



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

**ODBOR ZNALECTVÍ VE STAVEBNICTVÍ A OCEŇOVÁNÍ
NEMOVITOSTÍ**

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN CIVIL ENGINEERING AND REAL ESTATE APPRAISAL

**EKONOMICKO-TECHNICKÁ ANALÝZA
FOTOVOLTAICKÉHO FASÁDNÍHO SYSTÉMU**

ECONOMIC AND TECHNICAL ANALYSIS OF THE PHOTOVOLTAIC FACADE SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Kateřina Bónová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vítězslava Hlavinková, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Studentka: **Ing. Kateřina Bónová**
Studijní program: Soudní inženýrství
Studijní obor: Realitní inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Vítězslava Hlavinková, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19
Ústav: Odbor znaleství ve stavebnictví a oceňování nemovitostí

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

Ekonomicko–technická analýza fotovoltaického fasádního systému

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vysvětlení stěžejních pojmů z oblasti fotovoltaických elektráren umístovaných na stavební objekty vč. přehledu technologií.

Uvedení nejdůležitějších aspektů ovlivňujících efektivitu fotovoltaického systému na vybraných objektech. Rozhodnutí o vhodnosti použití fotovoltaického fasádního systému na jednotlivé objekty ze srovnávané sady.

Posouzení, zda elektrická energie vyrobená fasádní fotovoltaickou elektrárnou, a s tím související úspora elektrické energie odebrané z rozvodné distribuční sítě, pokryje stavební vícenáklady související s instalací fotovoltaického fasádního systému.

Cíle diplomové práce:

Definice technických podmínek pro použití fotovoltaických panelů na fasádách a ekonomická analýza návratnosti fasádní fotovoltaické elektrárny, včetně vyhodnocení optimální varianty.

Seznam doporučené literatury:

TYWONIAK, J. a kol.: Nízkoenergetické domy. GRADA Publishing 2008

MATUŠKA, T.: Solární soustavy. GRADA Publishing a.s. 2010

MATUŠKA, T.: Solární zařízení v příkladech. GRADA Publishing a.s. 2013

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

Ing. Milada Komosná, Ph.D.
vedoucí odboru

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Diplomová práce komplexně analyzuje fotovoltaické elektrárny na fasádách budov, a to jak z ekonomického, tak i z technického hlediska. Věnuje se také širšímu pohledu na problematiku fotovoltaických elektráren z hlediska jejich umístění, příslušenství a legislativy. Pro energetické vyhodnocení fotovoltaických aplikací na fasádě je v práci popsán detailní způsob výpočtu energetických zisků včetně vyhodnocení pěti zdrojů vstupních dat slunečního záření. Dále práce popisuje způsob stanovení návratnosti fotovoltaické fasády, která úzce souvisí s její schopností pokrýt energetickou náročnost budovy a jejího provozu. Tyto výpočty jsou v závěru práce prezentovány na čtyřech vybraných budovách. Součástí diplomové práce je také zpracovaný graf, díky němuž lze stanovit optimální velikost fotovoltaické fasády. Její velikost je určena v závislosti na orientaci vybrané fasády vůči světovým stranám a na podlahové ploše objektu, ze které lze odhadnout budoucí spotřebu elektrické energie.

Abstract

This thesis comprehensively analyses photovoltaic power plants on facades both from economic and technical point of view. It also devotes to a broader view upon a photovoltaic power plants regarding their placement, its accessories and legislative. The thesis describes a calculation of energetic gains in details including evaluation of five solar radiation sources in order to assess energetic effectivity of the photovoltaic equipment. Furthermore, the thesis describes a means of determination of photovoltaic revenues which is closely related to its ability to sustain the energetic demand of the building. These calculations are presented in the conclusion of thesis where they are applied to four selected buildings. The thesis also contains a processed graph due to which it is possible to specify optimal size of photovoltaic facade. The size is depending on selected facade cardinal point orientation and also on floor area of the building, which serves to estimate future electricity consumption.

Klíčová slova

Fotovoltaická elektrárna, fasáda, energetické zisky, spotřeba energie, návratnost

Keywords

Photovoltaic power plant, facade, energetic gains, energy consumption, rate of return

Bibliografická citace

BÓNOVÁ, Kateřina. *Ekonomicko-technická analýza fotovoltaického fasádního systému* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116145>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znalectví ve stavebnictví a oceňování nemovitostí. Vedoucí práce Vítězslava Hlavinková.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Ekonomicko-technická analýza fotovoltaického fasádního systému“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně 24. 5. 2019

.....

Podpis autorky

Poděkování

Děkuji vedoucí práce paní Ing. Vítězslavě Hlavinkové, Ph.D., za konzultace a odborné připomínky. Velké poděkování patří dále společnosti DEK za technickou podporu, poskytnutí dat, za cenné konzultace, rady a snahu i ochotu pomoci vyřešit vyvstalé problémy. V neposlední řadě také velmi děkuji mým blízkým za pochopení, toleranci, podporu, ale hlavně za motivaci k dokončení studia.

OBSAH

OBSAH.....	8
1 ÚVOD	10
2 CÍLE PRÁCE	12
3 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	13
3.1 Technologie fotovoltaiky	13
3.1.1 Křemíkové články	13
3.1.2 Tenkovrstvé články.....	15
3.2 Fotovoltaiický panel	18
3.2.1 Konstrukce fotovoltaických článků	18
3.2.2 Konstrukce fotovoltaických panelů.....	19
3.3 Fotovoltaické elektrárny na budovách	20
3.3.1 Umístění	20
3.3.2 Příslušenství fotovoltaické elektrárny	22
3.3.3 Legislativa.....	22
4 FASÁDNÍ SYSTÉMY	25
4.1 Fasáda.....	25
4.2 Fotovoltaická fasáda	25
5 METODIKA HODNOCENÍ EKONOMICKÉ NÁVRATNOSTI FOTOVOLTAICKÉ FASÁDY	29
5.1 Vstupní klimatická data	29
5.2 Výpočtové modely	36
5.2.1 Model 1	36
5.2.2 Model 2.....	38
5.3 Spotřeba elektrické energie	39
5.3.1 Roční spotřeba energie administrativního objektu	39
5.3.2 Denní režimy spotřeby energie administrativního objektu	43
5.4 Návratnost fotovoltaické elektrárny	45
6 EKONOMICKO-TECHNICKÁ ANALÝZA FOTOVOLTAICKÝCH FASÁD	47
6.1 Stanovení optimální velikosti fotovoltaické fasády	47
6.2 Posouzení vybraných administrativních objektů	49
6.2.1 Budova A, Uherské Hradiště.....	50
6.2.2 Budova B, Brno.....	55
6.2.3 Budova C, Karlovy Vary.....	60
6.2.4 Budova D, Kuřim	66
6.3 Diskuze výsledků	72

7 ZÁVĚR.....	75
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	77
SEZNAM TABULEK	80
SEZNAM GRAFŮ	81
SEZNAM OBRÁZKŮ	82
SEZNAM ZKRATEK.....	83
SEZNAM PŘÍLOH.....	83

1 ÚVOD

Z důvodu celosvětově se zvyšující spotřeby elektrické energie jsou v posledních desetiletích obnovitelné zdroje energie velmi diskutovaným tématem. Na poli působnosti elektrické energie se už desetiletí prosazují elektrárny větrné, vodní, sluneční, geotermální a elektrárny na biopaliva. V minulosti si tyto obnovitelné zdroje zažily různá období, kdy na ně bylo spoléháno jako na pohon budoucnosti, období lobby a následné mohutné podpory ze strany státu, potažmo nadnárodních uskupení. Také mají ale mnoho odpůrců, kteří plochy osazené především elektrárnami větrnými a solárními označují jako zohyzdění.

Tato diplomová práce se věnuje elektrárnám solárním, které momentálně procházejí obdobím nižší podpory, než tomu bylo v blízké minulost. Ceny za prodej vyrobené elektrické energie do distribuční sítě už nejsou dotovány, a tak se nyní oproti minulosti nevyplatí pořizovat elektrárnu pro objekt, který vyrobenou elektřinu není schopen spotřebovat. Na druhou stranu stále existují různé formy dotací snažící se pořízení elektrárny na obnovitelné zdroje podpořit.

Motivací k výrobě energie z obnovitelných zdrojů by však neměly být pouze dotace. Pohled na současný svět a rychlé tempo, jakým se mění, napovídá, že momentální vývoj je ekologicky neudržitelný.

Elektrárnám využívajícím solární energii nahrává i fakt, že se nyní nacházíme v období, kdy je naše planeta teplejší, oproti minulosti máme více slunečných dní v roce a méně srážek. Otázka, zda je to natrvalo či jen dočasně, je v tomto kontextu nepodstatná. Potenciál fotovoltaických elektráren je nesporný. Další výhodou těchto elektráren je do určité míry nezávislost na velkododavatelích elektrické energie, a to jak v otázce dodavatelských cen, tak i v případě výpadku dodávek energie. Existují modelové příklady domů, které dokonce fungují v naprosté izolaci od dodávek elektřiny či tepla a jsou tedy energeticky soběstačné. Uživatelův komfort takového ostrovního systému, jak se objektům fungujícím bez elektrické přípojky říká, v současné době nedosahuje komfortu distribuční sítě, ale kompromis zahrnující fotovoltaickou elektrárnu i odběr z distribuční sítě je již zcela kompatibilní se současným životním standardem. Za další pozitivní aspekt fotovoltaických elektráren lze považovat fakt, že díky spotřebě části slunečního záření na výrobu elektrické energie bude objekt osazený fotovoltaickým systémem méně ohříván. Vzhledem k nárůstu počtu slunečných dní v naší republice v posledních letech je možné, že se tato výhoda projeví úsporou za klimatizaci prostor objektu. Z tohoto faktu by mohly těžit především mrakodrapy, kterým by byly v současnosti vyvíjené průhledné fotovoltaické panely instalovány místo oken a nedocházelo by v nich k tak masivnímu efektu skleníku.

Tato diplomová práce je však zaměřena především na problematiku fasádní instalace fotovoltaických elektráren. Mnohé rozměrnější objekty, typicky administrativní budovy, výrobní haly, sklady a podobně, mají většinou velké fasádní plochy a zpravidla i vysoké spotřeby elektrické energie právě přes den, kdy slunce svítí nejintenzivněji. Právě takové plochy by bylo ideálně možné využít k výrobě energií z obnovitelných zdrojů s obstojnou efektivitou finanční návratností. To je v této diplomové práci demonstrováno na čtyřech vybraných administrativních objektech pomocí různých výpočtových metod. Ty jsou v závěru práce vzájemně porovnány a vyhodnoceny.

2 CÍLE PRÁCE

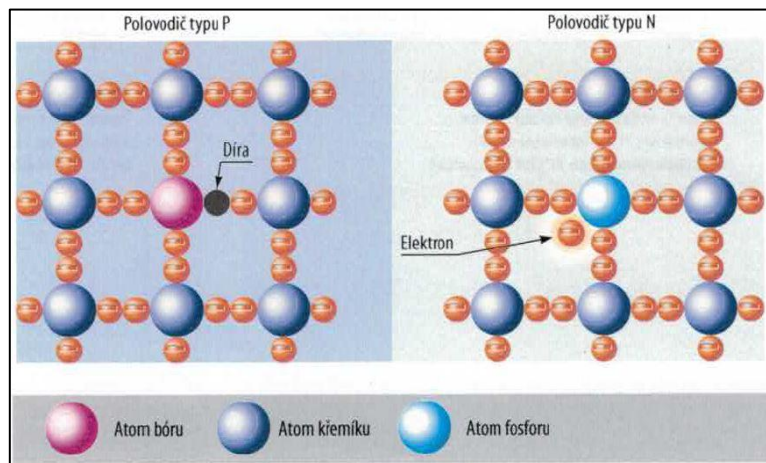
- uvedení do problematiky fotovoltaických elektráren s důrazem na možnosti jejich využití na fasádách budov
- sestavení metodiky hodnocení ekonomické návratnosti fotovoltaických elektráren na fasádách budov
- hodnocení předběžného návrhu optimální velikosti fotovoltaické fasády v závislosti na podlahové ploše administrativního objektu, kdy je optimálnost takové fasády dána předpokladem využití veškeré vyrobené energie fotovoltaikou pro potřeby objektu, aniž by vznikaly energetické přebytky
- provedení ekonomicko-technické analýzy vybraných administrativních budov za účelem posouzení vhodnosti využití fasády pro instalaci fotovoltaické elektrárny

3 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

3.1 TECHNOLOGIE FOTOVOLTAIKY

Fotovoltaické systémy využívají sluneční energii, kterou přeměňují na energii elektrickou v podobě stejnosměrného proudu. Transformace energií je možná díky polovodičové součástce tzv. PN přechodu, který se skládá z kladné části zvané P a záporné nazývané N. V záporné části je více volných elektronů schopných vést elektrický proud, kladná část je naopak o některé elektrony ochuzena (**Obr. č. 1**). Jedná se v podstatě o diodu reagující na světlo, tedy tzv. fotodiodu. Při vystavení diody slunečnímu záření do ní pronikne světelná částice zvaná foton, který, pokud má dostatečnou energii, vybudí elektron v záporné části PN přechodu. Takto vybudzený elektron se díky tomu dostane ze své valenční vrstvy, potažmo z celého atomu, do tzv. vodivostních vrstev a stává se volným elektronem, který je přitahován kladnou částí PN přechodu. V oblasti P pak zaplňuje místa, kde elektrony chybí, tzv. díry. Tímto pohybem volného elektronu vzniká elektrický proud.

Technologie, kterými je možné vyrobit elektrickou energii ze světla, lze obecně rozdělit na křemíkové a tenkovrstvé. Většina teoretických poznatků zmíněných v následujících kapitolách je převzata z Haselhuhnovy a Mauleho fotovoltaické příručky [1].



