26,3	25,4	25,3	26,6	25,9	20,2	18,6	28,2	28,7	29,5	20,8	20,9	21,1		14:20
	měř8	22,9	21,7	19,6	22,9	17,0	17,0	16,3	14,3	20,0	20,3	21,2	17,7	17,9	17,6		15:00
	měř9	17,5	16,3	16,2	16,9	14,3	14,1	14,7	13,0	18,4	18,1	19,1	17,5	17,2	17,1		15:35
	měř10	15,4	13,9	15,6	14,9	13,8	13,8	13,6	12,8	17,2	16,9	17,8	17,0	16,5	16,6		16:10
	měř11	13,0	11,5	13,4	12,3	11,6	12,1	12,0	12,2	16,1	15,8	16,1	16,0	15,6	15,4		16:45
4.4.	měř1	13,7	10,9	13,9	12,2	21,6	20,8	24,0	24,7	14,7	14,9	13,1	19,9	20,1	20,0		8:00
	měř2	13,7	10,9	13,9	12,2	21,6	20,8	24,0	24,7	14,7	14,9	13,1	21,3	21,4	21,6		8:50
	měř3	16,3	14,1	16,9	15,9	23,1	22,8	25,5	25,4	20,9	20,6	20,9	29,0	30,9	31,1		9:40
	měř4	22,4	21,2	23,9	23,5	27,3	26,4	30,2	29,6	29,8	30,2	30,7	36,2	37,5	38,0		10:30
	měř5	27,2	27,0	29,7	29,2	30,7	30,2	33,5	33,4	37,4	37,3	39,9	39,1	39,9	41,4		11:35
	měř6	31,8	31,5	31,9	32,3	33,1	32,2	33,4	33,0	37,9	38,0	40,1	38,9	39,7	40,5		12:35
	měř7	30,1	29,8	28,9	29,1	34,1	34,3	27,0	25,1	33,1	33,4	35,1	25,9	26,5	26,6		13:10
	měř8	23,5	23,7	23,1	23,2	22,9	22,3	22,5	19,8	26,1	25,1	26,4	22,2	22,4	21,9		14:05
	měř9	22,3	20,4	20,9	22,1	19,5	19,1	20,5	18,5	23,4	22,6	23,9	21,9	21,5	21,6		15:00
	měř10	19,5	17,8	19,1	19,2	18,6	18,7	19,2	18,1	21,6	21,1	22,0	21,4	20,7	20,8		15:55
	měř11	16,4	15,4	16,9	15,7	15,9	17,1	17,2	17,5	20,2	20,0	20,2	20,0	19,6	19,4		16:50

#### EU3:

den	pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	teplota zdi	čas měření
22.11.	měř1	19,5	19,8	20,5	21,2	23,1	20,8	22,1	24,6	26,9	29,2	24,9	25,8	30,4	26,7		21,5
	měř2	22,7	21,5	24,8	25,4	28,4	25,8	26,5	28,6	34,2	36,1	32,8	33,3	38,0	34,6		21,7
	měř3	30,4	28,6	34,1	30,0	34,0	31,1	31,9	32,8	40,6	42,2	39,9	38,4	43,9	39,8		23,1
	měř4	35,8	32,7	36,7	32,5	36,9	34,4	35,4	34,9	44,1	45,1	42,8	43,6	45,9	43,9		23,7
	měř5	36,9	34,7	36,9	35,0	37,4	36,1	36,2	34,5	43,8	45,2	43,5	44,8	45,4	44,6		24,1
	měř6	37,9	38,9	38,9	35,9	39,7	37,0	36,8	36,9	43,6	44,8	43,4	42,4	43,4	41,9		23,9
	měř7	35,0	34,9	34,8	32,1	35,5	35,7	33,6	32,9	41,3	42,6	42,1	41,1	40,8	40,6		23,5
	měř8	33,5	31,6	30,4	29,1	30,2	33,1	29,4	29,7	39,4	39,7	39,6	39,8	39,4	39,1		22,8
	měř9	31,2	28,4	28,7	26,9	27,9	30,4	27,9	27,4	34,1	34,3	33,9	33,4	34,5	34,8		22,7
	měř10	25,2	23,6	24,9	23,1	22,9	24,1	23,5	23,1	28,8	29,9	28,7	28,3	29,0	29,4		22,5
	měř11	21,4	20,8	21,4	20,5	19,3	19,1	19,6	19,4	25,9	26,6	25,6	25,3	25,8	26,2		22,4
18.1.	měř1	15,4	15,2	19,4	17,2	18,7	16,9	22,6	20,0	21,9	23,7	22,6	24,5	24,7	22,5		20,3
	měř2	19,5	19,1	23,5	20,7	23,0	20,9	25,7	23,2	27,8	29,4	28,4	30,5	30,9	28,6		20,6
	měř3	24,7	23,2	27,7	24,4	27,6	25,2	29,3	26,7	33,0	34,3	34,2	35,1	35,7	34,0		21,9
	měř4	29,1	26,6	29,8	26,4	30,0	27,9	30,7	28,4	36,4	37,2	36,4	37,4	37,9	37,2		22,6
	měř5	29,0	26,7	28,9	26,1	29,1	27,2	29,4	27,2	35,6	36,7	36,1	36,4	36,9	36,8		22,9
	měř6	31,0	29,9	28,8	27,2	30,1	30,3	26,5	25,4	35,8	36,4	35,9	36,1	36,7	36,5		22,7
	měř7	30,7	28,4	28,3	26,1	28,9	26,2	21,3	20,7	33,3	33,5	34,4	35,2	35,4	34,9		22,0
	měř8	28,2	25,7	26,2	23,6	22,6	21,3	19,5	18,9	33,0	32,9	33,0	33,8	33,7	33,4		21,7
	měř9	25,3	23,0	24,0	21,9	19,2	18,5	18,1	17,7	28,4	28,1	29,1	30,1	30,0	29,6		21,5
	měř10	20,5	19,2	20,3	18,7	16,7	16,5	16,8	16,5	25,1	24,7	25,6	25,9	25,7	26,1		21,4
	měř11	17,4	16,9	17,4	16,6	15,7	15,5	16,0	15,8	22,8	21,7	21,6	22,4	22,1	22,0		21,2
4.4.	měř1	21,7	21,2	22,1	21,3	23,3	22,9	23,8	24,8	27,5	29,8	27,4	30,6	31,0	31,4		21,2
	měř2	24,5	24,3	25,0	24,2	27,2	26,8	27,8	28,9	35,0	36,9	34,9	38,0	38,8	38,8		21,3
	měř3	32,1	32,2	32,9	32,4	34,9	34,5	35,6	36,6	41,5	43,1	41,2	44,1	44,8	44,9		22,1
	měř4	37,2	37,4	37,7	37,1	37,8	37,4	38,5	39,3	45,8	46,8	44,9	47,4	47,6	48,2		23,5
	měř5	36,5	36,1	36,8	36,3	37,4	37,0	38,0	38,9	46,1	47,0	45,1	47,3	47,5	48,1		24,1
	měř6	36,4	36,6	37,1	36,1	37,6	37,2	37,4	38,0	45,4	44,7	45,2	45,7	46,1	46,5		24,5
	měř7	37,1	37,0	37,7	36,9	37,4	37,0	36,4	37,1	46,0	45,8	45,2	45,2	45,6	46,0		23,8
	měř8	36,4	36,2	36,5	36,2	35,9	35,5	34,9	34,2	45,7	46,1	45,0	44,6	44,8	45,2		22,9
	měř9	32,3	32,0	32,4	32,3	31,4	31,0	30,4	29,5	41,3	41,4	40,9	39,6	39,4	40,0		22,4
	měř10	24,7	24,2	25,1	24,4	23,2	22,8	22,2	21,2	29,1	29,8	28,6	27,4	27,0	27,6		22,4