Obr. č. 1 – Modifikovaný krystal křemíku [1]

3.1.1 Křemíkové články

Křemíkové fotovoltaické články mají výhodu v tom, že chemický prvek křemík je již dlouhodobě a hojně využíván jako polovodič a jeho fyzikální a chemické vlastnosti jsou již dobře prozkoumané. PN přechod je tvořen tak, že atom křemíku použitý v záporné oblasti N je o jeden elektron ochuzen, aby mohla vzniknout díra, což lze provést například příměsí bóru a oproti tomu kladná oblast P potřebuje mít o elektron více oproti základnímu křemíkovému atomu, čehož lze dosáhnout

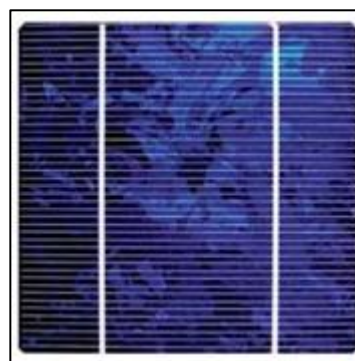
například příměsí fosforu (**Obr. č. 1**). Další výhodou využití křemíku je jeho dostupnost na naší planetě, a to především v zemské kůře v podobě oxidu křemičitého SiO_2 . Z dostupnosti se odvíjí i poměrně nízká cena této suroviny. Ekonomicky náročnější je ale proces zpracovávání křemíku pro potřeby fotovoltaických elektráren, které vyžadují vysokou chemickou čistotu výsledného zpracovaného křemíku.

Podle způsobu výroby fotovoltaických článků lze rozlišit na monokrystalické a multikrystalické. První zmíněné jsou zobrazené na **Obr. č. 2** a vyrábí se tzv. Czochralského metodou, kdy se při vysokých teplotách do taveniny vloží jeden krystal křemíku jako zárodek. Poté, co nastartuje krystalizaci, je tažen za stálého otáčení kolem své osy ven z taveniny. Výsledné oválné těleso, tzv. ingot, se nařeže na plátky a tyto jsou základem fotovoltaických článků.

Multikrystalické články znázorněné na **Obr. č. 3** mají výrobní proces podstatně jednodušší, jelikož vznikají odléváním do formy a řízeným tuhnutím. Tyto články ovšem nejsou vyráběny z tak vysoce chemicky čistého křemíku, jako monokrystalické, a proto nedosahují s nimi srovnatelně vysoké účinnosti transformace slunečního záření na elektrické napětí jako články monokrystalické. V závislosti na způsobu výroby, ale také na dalších chemických úpravách samotných článků, lze počítat s jejich účinností v rozmezí 13–22 %. Křemíkové články vynikají svojí životností přesahující 25 let, ve srovnání s tenkovrstvými články jsou ovšem poměrně náročné na materiál, jelikož mají řádově stonásobně větší tloušťku, a to cca 200 μm . Za důležitý aspekt lze označit také snižování výkonu článku s jeho rostoucí teplotou, za každý zvýšený teplotní stupeň lze počítat se snížením účinnosti přibližně o 0,45 %.



Obr. č. 2 – Monokrystalický fotovoltaický článek
[19]



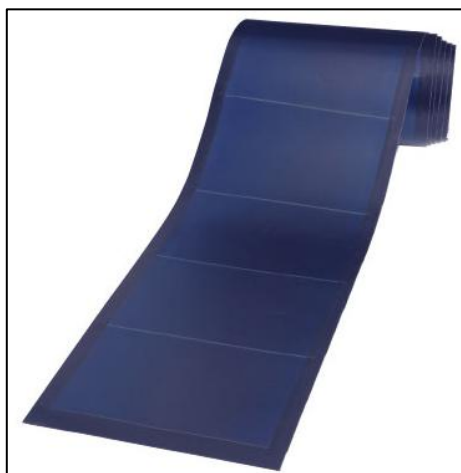
Obr. č. 3 – Multikrystalický fotovoltaický článek
[19]

Mezi křemíkové články lze také zařadit hybridní tzv. HIT (*Heterojunction with Intrinsic Thin-layer*) články. Jedná se o mezistupeň mezi křemíkovými a tenkovrstvými články, které budou podrobněji popsány v následující kapitole, jelikož hybridní fotovoltaický článek vzniká kombinací obou technologií. HIT článek je specifickým heterogenním PN přechodem tvořeným dvěma

rozdílnými strukturami polovodičů – monokrystalickým a amorfním křemíkem. Kombinace dvou materiálů s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi má za následek absorpci širšího spektra světelného záření a článek tak dosahuje účinnosti až 21 %. Oproti ostatním krystalickým článkům dochází ke zhoršení výkonu s každým teplotním stupněm pouze o 0,33 %. Hybridní články se vyrábí s tloušťkou menší než 0,1 mm, díky čemuž jsou také pružné a tím i mechanicky odolnější.

3.1.2 Tenkovrstvé články

Tenkovrstvé fotovoltaické články (**Obr. č. 4**) se od krystalických křemíkových článků výrazně odlišují už výrobním procesem, kdy nevznikají samotné články standardizovaných velikostí, ze kterých je možné seskládat fotovoltaický panel. Oproti tomu tenkovrstvé články vznikají za složitých chemických nebo fyzikálních procesů, kdy se tenké vrstvičky jednotlivých chemických látek nanášejí rovnou na nosnou plochu celého panelu.



Obr. č. 4 – Tenkovrstvý fotovoltaický článek [20]

I tenkovrstvé články je možné vyrábět z křemíku. Může se jednat o křemík mikrokrytalický, vyznačující se vysokou stálostí, nebo častěji o amorfni křemík. Ten má oproti krystalickému křemíku vyšší absorpční schopnosti, a proto je pro výrobu panelů dostačující již vrstva o tloušťce 0,3 μm . Účinnost takového článku je však jen kolem 7 %, dá se ale zvýšit použitím tzv. tandemové struktury, která vznikne navršením více vrstev amorfniho křemíku na sebe. Každá vrstva je pak přiměsí dalších chemických prvků upravena tak, aby byla schopna absorbovat fotony jiné vlnové délky, a celý článek pak může lépe využít potenciál dopadajících paprsků slunečního záření. Samotný amorfni křemík se vyrábí z plynné látky zvané silan s chemickým označením SiH_4 . Teploty při výrobním procesu jsou podstatně nižší než u výroby krystalických křemíků, řádově kolem 200 °C, díky čemuž může být vrstva amorfniho křemíku nanášena přímo i na teplotně méně odolnou podkladní vrstvu – například i na plast. Tato technologie výroby otevírá nové možnosti použití

na přenosných pružných fotovoltaických systémech, třeba i pro outdoorové využití, kde jsou vhodné pružné a odolné systémy.

Kromě amorfního křemíku se tenkovrstvé články často vyrábí také ze sloučeniny kadmia a telluru. Takové fotovoltaické články vynikají nízkou cenou, jelikož kadmium vzniká jako odpadní produkt při výrobě zinku. Samo o sobě je kadmium karcinogenní, a to především v teplotách nad 1 000 °C, za normálních podmínek a ve sloučenině s tellurem však nebezpečné není.

Další využívanou a osvědčenou látkou pro využití v tenkovrstvých článcích se stala sloučenina mědi, india a selenu, případně s příměsí galia. Kromě toho, že jsou levné a jejich účinnost schopnosti přeměny slunečního záření v elektrickou energii dosahuje až 15 %, jsou také vysoce chemicky stabilní a nedochází k jejich materiálové degradaci vlivem dopadajícího záření.

Pomocí doplnění článků o zrcadla nebo tzv. Fresnelovy čočky lze vytvořit tzv. koncentrátorové články. Ty soustřeďují přímé sluneční záření na článek pomocí sofistikovaných polohovacích systémů. Samotný článek může být tvořen monokrystalickým křemíkem, nebo články na bázi sloučenin india, gallia a buď arsenu, nebo fosforu. Koncentrátorové články by měly dosahovat teoreticky velmi vysokých účinností, reálně se však pohybují kolem 27 %. V praxi tyto články ale nejsou příliš využívány, jelikož se díky velké koncentraci záření velmi zahřívají a je nutné je chladit. I díky tomu je jejich životnost v porovnání s ostatními typy článků poměrně nízká.

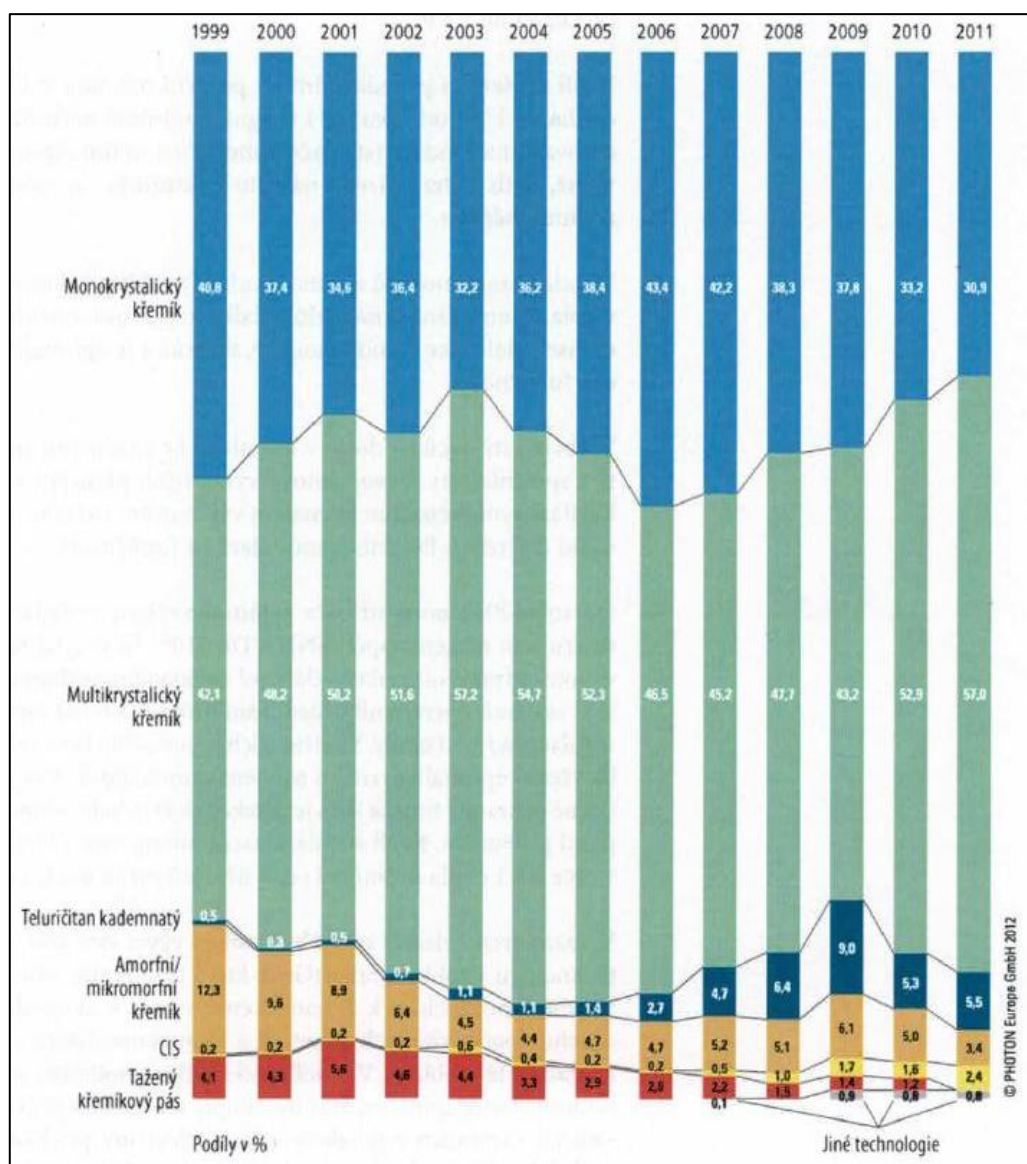
Jako revoluční lze označit technologii vytvářející polymerové nebo oligomerové články, které mají široké spektrum možného využití. Vyznačují se relativně snadnou výrobou a dlouhodobou materiálovou stabilitou, jejich účinnost se pohybuje okolo 10 % a navíc jsou pružné. Díky tomu jsou poměrně vhodné pro outdoorové mobilní solární systémy.

Mezi tenkovrstvými články stále ještě existuje mnoho materiálů, jejichž fyzikální či chemické vlastnosti prozatím nebyly zcela prozkoumány. To je i případ článků tvořených oxidem titaničitým s organickým barvivem a vrstvou solného roztoku plnícího funkci elektrolytu. Takový článek nefunguje na bázi PN přechodu, ale lze jej spíše přirovnat k procesu fotosyntézy v rostlinách. Po dopadu slunečního záření totiž dochází k excitaci elektronu v organickém barvivu. Takové články mají poměrně nízké výrobní náklady, a dokonce jsou schopny absorbovat větší část světelného spektra ve srovnání s běžně používanými články. Rozšíření jejich výroby a následné využití však brzdí jejich dlouhodobá chemická nestabilita, problém s trvalým uzavřením celého systému a prozatím malá dosahovaná účinnost, která momentálně dosahuje zhruba 5 %.

Principem fotosyntézy je inspirována také výroba článků na organické bázi, konkrétně na bakterii *Escherichia coli*. Tato bakterie byla modifikována tak, aby byla schopná vytvářet

přebytek přírodního barviva lykopenu, který funguje stejně jako organické barvivo popisované v předchozím odstavci – v reakci na světlo excituje elektron. Takový článek je opět poměrně levný, ovšem prozatím největší překážkou jeho běžného používání je krátká životnost bakterií [12].

Mezi další články, které se zatím i přes desítky let zkoumání nepodařily vyvinout do běžně použitelné podoby, patří články z perovskitu. Jedná se o lehký, pružný a levný materiál s chemickou značkou CaTiO_3 a účinností až 20 %. Kromě složité chemické výroby solární buňky z perovskitu je tento materiál také chemicky nestabilní, a to především ve vlhku a za přístupu vzduchu.



Obr. č. 5 – Srovnání produkce fotovoltaických článků [1]

Za nejzajímavější oblast výzkumu fotovoltaických článků poslední doby lze označit technologii transparentních článků, jejichž potenciál spočívá mimo jiné v použití v oknech

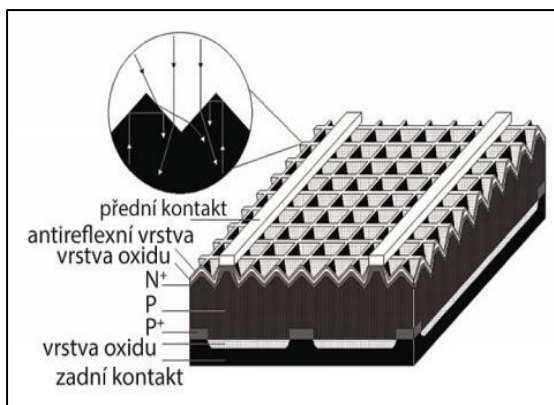
nestíněných mrakodrapů. Jedna z technologií výroby průhledných článků spočívá v rozptýlení nanočástic křemíkových polovodičů přímo v okenním skle [3]. Tyto polovodičové nanočástice jsou schopny zpracovávat světelné záření o vlnové délce kratší než 640 nm a zbylé záření jimi projde. Zmiňované křemíkové částice poté emitují vlnění o vlnové délce 750–900 nm spadající do infračervené části světelného spektra. Takto emitované vlnění už z okenního skla do prostoru interiéru budovy neprojde a pomocí odrazů se dostane ke spodní části okenní tabule, kde jsou umístěny klasické křemíkové články, které toto zbytkové záření přemění na elektrickou energii. Na podobném principu je založena technologie transparentních folií z organických solí [4], které se aplikují na okna. Podobně jako rozptýlené křemíkové částice také tyto folie pracují s infračervenou a ultrafialovou částí světelného spektra a záření svádí k okraji panelu, kde jsou křemíkové fotovoltaické články.

Oproti křemíkovým článkům se tenkovrstvé články vyznačují nižší spotřebou výrobního materiálu, který je často navíc levnější. Díky vrstvám tloušťky okolo 0,3–2 μm nanášeným často i na jiné materiály než sklo, například na folie nebo textilie, jsou články mnohdy ohebné či dokonce pružné. Mezi další výhody ve srovnání s křemíkovými články patří také skutečnost, že tolik neztrácejí kapacitu s rostoucí teplotou článku. Obecně však mají menší životnost i účinnost, a i proto v dlouholetém srovnání světové produkce za křemíkovými články zaostávají, viz **Obr. č. 5**.

3.2 FOTOVOLTAICKÝ PANEL

3.2.1 Konstrukce fotovoltaických článků

U nejpoužívanějších fotovoltaických článků, tedy křemíkových, je možné podrobněji rozebrat i jejich samotnou konstrukci (**Obr. č. 6**). Základní orientace článku je taková, kdy část N z PN přechodu je pod přímým světelným zářením.



Obr. č. 6 – Konstrukce fotovoltaického článku [21]

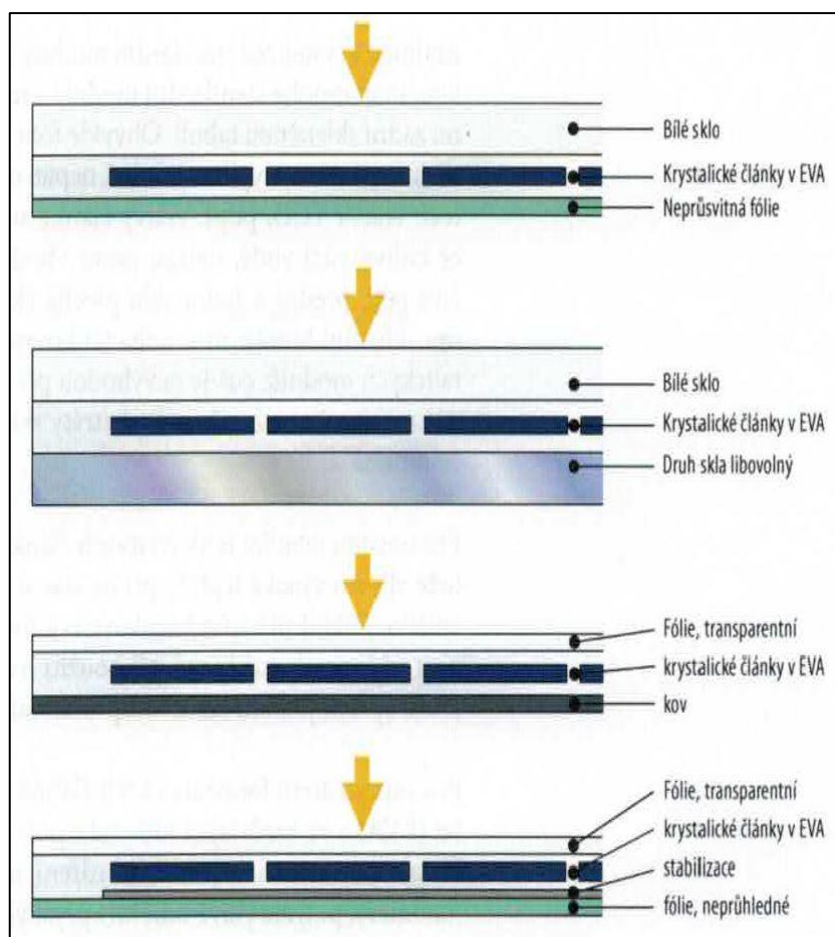
Celý PN přechod je z přední i zadní strany ošetřen velmi tenkou vrstvou oxidu křemičitého SiO_2 , který je nevodivý a chemicky pasivuje povrch. Přední strana článku je dále opatřena antireflexní vrstvou. Ta je tvořena jehlanovitou strukturou minimalizující odraz světelného záření směrem ven z článku. Články s vyšší účinností získané antireflexní vrstvou tedy pohlcují více světelných paprsků a opticky se jeví tmavě nebo temně modré, pokud jde o multikrystalické články, a v případě článků monokrystalických až černě.

Na články jsou dále nanесeny kontakty, a to jak z přední, tak i ze zadní strany. Na přední straně jsou kontakty provedeny zpravidla sítotiskem v tloušťce cca 0,02 mm, aby došlo k co nejmenšímu zastínění fotodiody. Tyto kontakty spojují nejčastěji dvě až tři sběrnice šířky cca 1,5–2,5 mm, které se pak propojují se zadními kontakty vedlejšího fotovoltaického článku. K propojení všech potřebných vrstev dojde až při 800–900 °C, kdy se kontaktní sběrnice protaví skrze antireflexní vrstvu ke článku. Zadní kontakt zpravidla zabírá celou spodní plochu článku a někdy do něj bývá i zapuštěn, aby vznikla ještě větší kontaktní plocha. Kontakty se nejčastěji aplikují bodovým nebo páskovým sítotiskem o šířce 2,5–6 mm. Mimo toto nejrozšířenější kontaktování existují i alternativní způsoby. Ty jsou vedeny snahou snížit stínění článku a dosáhnout tak jeho vyšší účinnosti. Zpravidla se jedná o technologie redukce plochy předních kontaktů a sběrnic, vyvinuty však už byly také články s přední stranou zcela bez kontaktů.

3.2.2 Konstrukce fotovoltaických panelů

Možností konstrukce fotovoltaických panelů je mnoho (**Obr. č. 7**) a kromě typu samotného článku závisí jejich konstrukce také na účelu použití daného panelu.

U panelu ze standardních křemíkových článků je nutné tyto články mezi sebou propojit pomocí kontaktů. Dále se všechny články zapouzdří vakuovou laminací do průhledné folie, která je nadále chráněna minimálně před vlhkostí a oxidací, podle materiálu folie například i před degradací materiálu zapříčiněnou dopadajícím UV zářením. Použití dalších materiálů při výrobě panelů je otázkou volby zohledňující budoucí způsob užití jejich každého jednotlivého typu. Jako přední vrstvu lze použít například sklo nebo transparentní krycí folii, ze zadní strany je také možné použít sklo, plech, krycí folii, nebo i jiný materiál. Minimálně jedna vrstva v celé konstrukci panelu by ovšem měla být nosná, zejména při použití zmiňovaných křehkých křemíkových článků.



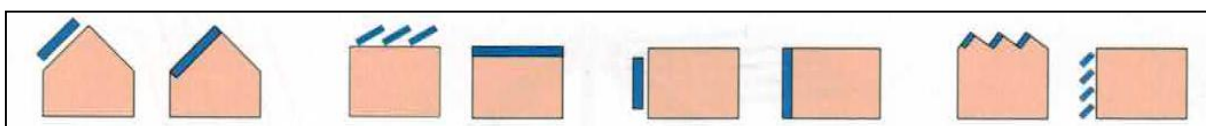
Obr. č. 7 – Příklad konstrukcí fotovoltaických panelů [1]

3.3 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY NA BUDOVÁCH

3.3.1 Umístění

Obecně lze fotovoltaické instalace na budovách (**Obr. č. 8**) rozdělit na aditivní, tedy třeba i dodatečně přidané k běžné konstrukci střechy nebo fasády, a integrované, kdy je fotovoltaický systém přímo uzpůsoben k plně funkčnímu zastoupení nahrazované konstrukce.

Mezi nejrozšířenější aplikace patří instalace aditivního fotovoltaického systému na šikmou střechu (**Obr. č. 9**) připevněné pomocí kolejnic, háků, speciálních tašek, svorek nebo šroubů. Integrované systémy se zpravidla instalují při realizaci nové střešní krytiny a u většiny produktů se jedná o velkoformátové tašky (**Obr. č. 10**).



Obr. č. 8 – Schémata možných umístění fotovoltaické elektrárny na budově [1]



Obr. č. 9 – Aditivní systém na šikmé střeše [22]



Obr. č. 10 – Integrovaný systém na šikmé střeše [23]



Obr. č. 11 – Aditivní systém na ploché střeše [24]



Obr. č. 12 – Integrovaný systém na ploché střeše [25]



Obr. č. 13 – Integrovaný systém v ploché střeše [26]

Na plochých střechách je možné přídatnou fotovoltaiku přikotvit přímo do konstrukce střechy, případně upevnit na krytinu, pokud se na střeše nachází, nebo je možné zajistit fotovoltaické panely pritížením (**Obr. č. 11**). Integrace fotovoltaických pásů do hydroizolačních folií je znázorněna na **Obr. č. 12**. Složitější možností integrace jsou například světlíky a prosklené střechy obecně (**Obr. č. 13**).

Také fasádní fotovoltaické systémy lze instalovat před samotnou fasádu, nebo je do nové fasády přímo integrovat. I v této oblasti je více možností samotných konstrukcí a stejně jako u střech se dá pracovat s variantou propouštění světla do budovy. Specifickou oblastí aplikace fotovoltaiky je jejich instalace na slunolamy nebo markýzy.

3.3.2 Příslušenství fotovoltaické elektrárny

Ke každému panelu přísluší kabeláž s náležitou ochranou proti vodě (minimálně IP 55). Všechny panely jsou pak svedeny do rozvaděče generátoru s odpojovači a pojistkami, ze kterého vychází hlavní vedení zapojené do střídače. Jelikož samotná fotovoltaika generuje stejnosměrný proud, střídač jej transformuje na proud střídavý, použitelný pro využití do běžných spotřebičů.

Volitelnou položkou u fotovoltaických systémů jsou baterie pro akumulaci energie, nebo bojler pro využití přebytků energie na ohřev vody.

3.3.3 Legislativa

Základní právní rámec provozování fotovoltaických elektráren stanovuje Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) [13], kdy v prvních 99 paragrafech upravuje podmínky podnikání jako například udělování licencí a certifikací k provozu a současně výkon státní správy Energetického regulačního úřadu a Ministerstva průmyslu a obchodu v této oblasti.

Prováděcím předpisem energetického zákona je aktuálně vyhláška č. 8/2016 Sb., o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích [14]. Stanovuje, jakým způsobem musí žadatel prokazovat finanční a technické předpoklady a odbornou způsobilost pro jednotlivé druhy licencí. Reguluje způsoby určení vymezeného území a provozovny a dále prokázání vlastnického nebo užívacího práva k užívání energetického zařízení. Definuje náležitosti prohlášení odpovědného zástupce a poskytuje vzory žádostí k udělení, změně a zrušení licence a vzory žádostí o uznání oprávnění k podnikání uděleného v jiném členském státě Evropské unie.

Doplňujícím předpisem je vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve které jsou stanoveny podmínky připojení výroben elektřiny, distribučních soustav a odběrných míst zákazníků k elektrizační soustavě [15]. Dále stanovuje podíly nákladů spojených s připojením a se zajištěním požadovaného příkonu nebo výkonu elektřiny a v neposlední řadě pravidla pro posuzování souběžných požadavků na připojení, čímž je myšleno připojení dvou různých zařízení, například distribuční soustavy a výroby elektřiny.