	měř11	21,6	21,3	22,2	22,5	20,5	20,1	19,5	18,6	23,4	24,0	23,0	22,7	22,4	22,8		22,3

EU5:

den	pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	teplota zdi	čas měření
22.11.	měř1	21,5	21,8	22,1	23,4	24,8	22,9	24,4	26,3	29,7	31,1	27,5	32,7	33,5	32,9	21,5	8:30
	měř2	25,0	23,7	25,9	26,5	30,6	28,4	29,2	30,7	36,9	37,8	35,4	39,9	41,9	40,8	21,7	9:15
	měř3	31,1	29,2	30,3	30,7	34,2	31,9	32,7	33,2	42,0	42,5	41,3	43,8	45,3	44,4	23,1	10:00
	měř4	34,8	33,1	35,5	33,6	36,9	34,9	36,0	34,9	45,1	45,0	43,7	45,9	47,0	46,6	23,7	10:40
	měř5	37,0	34,7	36,1	35,1	38,4	36,2	36,3	36,0	44,1	44,8	43,8	46,0	45,8	45,7	24,1	11:20
	měř6	37,8	37,6	38,6	38,3	39,0	36,9	36,6	36,7	43,8	45,0	43,6	44,2	43,6	44,3	23,9	12:25
	měř7	35,4	35,2	35,1	34,7	36,1	33,7	33,9	33,1	42,3	43,3	42,8	41,8	41,4	42,4	23,5	13:10
	měř8	32,1	32,9	32,5	33,1	31,5	31,3	31,7	32,0	42,9	43,0	42,1	41,2	40,8	41,4	22,8	13:45
	měř9	30,8	31,3	31,6	32,2	30,4	30,1	30,8	30,2	40,2	39,6	38,8	36,8	38,0	38,3	22,7	14:30
	měř10	24,1	24,4	25,7	25,1	23,3	23,3	24,3	23,9	33,3	33,1	32,6	29,3	30,1	30,7	22,5	15:20
	měř11	21,5	21,4	22,1	21,6	19,9	19,7	20,2	20,0	28,8	28,9	28,3	26,2	26,7	27,2	22,4	16:10
18.1.	měř1	20,0	20,4	20,5	21,0	21,9	21,1	21,7	22,3	22,4	22,5	22,1	23,5	24,2	22,9	20,3	8:35
	měř2	22,0	21,8	22,7	22,9	24,8	23,4	24,5	25,1	27,1	26,9	26,3	29,5	30,2	28,9	20,6	9:35
	měř3	26,3	25,5	26,1	26,8	28,7	27,5	28,4	29,0	32,2	32,2	31,5	33,8	33,4	34,0	21,9	10:35
	měř4	29,5	28,7	28,8	30,1	31,8	31,0	31,6	32,2	36,3	36,6	36,1	35,7	35,3	35,6	22,6	11:35
	měř5	29,9	30,3	29,7	30,6	31,1	30,4	30,8	31,6	34,8	35,0	36,1	35,4	35,6	34,9	22,9	12:35
	měř6	31,7	31,4	32,2	31,1	30,6	30,0	30,4	31,2	36,2	36,4	36,8	35,8	35,6	36,1	22,7	13:40
	měř7	29,9	30,4	30,5	29,9	29,1	28,4	28,9	29,1	36,4	35,8	36,0	34,7	35,1	35,6	22,0	14:20
	měř8	28,5	28,9	28,9	28,1	27,0	26,9	26,6	27,2	34,7	33,8	34,3	32,6	32,7	32,0	21,7	15:00
	měř9	25,0	25,5	25,1	25,4	23,5	23,4	23,2	23,6	32,9	32,4	31,8	31,4	30,5	30,1	21,5	15:35
	měř10	20,3	20,7	20,3	21,1	19,7	19,2	18,7	18,9	28,4	27,6	26,9	26,1	25,3	24,8	21,4	16:10
	měř11	17,1	17,4	17,8	17,2	16,2	16,8	16,0	16,4	22,4	22,9	21,9	19,3	19,0	18,9	21,2	16:45
18.1.	měř1	20,7	21,1	21,3	22,1	21,6	21,1	22,1	21,7	26,1	26,8	26,8	27,1	28,7	27,9	21,2	8:00
	měř2	24,1	23,3	24,4	25,1	27,7	27,1	27,9	27,3	33,0	33,4	32,3	34,5	36,0	34,9	21,3	8:55
	měř3	30,2	29,1	30,4	29,8	29,8	31,3	30,9	29,7	38,7	38,9	37,5	38,8	39,3	39,1	22,1	9:50
	měř4	34,9	33,8	35,2	34,7	37,1	36,6	37,3	36,4	43,2	43,7	42,1	44,1	44,3	43,6	23,5	10:45
	měř5	35,8	35,6	36,0	35,7	36,8	36,3	37,2	36,8	46,1	46,5	45,2	45,9	46,3	45,3	24,1	11:40
	měř6	35,9	35,8	36,6	36,1	36,9	37,0	37,8	37,1	46,5	47,2	46,2	47,6	47,3	46,4	24,5	12:35
	měř7	33,7	34,0	34,3	33,9	34,8	35,1	35,4	35,1	44,4	44,8	44,7	43,7	43,3	43,5	23,8	13:10
	měř8	30,3	30,9	30,7	30,7	31,6	31,6	32,5	32,1	42,9	42,1	41,9	40,8	40,6	40,2	22,9	14:05
	měř9	28,0	28,4	28,5	28,9	28,9	28,6	29,2	28,6	36,5	36,7	35,8	37,2	36,4	35,7	22,4	15:00
	měř10	22,4	22,6	22,7	23,4	23,1	22,5	24,0	23,1	32,6	31,9	32,0	31,3	30,8	30,1	22,4	15:55
	měř11	19,5	19,4	19,9	20,3	20,7	20,1	21,1	20,3	25,6	25,9	25,2	27,1	26,5	25,8	22,3	16:50

EL311:

den	pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	teplota zdi	čas měření		
21.11.	měř1	21,0	21,1	20,6	20,8	21,1	21,5	21,4	21,7	16,1	16,8	17,2	16,9	16,4	17,3	16,8	17,0	16,9	16,0	17,0	16,9	17,0	16,9	17,1	15,9	16,8	17,0	16,6	16,5	21,5	8:35
	měř2	22,7	22,8	21,9	22,5	22,3	23,2	23,4	23,7	17,6	19,5	20,5	20,1	17,9	20,1	21,1	20,6	20,3	17,2	20,3	21,1	20,6	17,3	19,5	20,5	20,1	20,0	20,1	21,7	9:20	
	měř3	26,7	26,3	26,9	26,2	26,3	26,6	25,5	26,8	21,4	24,9	25,9	25,8	21,9	25,8	26,8	26,5	25,8	21,9	25,8	26,8	26,5	21,4	24,9	25,9	25,3	25,8	26,1	10:05		
	měř4	27,2	28,7	27,8	28,1	27,1	29,0	28,8	29,1	29,9	32,7	33,1	32,9	30,6	32,8	32,4	33,4	32,4	30,6	32,8	32,4	33,4	29,9	32,7	33,1	32,9	32,9	32,9	24,1	10:50	
	měř5	29,2	31,5	31,1	30,6	29,6	31,6	31,6	31,9	34,7	38,8	37,4	37,1	35,4	36,1	35,7	37,7	35,7	35,4	36,1	35,7	34,7	34,7	34,7	37,1	37,1	37,4	24,1	11:35		
	měř6	28,6	31,0	30,6	30,4	28,4	31,3	31,2	31,7	35,7	37,7	38,1	37,5	36,5	37,5	36,8	38,1	34,9	36,5	37,5	36,3	38,1	35,7	37,7	38,1	37,5	38,1	23,8	13:10		