Výrazem podpory rozvoje fotovoltaických elektráren je zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, který zrušil zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů [16]. Tento zákon upravuje mimo jiné podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a druhotných zdrojů, její financování a podmínky vydávání záruk a osvědčení o původu elektřiny. Z ekonomického pohledu na fotovoltaiku je vhodné věnovat pozornost § 14 a následujícím, které se zabývají odvody z elektřiny ze slunečního záření. V neposlední řadě zákon stanovuje pravidla pro tvorbu Národního akčního plánu České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů a pro výkon státní správy.

Dalším prováděcím předpisem zákona 165/2012 Sb. je vyhláška č. 296/2015 Sb., o technicko-ekonomických parametrech pro stanovení výkupních cen pro výrobu elektřiny a zelených bonusů na teplo a o stanovení doby životnosti výroben elektřiny a výroben tepla z obnovitelných zdrojů energie (vyhláška o technicko-ekonomických parametrech) [17]. Tato vyhláška ve svých přílohách stanovuje technicko-ekonomické parametry a doby životnosti výroben elektřiny a výroben tepla z bioplynu v návaznosti na financování podpory elektřiny a tepla pocházejících z obnovitelných zdrojů energie.

V rámci výčtu legislativy dotýkající se fotovoltaických panelů nelze opomenout zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) [18], který se věnuje obecně možnosti instalace solárních panelů jak na budovy, tak i samostatně stojících solárních panelů. Vzhledem k tematickému zaměření diplomové práce se výklad bude dále týkat převážně solárních panelů, které jsou instalovány na budovách.

Nejprve je nutné rozlišit, zda se v terminologii stavebního zákona jedná o výrobu energie či o technické zařízení stavby. Základním dělícím kritériem zde je určení, zda dochází ke spotřebě vyrobené elektřiny v dané budově, či nikoliv. Pokud ano, jedná se o technické zařízení stavby ve smyslu § 3 odst. 2. Pokud ne, jedná se o výrobu energie.

Stavební zákon ve svém paragrafu 103 odst. 1. písm. e) bodu 5 stanovuje, že distribuční soustava v elektroenergetice s výjimkou budov nevyžaduje stavební povolení ani ohlášení. Proto je možné fotovoltaické panely instalovat na budovu bez ohlášení a stavebního povolení za předpokladu, že nebudou měnit vzhled nebo způsob užívání budovy, při jejich instalaci nebude zasaženo do nosných konstrukcí a neovlivní požární bezpečnost stavby. Je možné, že bude nutné získat závazné stanovisko orgánu ochrany přírody, ale to se týká spíše rozsáhlejších projektů.

Dalším povolením, které by mohlo být nutné, je závazné stanovisko příslušného orgánu v případě instalace fotovoltaických panelů například v chráněné krajinné oblasti nebo v památkové oblasti.

Pro solární panely na pozemku, stejně jako pro ty umístěné na budově, platí při překonání instalovaného výkonu 20 kW povinnost stavitele získat stavební povolení, dle § 103 odst. 1. písm. e) bodu 9 stavebního zákona. Pokud zmíněného instalovaného výkonu výrobní energie nedosahuje, neznamená to, v případě umístění na pozemek, automaticky možnost instalace bez dalšího posouzení právních předpisů. Pravděpodobně bude nutné pozemek či jeho část, na které hodlá stavitel solární panely umístit, vyjmout ze zemědělského půdního fondu.

Jelikož však účelem této práce není postihnout veškeré legislativní aspekty stavby solárních panelů, lze stavitelům doporučit, aby se obrátili na příslušný stavební úřad s žádostí o předběžnou informaci. Pomocí ní lze předejít svému záměru, a stavební úřad se vyjádří ve smyslu toho, co vše je podle jeho názoru pro daný záměr nutné získat.

4 FASÁDNÍ SYSTÉMY

4.1 FASÁDA

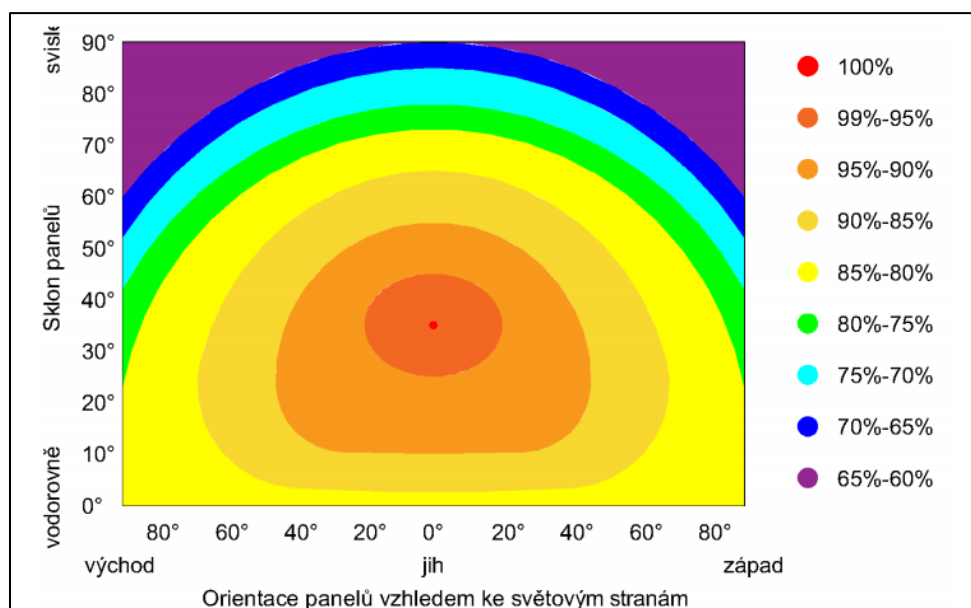
Fasáda tvoří vnější obvodové ohraničení budovy oddělující exteriér a interiér budovy, který chrání před vnějšími vlivy. Kromě architektonické funkce by měla fasáda plnit také funkci izolační proti tepelným tokům, vlhkosti a hluku a splňovat požadavky požárně bezpečnostní, konstrukčně statické a na denní osvětlení interiéru. Kromě své vlastní tíhy musí fasáda přenést také zatížení větrem a teplotou.

Obecně lze fasády rozdělit na lehké a těžké obvodové pláště, kdy rozlišovací hranicí je hmotnost pláště 100 kg/m^2 [2]. Těžké obvodové pláště zpravidla vyžadují i vlastní založení, případně mohou sdílet základ s obvodovou nosnou zdí. Naopak lehké obvodové pláště lze na nosnou konstrukci, ať už skeletovou či pevnou stěnu, i zavěsit.

Podle konstrukce je možné rozlišit fasády jednoplášťové a dvouplášťové. U dvouplášťových fasád se mezi dvěma konstrukcemi fasády nachází ještě vzduchová mezera, která slouží k utlumení povětrnostních vlivů a k vyrovnání tepla, hluku, případně i světla mezi vnitřním a vnějším prostředím. Takové fasády mohou být provedeny jako odvětrávané nebo neodvětrávané, a to v závislosti na otevřenosti nebo uzavřenosti celého fasádního systému. Odvětrávané fasády odvádějící z konstrukce přebytek vlhkosti lze nazvat také studenými, neodvětrávané fasády naopak teplými. V případě jednoplášťové varianty se jedná také o teplou fasádu. Podle počtu vrstev pláště může být fasáda jednovrstvá nebo vrstvená.

4.2 FOTOVOLTAICKÁ FASÁDA

Oproti fotovoltaickým panelům instalovaným na střechách budov jsou fotovoltaické fasády v jisté nevýhodě, a to především kvůli ne zrovna ideálnímu sklonu jejich instalačního umístění v úhlu 90° . Největší potenciál mají totiž nestíněné plochy se sklonem kolem 30° a orientací na jih, jak je patrné z **Obr. č. 14**, který graficky znázorňuje přibližné procento využití dopadající sluneční energie na různě nakloněné plochy v závislosti na světových stranách. Toto rozložení však není stejné pro celou planetu, nejvýrazněji je ovlivňováno zeměpisnou šířkou. I tak mohou být některé aplikace fotovoltaiky na fasádě zajímavým designovým řešením.



Obr. č. 14 – Přibližné rozdělení dopadu slunečního záření dle sklonu a orientace plochy 80 [43]

Jak už bylo zmíněno, fotovoltaiku lze na fasádu instalovat buď aditivně, nebo integrovaně. U dodatečných montáží standardních panelů (**Obr. č. 15**) krytých sklem je vždy potřeba počítat s vhodností stávajícího obvodového pláště, a to zejména ze statických důvodů kvůli vyšší hmotnosti panelu. Méně zátěžovým řešením je lepení tenkovrstvých fotovoltaických pásů například na skleněný nebo plechový fasádní povrch (**Obr. č. 16**).

Pokud je fotovoltaická elektrárna integrována do fasády, musí plnit všechny odpovídající funkce, na což je třeba brát zřetel především u teplých fasád. U studených fasád se nabízí variantní řešení s různou mírou propustnosti denního světla pomocí uspořádání jednotlivých článků. V případě nové fasády s integrovanou fotovoltaikou, lze uvažovat o použití designových panelů. Nenápadného a jednolitého vzhledu lze nejlépe docílit s použitím tenkovrstvých fotovoltaických panelů (**Obr. č. 18**), architektonicky čistého a moderního vzhledu navíc s vyšší účinností fotovoltaiky lze však dosáhnout i s klasickými křemíkovými články (**Obr. č. 17**). V takovém případě je pak vhodné použít jako podkladový materiál plech, sklo, či folii v barvě článků – tedy tmavě modré nebo černé.

U designových fasád se kromě práce s různou mírou propustnosti světla nabízí také použití barevných fotovoltaických článků. Za cenu nižší účinnosti lze u křemíkových článků upravit antireflexní vrstvu tak, aby zpět k vnějšímu pozorovateli odrážela jen určitou část světelného spektra (**Obr. č. 19**). U multikrystalických článků se navíc přidává ještě zvláštní efekt zapříčiněný jejich specifickou polykrystalickou strukturou (**Obr. č. 20**). U tenkovrstvých panelů se tato pohledová úprava řeší použitím speciálních folií polarizujících světlo (**Obr. č. 21**).



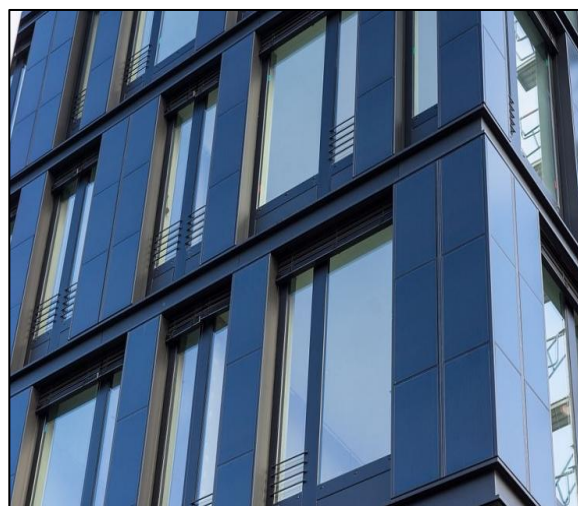
Obr. č. 15 – Aditivní systém z křemíkových článků [27]



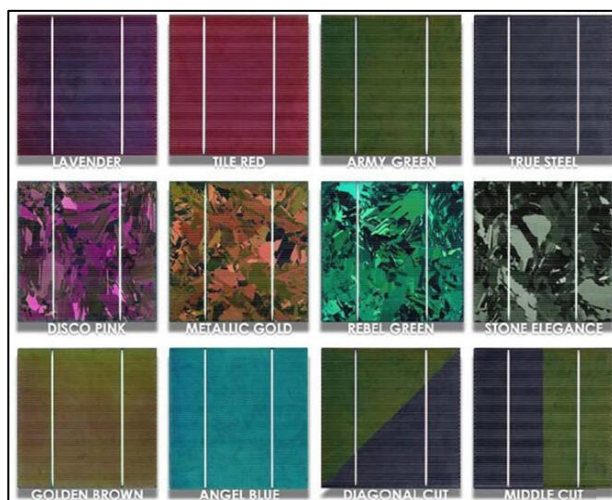
Obr. č. 16 – Aditivní systém z tenkovrstvých článků [28]



Obr. č. 17 – Integrovaný systém z křemíkových článků [29]



Obr. č. 18 – Integrovaný systém z tenkovrstvých článků [30]



Obr. č. 19 – Barevné úpravy křemíkových článků [31]



Obr. č. 20 – Barevné multikrystalické články na fasádě [32]

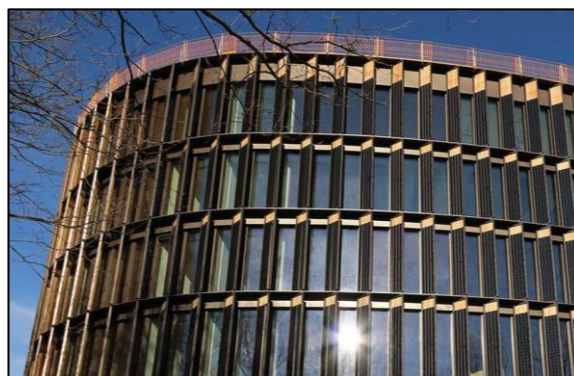


Obr. č. 21 – Barevné tenkovrstvé články na fasádě [33]

Mezi fasádní fotovoltaické instalace je možné zařadit také takové panely, které jsou nejen generátorem elektřiny, ale jejichž konstrukce a způsob umístění současně plní funkci ochrany před slunečním zářením a nahrazuje tím slunolamy, markýzy, případně žaluzie. Velkou výhodou těchto systémů oproti většině fasád je možnost jejich vhodnějšího nastavení úhlu sklonu (**Obr. č. 22**) nebo instalace směrem k jihu (**Obr. č. 23**).



Obr. č. 22 – Horizontální slunolam s fotovoltaikou [34]



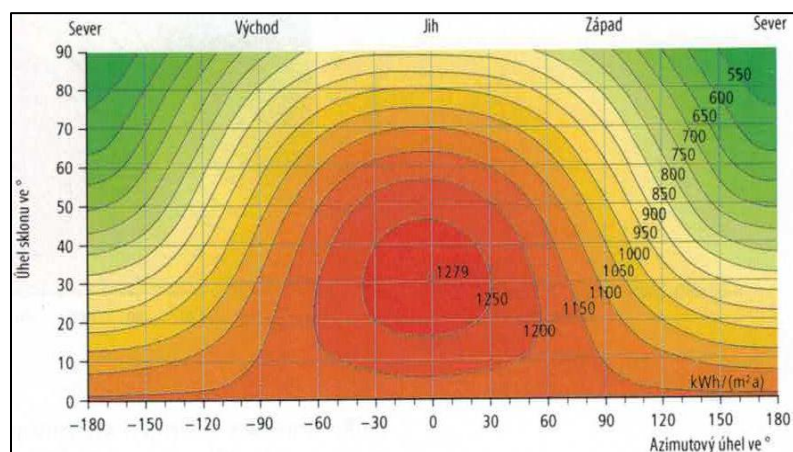
Obr. č. 23 – Vertikální slunolam s fotovoltaikou [35]

5 METODIKA HODNOCENÍ EKONOMICKÉ NÁVRATNOSTI FOTOVOLTAICKÉ FASÁDY

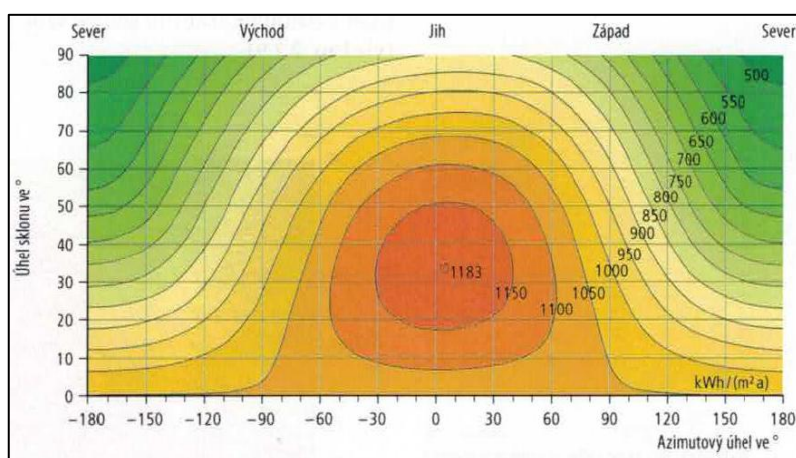
Praktická část diplomové práce je zaměřena především na názorné vyhodnocení návratnosti fotovoltaických fasád. Analýza byla provedena na již existujících budovách s plechovou fasádou. Pro vyhodnocení ekonomické návratnosti bylo zapotřebí stanovit energetické zisky z fotovoltaické fasády, pro jejichž stanovení bylo využito dvou výpočtových modelů s odlišnými vstupními klimatickými daty. Výsledky energetických zisků z fotovoltaické fasády byly následně porovnány se spotřebou elektrické energie v posuzovaném objektu. Na základě srovnání pořizovací ceny fotovoltaické fasády a předpokládané úspory za elektrickou energii byla vyhodnocena návratnost návrhu.

5.1 VSTUPNÍ KLIMATICKÁ DATA

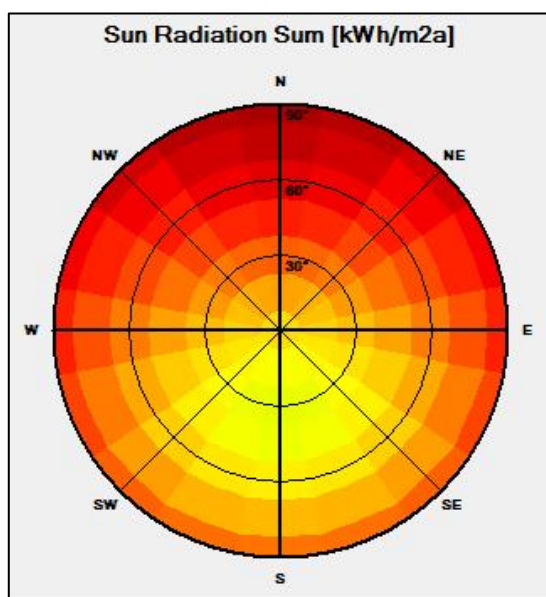
Prvním typem dat jsou roční úhrny slunečního záření dopadající na plochu s fasádním sklonem 90° pro různé orientace vůči světovým stranám. Taková data lze čerpat z fotovoltaické příručky [1], ale nikoliv přímo pro Českou republiku, pro ni tato data nejsou z daného zdroje dostupná. Nejblíže Česku jsou k dispozici data pro hlavní město Rakouska (**Obr. č. 24**) a Německa (**Obr. č. 25**). Data ročních úhrnů globálního záření pro Hradec Králové nabízí program WUFI 2D, z výstřižku z něj na **Obr. č. 26** však nejsou patrná konkrétní čísla. Ta byla pro názornost přepsána do grafu včetně porovnání spolu s daty pro Vídeň a Berlín (**Graf č. 1**). Všechna data znázorněná v tomto grafu vychází z reálných měření. Vodorovná osa grafu slouží k přehledu mezi světovými stranami, kdy bylo pro účely této diplomové práce uvažováno pouze s orientacemi od východu přes jih po západ. Energetické zisky ze severních ploch pod úhlem 90° totiž nejsou pro účely fotovoltaiky příliš využitelné. Svislá osa v grafu představuje roční úhrn slunečního záření v kWh právě pro jednotkové plochy se sklonem 90° . Při vzájemném srovnání tří křivek v grafu lze říci, že všechny mají stejný trend, kdy nejvíce slunečního záření dopadá na jižní plochy. Směrem na východ i západ potom hodnoty klesají podobným tempem. Pro Vídeň a Hradec Králové dopadne v součtu více slunečního záření na plochy orientované na východ. V Berlíně součet úhrnů slunečního záření na západ oproti tomu je mírně vyšší než součet úhrnů záření na východní ploše.



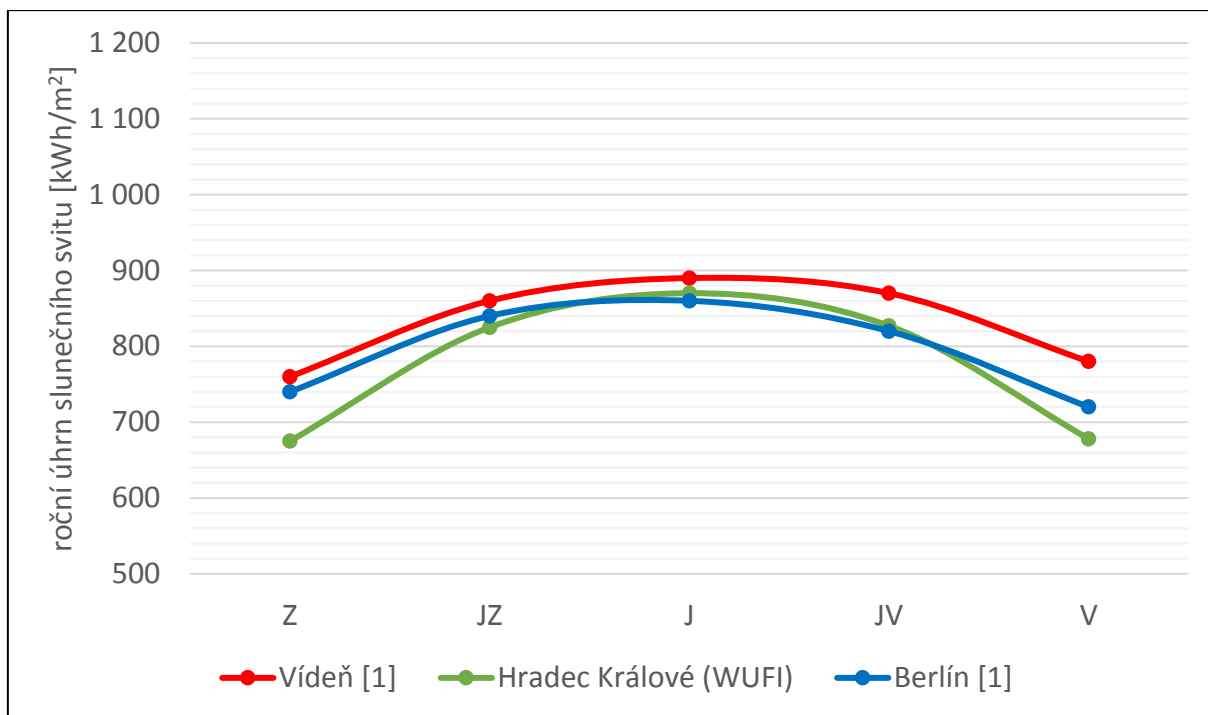
Obr. č. 24 – Roční úhrn globálního záření pro Vídeň [$\text{kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$] [33]



Obr. č. 25 – Roční úhrn globálního záření pro Berlín [$\text{kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$] [33]



Obr. č. 26 – Roční úhrn globálního záření pro Hradec Králové (WUFI)



Graf č. 1 – Roční úhrny globálního záření pro plochu o sklonu 90° (WUFI, [1])

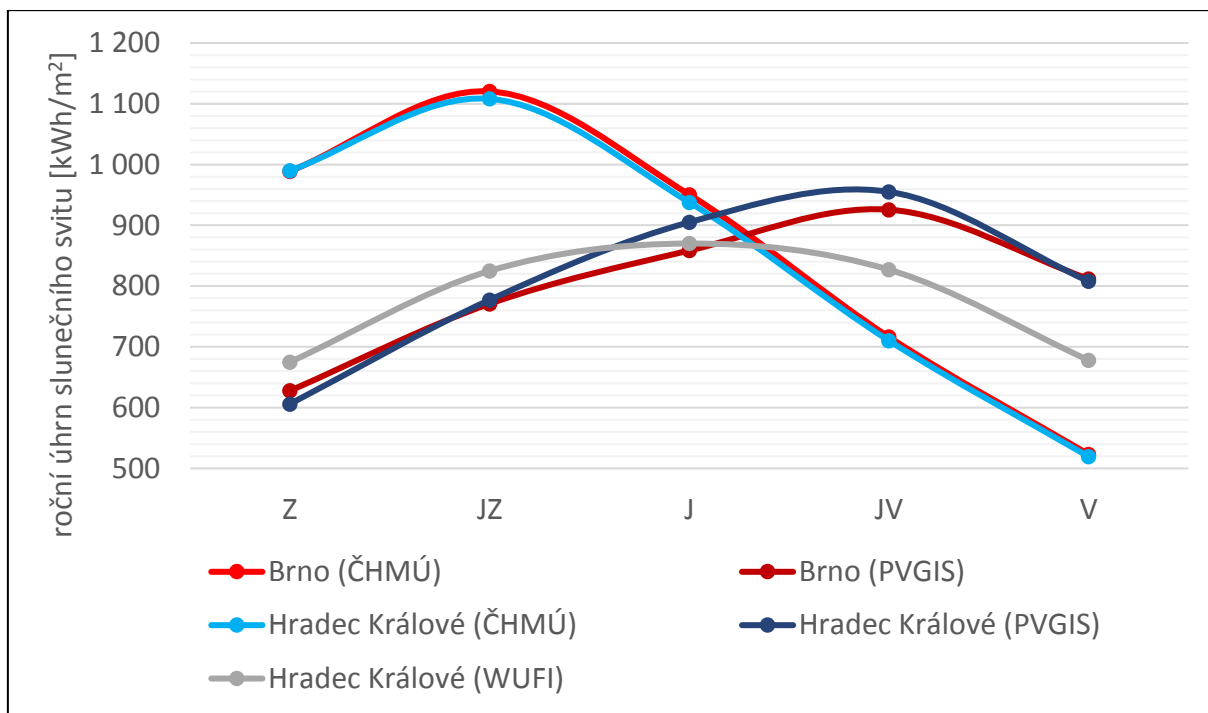
Druhým typem dat obsahujícím informace o slunečním záření jsou klimatická data. Ta zahrnují detailnější informace; sluneční záření udávané pro horizontální plochu, a to jak přímé, tak i difuzní, dále teplotu, rychlost a směr větru, atmosferický tlak atd.

Pro Českou republiku se jako zdroj klimatických dat nabízí Český hydrometeorologický ústav, který má měřicí stanice po celé republice. Pro tuto diplomovou práci byla použita data pro jednotlivé kraje České republiky.