	měř7	27,9	29,7	29,1	29,7	28,8	30,6	30,5	30,9	35,8	36,2	35,8	35,1	36,0	36,6	36,8	35,3	35,3	36,0	36,6	35,3	35,8	35,8	35,8	35,8	35,1	35,8	23,5	13:55		
	měř8	27,0	28,8	28,4	28,8	28,1	29,0	28,8	29,2	35,7	35,6	35,0	33,7	35,5	34,7	35,0	33,6	33,6	35,5	34,7	35,0	33,6	35,7	35,6	35,0	33,7	35,6	22,8	14:40		
	měř9	24,1	26,3	27,3	27,2	26,9	26,5	26,4	26,7	33,0	33,2	33,7	33,7	33,1	33,9	33,4	31,3	31,3	33,1	32,9	33,4	31,3	33,7	33,7	31,7	31,7	31,7	22,7	15:25		
	měř10	25,8	24,6	25,7	26,2	25,4	25,9	25,7	26,3	30,2	30,5	30,2	29,2	30,7	31,0	31,1	29,0	29,0	30,7	31,0	31,1	29,0	30,2	30,5	31,2	29,4	30,5	22,5	16:10		
18.1.	měř1	21,3	21,5	21,8	22,3	19,5	19,8	19,6	20,1	16,0	16,5	16,9	16,7	16,7	17,0	16,5	16,9	16,8	16,2	16,3	16,8	16,9	16,7	16,8	17,5	17,4	17,9	21,3	8:35		
	měř2	22,8	23,0	23,2	23,6	21,6	21,0	21,2	22,1	17,0	18,9	19,8	19,5	18,6	19,4	20,6	20,1	19,8	17,2	17,1	20,1	19,8	20,3	19,2	20,3	20,0	20,8	22,0	9:20		
	měř3	24,5	25,2	24,9	25,4	23,5	23,1	23,4	24,1	20,8	24,3	25,1	24,6	24,1	25,0	26,2	25,9	25,2	21,1	21,1	25,2	25,2	26,0	24,3	24,9	24,7	24,8	22,5	10:05		
	měř4	26,2	27,8	27,3	28,0	26,8	25,6	26,0	27,2	29,2	31,7	32,9	32,1	29,8	31,9	31,7	32,6	31,7	29,5	29,4	32,2	31,7	31,6	31,8	32,3	32,1	32,2	23,2	10:50		
	měř5	28,8	29,9	29,4	30,1	28,4	28,4	28,0	28,7	33,9	35,8	36,0	36,2	35,8	35,2	34,9	36,1	34,9	34,6	34,6	36,4	34,9	34,9	35,9	34,4	34,3	34,8	23,7	11:35		
	měř6	29,5	30,0	30,1	30,2	30,2	30,9	30,7	31,0	35,0	36,5	36,1	36,7	36,8	36,6	35,5	36,7	35,5	35,9	35,7	37,2	35,5	35,5	36,8	35,9	35,8	36,0	23,6	13:10		
	měř7	29,3	29,6	29,9	29,2	30,5	30,7	30,6	30,8	35,1	35,3	35,0	34,3	34,8	35,7	36,0	34,5	34,5	35,4	35,3	35,0	34,5	36,0	35,4	34,4	34,5	34,8	23,2	13:55		
	měř8	28,4	28,8	28,9	28,0	28,4	28,3	28,1	27,8	35,0	34,8	34,2	33,9	34,7	34,0	34,3	33,8	32,8	34,8	34,7	34,2	33,8	34,3	34,8	33,0	33,1	33,1	23,8	14:40		
	měř9	27,5	28,0	28,2	27,2	27,0	26,3	26,2	25,9	32,4	32,5	33,0	31,9	32,5	32,1	32,6	30,4	30,6	32,2	32,2	31,8	30,7	32,5	32,4	31,1	31,2	31,1	22,5	15:25		
	měř10	26,4	26,9	26,5	25,8	25,1	24,3	24,7	23,9	30,3	29,9	29,7	29,2	29,0</																	