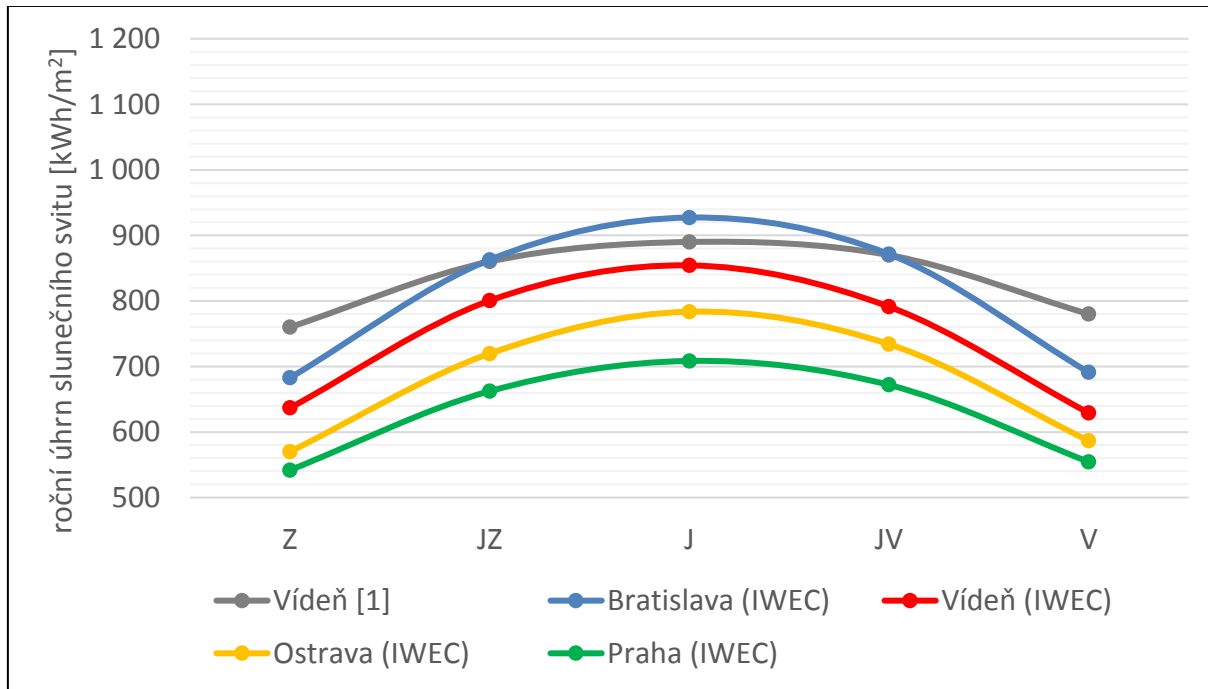
Soubory klimatických dat na mezinárodní úrovni jsou k dispozici v online databázi IWEK (*International Weather for Energy Calculation*) [11]. Její data jsou založena na až 18letých měřeních a pro konkrétní lokality jsou potom hodinová data dopočítávána na základě vzájemného pohybu Země a Slunce a sledované oblačnosti. V rámci Evropy jsou v databázi z každého státu vedena klimatická data pro několik měst, v případě České republiky konkrétně pro Prahu a Ostravu.

Pro výpočty energetických zisků fotovoltaických elektráren se dále poměrně často využívají data z veřejně přístupné databáze PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) [10]. Významná výhoda této databáze tkví v tom, že obsahuje klimatická data nejen pro evropský kontinent a uživatel si může zvolit konkrétní místo a typ dat, která chce stáhnout. I tato databáze pracuje s naměřenými hodnotami podobně jako IWEK, tedy na základě skutečně naměřených dat pak dále dopočítává hodnoty pro konkrétní zvolenou lokalitu. Na webu PVGIS je také možné

si zvolit, z jakého období se mají data pro výpočet vygenerovat. Pro účely této diplomové práce byla používána data znázorňující typický meteorologický rok z dat nasbíraných v letech 2007–2016.



Graf č. 2 – Roční úhrny globálního záření pro plochu o sklonu 90° (PVGIS, ČHMÚ, WUFI)



Graf č. 3 – Roční úhrny globálního záření pro plochu o sklonu 90° (IWEK, [1])

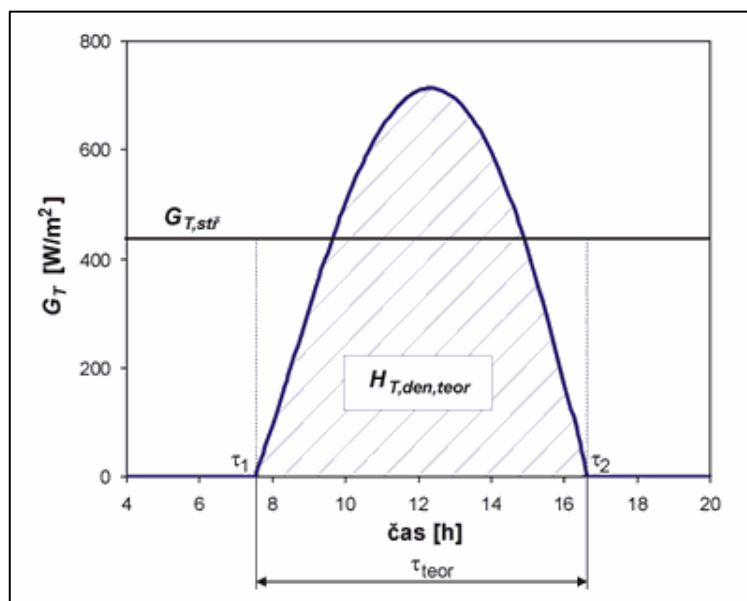
Jak je patrné z následujících kapitol, které se zabývají výpočty energetických zisků na reálných budovách, každý ze tří zmíněných zdrojů klimatických dat měl naprosto odlišné

výsledky. Pro zjištění příčiny těchto nesrovnalostí byla vstupní data z měření ČHMÚ a databází PVGIS a IWEK porovnávána mezi sebou navzájem a také s ročními úhrny globálních záření převzatých z fotovoltaické příručky [1] a ze softwaru WUFI. Aby bylo možné jejich vzájemné srovnání, bylo nutné klimatická data převést na roční úhrny globálního záření pro jednotlivé světové strany. Tato transformace proběhla pomocí hrubého přepočtu z roční produkce elektrické energie vypočtené programem DEKSOFT s přihlédnutím k zadaným výpočtovým parametrům (viz **kapitola 5.2.1**). Největší rozdíl je zřetelný mezi daty ČHMÚ a PVGIS (**Graf č. 2**). Trendy křivek v grafu jsou naprosto odlišné a nekorespondují s obecným předpokladem, že nejvíce slunečního záření dopadá na plochy orientované na jih. Z dat naměřených ČHMÚ vycházely nejvyšší energetické zisky na jihozápadní fasádě. Oproti hodnotám na fasádě východní byly prakticky dvojnásobné. Data vycházející z PVGIS zase prokazovala vyšší energetické zisky, tedy i hodnoty oslunění, na fasádě jihovýchodní. Oba tyto zdroje však vykazovaly stejné trendy nezávisle na zvolených lokacích. V grafu je také šedá křivka znázorňující roční úhrn slunečního záření pro Hradec Králové ze softwaru WUFI 2D pro porovnání s daty z PVGIS i ČHMÚ vygenerovanými pro stejnou lokalitu. Klimatická data z databáze IWEK znázorněná v grafu **Graf č. 3** jako jediná alespoň svým rozložením korespondovala s hodnotami z WUFI a fotovoltaické příručky [1]. Na druhou stranu ale mezi jednotlivými lokacemi vykazovala velké rozdíly v hodnotách osvitu slunečním zářením. Data z ČHMÚ a PVGIS měla mezi vybranými městy rozdíly řádově menší.

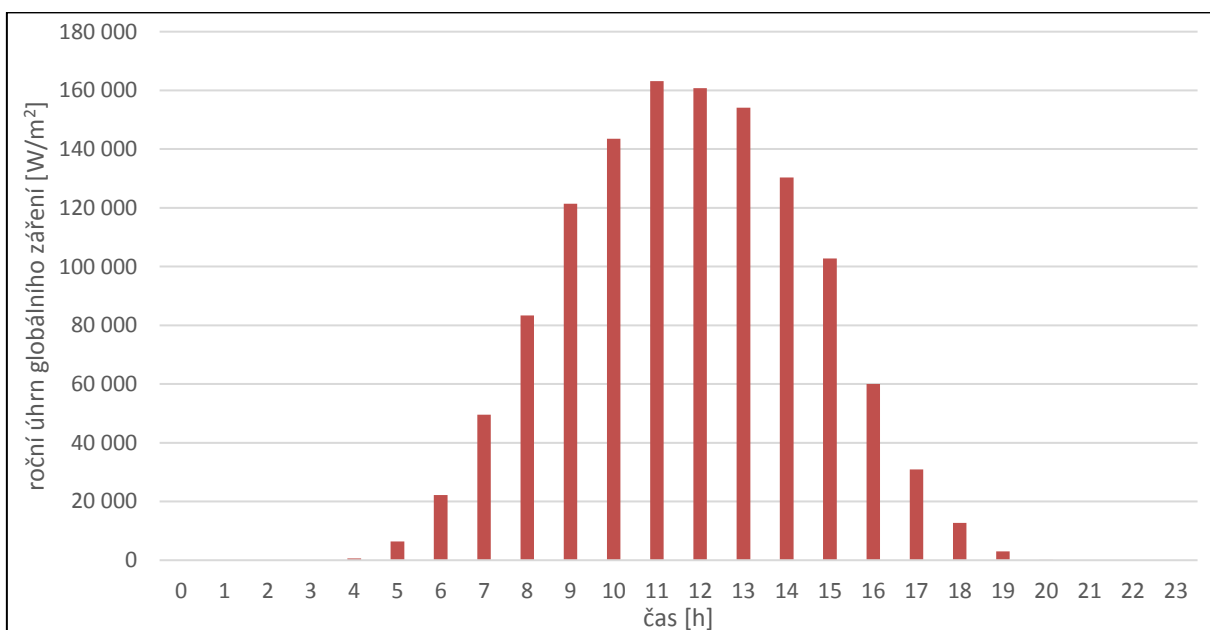
Je zřejmé, že dopad slunečních paprsků neovlivňuje jen roční a denní doba, ale také oblačnost, vlhkost vzduchu a přítomnost a hustota mlh, které by se daly očekávat spíše v ranním čase, jistou roli může hrát také inverze. Výši energetických zisků v odpoledních hodinách zase může ovlivňovat skutečnost, že fotovoltaické články o vyšší teplotě vykazují méně vyrobené energie oproti chladnějším článkům.

Relevanci vstupních dat je možné posoudit také na základě rozložení denního svitu v průběhu dne. Teoreticky by toto rozložení totiž mělo být dopoledne rostoucí a odpoledne klesající a uvažován by měl být pouze přirozený zimní čas, aby nedocházelo ke zkreslení údajů zapříčiněnému hodinovým posunem pro letní čas. Ideální křivka rozložení denního slunečního záření s vrcholem a současně i těžištěm plochy pod křivkou kolem 12. hodiny je vyobrazena na **Obr. č. 27**. Teoretické rozložení denního svitu bylo porovnáno s naměřenými hodnotami na experimentální budově při středisku výzkumu a vývoje Atelieru DEK. Měření probíhalo na nestíněné horizontální ploše pomocí pyranometru po dobu jednoho roku. Do grafu (**Graf č. 4**) byly poté sečteny hodnoty celoročního měření vynesené na svislou osu pro každou denní hodinu zvlášť. Roční úhrn záření v průběhu dne po hodinách je znázorněn na vodorovné ose. Po porovnání teoretické křivky a celoročních naměřených hodnot lze jejich rozložení označit za velmi podobné.

U naměřených dat je možné vyhodnotit dopolední úhrn slunečního záření jako mírně intenzivnější, nicméně je třeba zohlednit skutečnosti, že se jedná o výsledky měření pouze za období jednoho roku a procentuální vyjádření naměřených hodnot by nebylo vypovídající.



Obr. č. 27 – Ideální průběh slunečního záření při jasném dni [44]

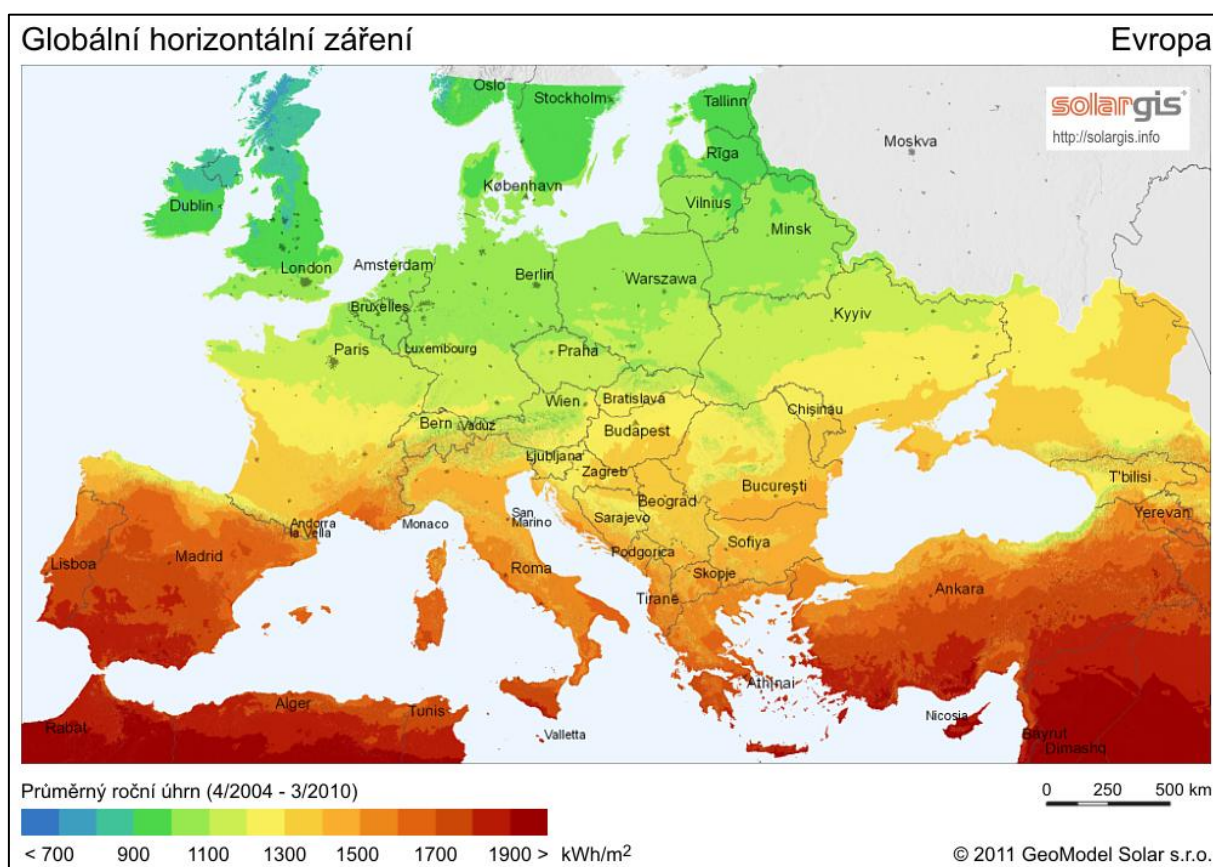


Graf č. 4 – Roční úhrn slunečního záření (Brno, Atelier DEK)

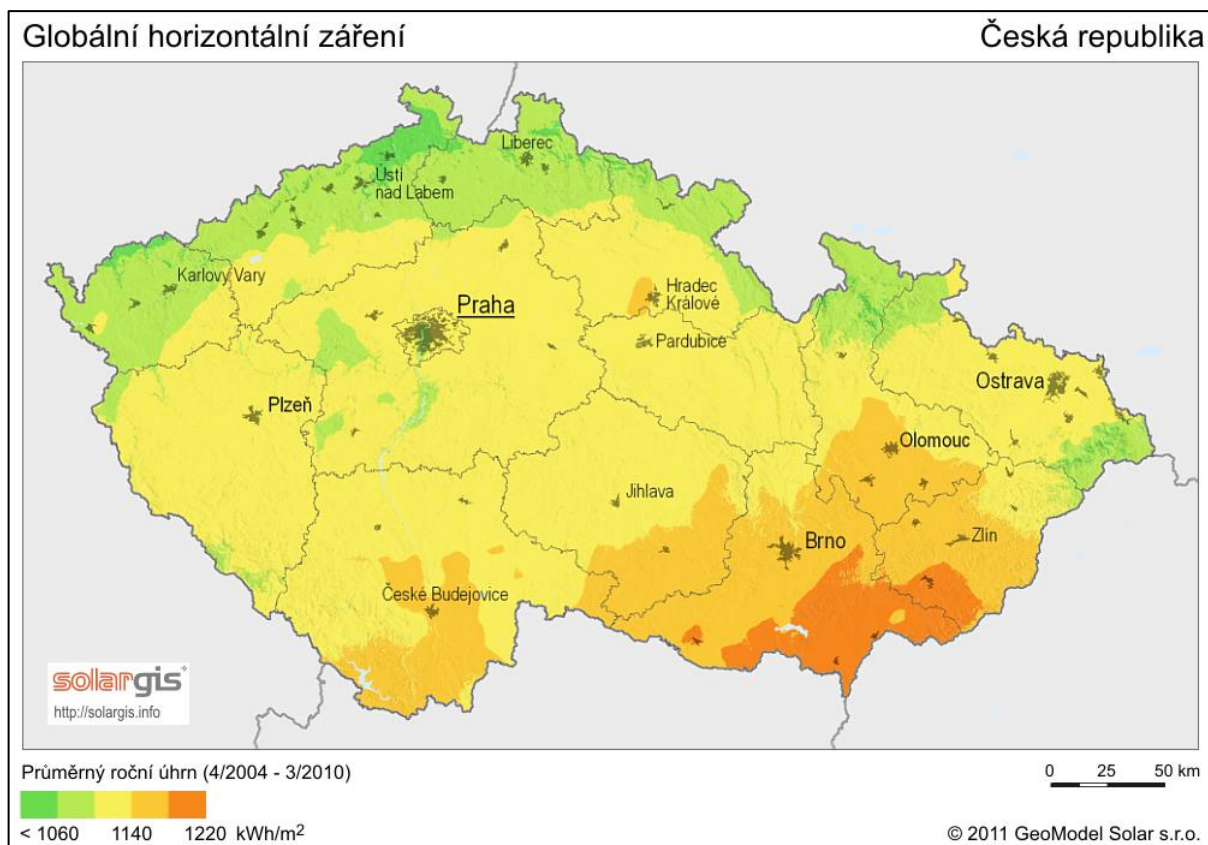
Vyhodnocení rozložení intenzity slunečního svitu v průběhu dne je možné vztáhnout také na výběr zdroje hodinových dat pro následný výpočet v programu DEKSOFT. Výše uvedená data z ČHMÚ a PVGIS (**Graf č. 2**) svými výsledky vykazovala vyšší energetické zisky buď při orientaci plochy na jihozápad až západ, nebo naopak na jihovýchod až východ. Při výpočtu energetických zisků na fasádní fotovoltaické elektrárně, tedy na ploše o sklonu 90°, vycházely při využití dat

z ČHMÚ vypočtené zisky výrazně vyšší na západě, což znamená, že ve vstupních klimatických datech byly uvedeny vyšší hodnoty slunečního záření v odpoledních hodinách. Oproti tomu data z PVGIS vykazovala významně vyšší energetické zisky na východě, z čehož lze vyvodit, že podle těchto dat dopadalo více slunečního záření na fasádní plochu v dopoledních hodinách. Jako nejrelevantnější lze tedy považovat křivky obloukového charakteru, které prokazují nejvyšší dotaci slunečního záření při orientaci plochy na jih a k západu a východu jeho množství klesá přibližně stejným tempem.

Tento závěr ohledně relevance dat ovšem vede k problému s nedostatkem hodinových dat pro konkrétní lokality v České republice. Částečně je možné si pomoci mapou srovnávající sluneční záření nejen v České republice, ale také v kontextu nejbližších sousedních států, potažmo celé Evropy. Z obrázku **Obr. č. 28** vyplývá, že například hodnoty pro oblast Jižní Moravy jsou velmi podobné hodnotám udávaným na hranicích Slovenska s Rakouskem, konkrétně v Bratislavě a Vídni. V případě absence konkrétnějších dat například pro Brno by tedy bylo možno uvažovat tyto blízké pohraniční lokality namísto jihomoravských měst. Podrobnější škálování území naší republiky podle množství dopadajícího záření oproti mapě Evropy je patrné z **Obr. č. 29**.



Obr. č. 28 – Globální horizontální záření, Evropa [42]



Obr. č. 29 – Globální horizontální záření, Česká republika [41]

5.2 VÝPOČTOVÉ MODELY

5.2.1 Model 1

První výpočtový model vycházel z hodnot ročního součtu globálního záření dopadajícího na jednotkovou plochu v závislosti na jejím sklonu a orientaci vůči světovým stranám. Zvolený způsob výpočtu předurčil použitelná vstupní data. Jako zdroje ročních úhrnů globálního záření na vertikální plochy byla použita fotovoltaická příručka [1] a data ze softwaru WUFI 2D (**Graf č. 1**).

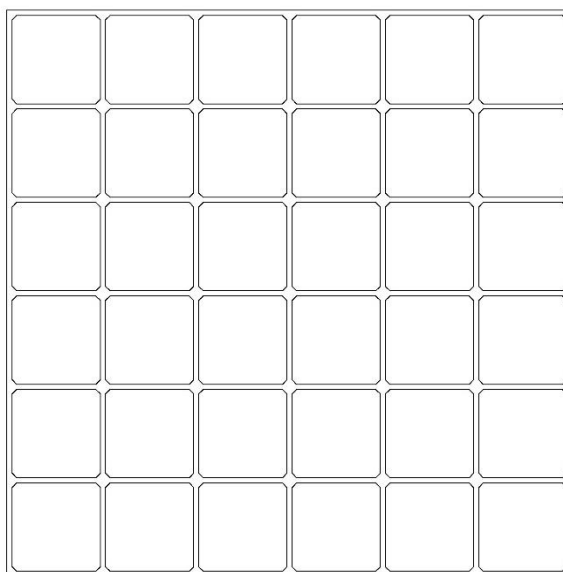
Po výběru vstupních dat pro energetický výpočet následoval výpočet potřebného množství fotovoltaických článků na potenciálně fotovoltaické části fasády. Bylo uvažováno s aplikací krystalických článků na podklad z plechové kazety, jak je znázorněno na **Obr. č. 30**, a to proto, že právě krystalické články vykazují vysokou účinnost. Případné designové nedostatky je možné řešit návrhem propracovanější barevné kombinace podkladových folií a plechových kazet.

Na jeden metr čtvereční dané plochy bylo pro výpočet uvažováno se 36 ks krystalických fotovoltaických článků o rozměrech 156 x 156 mm, jak je znázorněno na **Obr. č. 31**. Z tohoto obrázku vychází také procentuální podíl plochy fotovoltaických článků z plochy panelu ve výši 88 %. Účinnost zpracování dopadající energie těmito články byla stanovena na 20 %, a to s ohledem

na skutečnost, že tuto hodnotu lze na trhu s fotovoltaikou v současné době pokládat za standard. Bylo uvažováno také se 4% energetickými ztrátami ve střídači a rozvodech. Z těchto údajů bylo potom vypočítáno množství vyrobené elektrické energie za rok, viz rovnici (1).



Obr. č. 30 – Integrace fotovoltaických článků do plechové fasády [47]



Obr. č. 31 – Uspořádání fotovoltaických článků v ploše velikosti 1 m²

$$E = E_{glob} * A * p * \eta * (1 - z) \quad (1)$$

E energie vyrobená fotovoltaickou elektrárnou [kWh]

E_{glob} roční úhrn globálního záření [kWh/m²]

A plocha fotovoltaického panelu [m²]

- p poměrné pokrytí plochy panelu fotovoltaickými články [-]
- η účinnost fotovoltaických článků [-]
- z ztráty elektrické energie (obvody, střídač) [-]

5.2.2 Model 2

Druhý výpočtový model spočíval ve výpočtu v online programu DEKSOFT, který funguje na výpočtovém jádru EnergyPlus verze 8.5 a zpracovává hodinová data slunečního osvětlení horizontální plochy, která kombinuje s polohou slunce a dalšími klimatickými daty. Z tohoto důvodu je třeba do softwaru vkládat detailní hodinová klimatická data. Výpočet pomocí tohoto programu je logicky podrobnější a přesnější než první výpočtový model. Program DEKSOFT už ve svém základu disponuje daty z měření ČHMÚ pro jednotlivé kraje České republiky zvlášť. Pro území Slovenska nabízí klimatická data z databáze IWEK, a to pro Bratislavu a Košice. Lze do něj však importovat klimatická data i z jiného zdroje.

Základní parametry navrhovaných fotovoltaických systémů byly zvoleny shodně jako u prvního výpočtového modelu. Program však nabízí i různé další možnosti výpočtu, například s využitím různých typů příslušenství k fotovoltaice. Pro účely této práce byl ve výpočtech primárně nastaven typ zařízení pouze jako fotovoltaická elektrárna s měničem, nikoliv s akumulací do baterií nebo vody. Řízení výroby elektrické energie bylo nastaveno na maximální produkci, kdy je plně využíváno potenciálu systému a nedochází k omezování produkce odpojováním částí fotovoltaického pole, aby nedocházelo k energetickým přebytkům, které nelze spotřebovat.

Program DEKSOFT, respektive jeho modul FVE, současně také umožňuje dvojí zadání geometrie. Zjednodušeně se geometrie zadá pomocí orientace vůči světovým stranám, konkrétních rozměrů fotovoltaických elektráren a procentuálního podílu fotovoltaických článků z plochy panelu, což je 88 % pro rozmístění článků stanovené na **Obr. č. 31**.

Druhou možností je využití dalšího modulu 3D EDITOR, do kterého se nahraje 3D model objektu, stanoví se orientace vůči světovým stranám a označí se plochy modelu, které reprezentují fotovoltaické elektrárny. Následné zadávání v modulu FVE již pokračuje obdobně jako při volbě zjednodušené geometrie. Velký potenciál má ovšem 3D EDITOR a jeho využití v rámci modulu FVE pro stíněné budovy, kdy se kromě vyhodnocovaného objektu vymodeluje i jeho okolí a program dále počítá i s vrhaným stínem. Modely pro práci s modulem 3D EDITOR byly vytvářeny v programu SketchUp. Kromě vyšší složitosti a podrobnosti výpočtu, se výpočet v softwaru lišil oproti výpočtovému modelu 1 především ve způsobu určování energetických zisků, které počítal

z hodinových dat a stejně podrobně je vyhodnocoval i v kontextu celkové spotřeby elektrické energie objektem.

5.3 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE

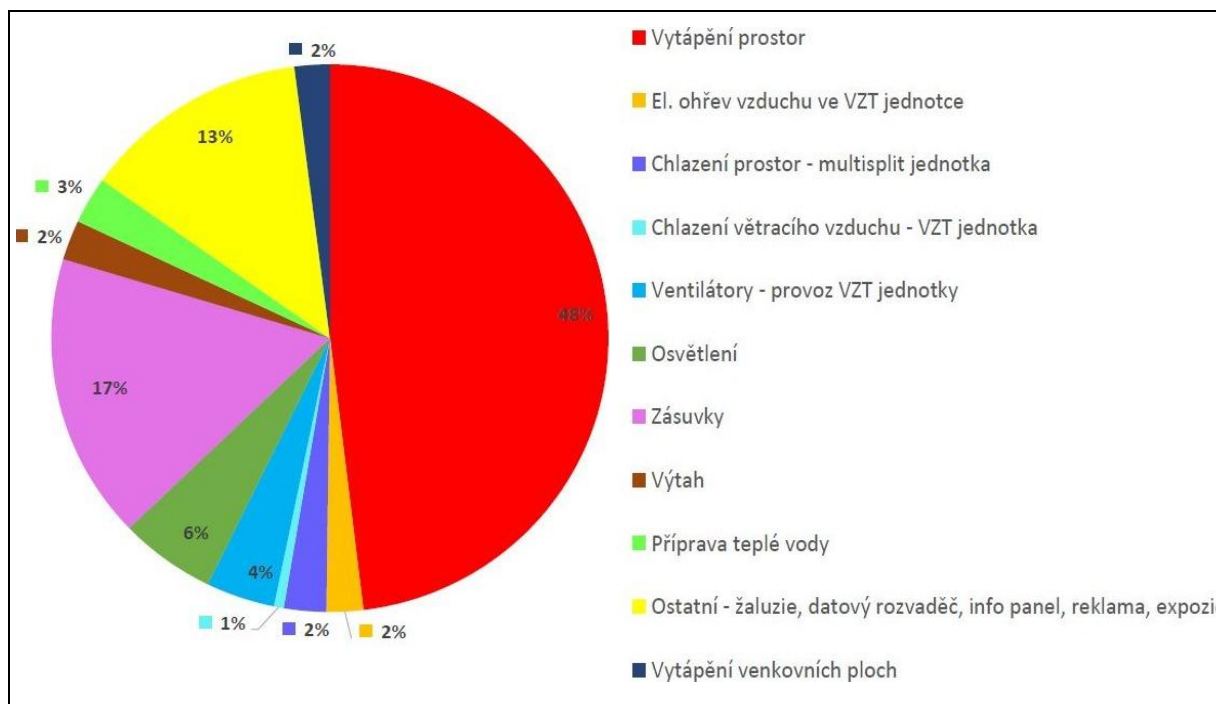
Aby se předešlo vzniku neúměrných přebytků elektrické energie, je při návrhu fotovoltaické fasády a výpočtu její návratnosti vhodné stanovit odhadované procento pokrytí spotřeby v budově elektřinou vyrobenou fotovoltaickou elektrárnou. Je sice několik možností, jak přebytky z výroby elektřiny spotřebovat, žádný ale není ekonomicky či technicky ideálním řešením. Jednou z variant je prodej přebytků do distribuční sítě, což je již pár let značně nevýhodné. Výkupní cena elektřiny byla významně regulována státem do roku 2010. Od té doby podpora solárních elektráren ze strany státu výrazně klesá a byť stále existují dotační programy, týkají se již pouze částečného pokrytí investičních nákladů. Cena za prodej vyrobené energie do distribuční sítě klesla v minulém roce až na úroveň 0,3 Kč/kWh [6]. Nadbytečnou energii je také možné akumulovat do baterií, toto řešení je však komplikovanější na návrh, finančně náročnější, a je potřeba dobře zvážit typ použitých baterií i s ohledem na jejich životnost, kapacitu a další aspekty ovlivňující její komfortní používání. Další možností, jak přebytečnou energii spotřebovávat, může být její akumulace do vody. V takovém případě, když nastane v objektu situace tvořících se přebytků vyráběné elektrické energie, je tato spotřebována na ohřev vody. S ohledem na výše uvedené okolnosti jednotlivých řešení spotřeby přebytků vyrobené elektrické energie se jeví jako optimální řešení navrhnout elektrárnu takové výrobní kapacity, kterou spotřební objekt dokáže zužítkovat a nehrozí tak riziko vzniku přebytků. Pro takové posouzení je zapotřebí odhadnout přibližnou roční spotřebu elektřiny v objektu.

5.3.1 Roční spotřeba energie administrativního objektu

Údaje o předpokládaném množství spotřeby elektrické a tepelné energie, ale také vody v administrativních budovách vyplývají z měření společnosti Enectiva [7]. Statistické shrnutí jejího měření je k dispozici v **Tab. č. 1**. Hodnoty spotřeb energií jsou vztahovány vždy k podlahové ploše administrativní budovy. Pro účely výpočtů energetické bilance objektů, které jsou obsahem této diplomové práce, byla využita data ročních spotřeb elektřiny, a protože bylo pro účely modelových výpočtů uvažováno také s elektrickým vytápěním, tak také ročních spotřeb tepla. Celková roční spotřeba elektrické energie byla brána jako součet průměrné roční spotřeby elektřiny 110,6 kWh/m² a tepla 186 kWh/m² s výslednou hodnotou 296,6 kWh/m² [7].

	elektřina [kWh/m ² /rok]	teplo [kWh/m ² /rok]	celkem [kWh/m ² /rok]
modus	52,5	135	187,5
medián	90,5	169	259,5
průměr	110,6	186	296,6

Tab. č. 1 – Roční statistické údaje spotřeby administrativních objektů [7]



Obr. č. 32 – Poměry ročních spotřeb energií v OC Fenix podle druhů spotřebičů [45]

Podrobný graf s orientačním poměrným rozdělením ročních spotřeb elektrické energie podle jednotlivých kategorií spotřebičů je uveden na **Obr. č. 32**. Data pochází z měření na administrativní budově OC Fenix v Jeseníku (**Obr. č. 33**), jejíž vlastníkem společnost Fenix Group a.s. dlouhodobě spolupracuje s Univerzitním centrem energeticky efektivních budov ČVUT [8]. I díky této spolupráci je provoz objektu detailně monitorován a vyhodnocován zejména z pohledu kvality vnitřního prostředí a řízení energetického hospodářství. Z důvodu tohoto monitoringu a dostupnosti naměřených údajů byla budova OC Fenix zvolena jako zdroj dat pro účely této diplomové práce. Ze znázorněných dat je patrné, že nejvýznamnější podíl na spotřebě energií jsou nároky na vytápění prostor, které tvoří 48 % z celkové roční spotřeby elektriny. Tyto poměry spotřeby energií pro provoz budov jsou individuální a odvíjí se nejen od technického vybavení a režimu provozu budovy, ale také od stavebně technického stavu objektu. V případě budovy OC Fenix se jedná o nový objekt dokončený v roce 2016 a ve standardech pro rok 2020, celkový provoz je tedy nízkoenergetický.

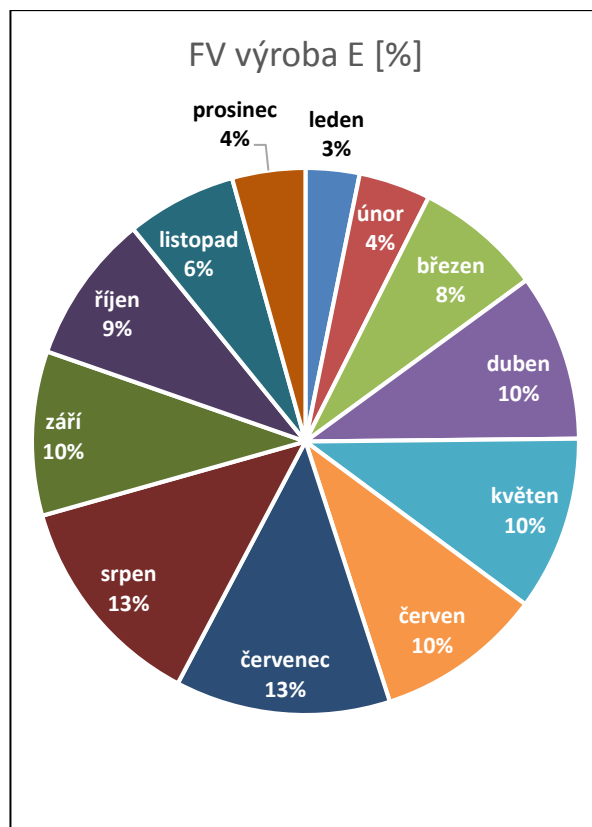
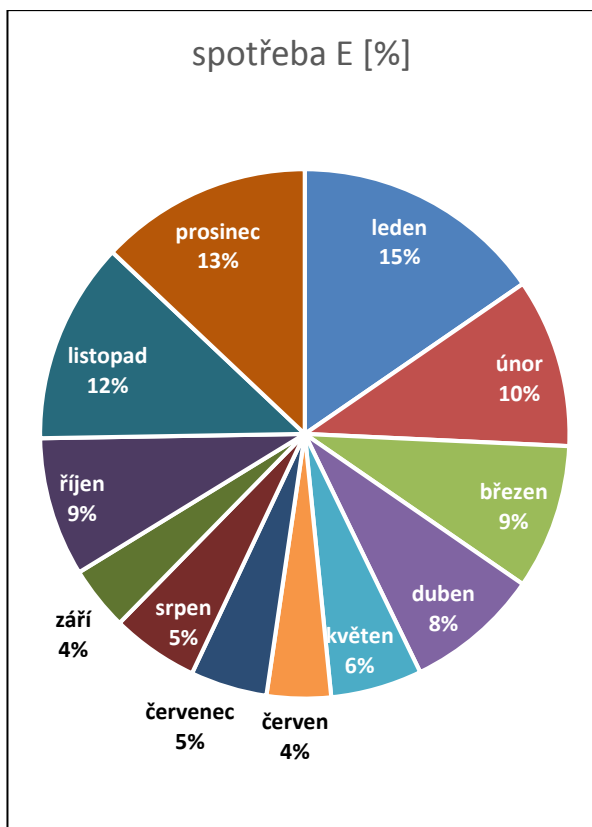


Obr. č. 33 – Office centrum Fenix, Jeseník [37]

Smyslem budování fotovoltaických elektráren na stavebních objektech je především záměr pokrytí vlastní spotřeby elektrické energie energií takto vyrobenou. Lze očekávat, že fotovoltaická elektrárna vyrobí nejvíce energie v létě a nejméně v zimě, přitom spotřeba elektrické energie budovy, zvláště pokud je elektřinou také vytápěná, je naopak nejvyšší v zimě a nejnižší v létě.

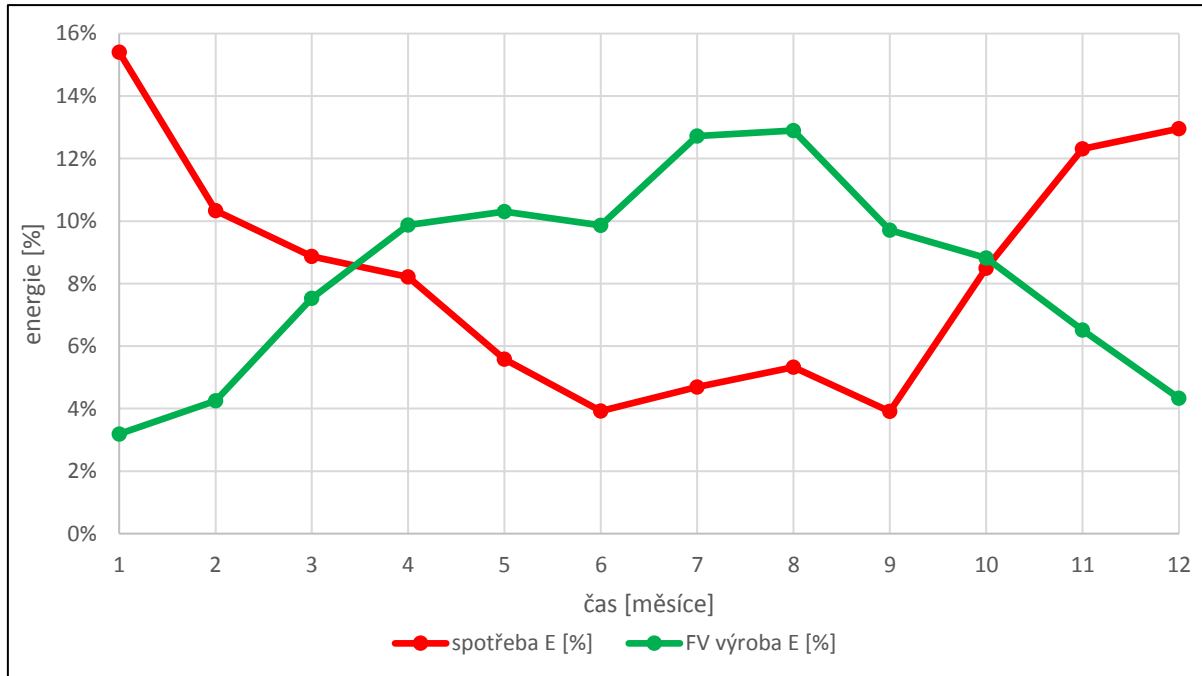
Pro názornost jsou orientační poměry potřeby a výroby energie v rámci roku pro jednotlivé měsíce jsou vyobrazeny v grafech **Graf č. 5** a **Graf č. 6**. Data spotřeb pochází opět z administrativní budovy OC Fenix v Jeseníku. Poměry výroby elektrické energie v závislosti na konkrétním měsíci vychází z výpočtu energetických zisků na jižní fasádu v softwaru DEKSOFT s užitím vstupních dat z databáze PVGIS pro lokalitu Brno. Z grafického zobrazení je patrné, že polovina celkové roční spotřeby energie potřebné pro provoz objektu je využita v zimním období, konkrétně v měsících leden, únor, listopad a prosinec. Polovinu celkového ročního množství vyrobené energie oproti tomu zastupují letní měsíce, a to od května do září. Pro ještě názornější rozdělení potřeb a výrob po měsících byl vytvořen **Graf č. 7**.

Z uvedených údajů je patrné, že když bude fotovoltaická fasáda navržena s takovým výkonem, aby nevyráběla nepřiměřené přebytky, ale zároveň v reálném čase co nejvíce pokrývala vlastní spotřebu objektu, stále bude nutné odebírat významné množství elektrické energie z distribuční sítě.



Graf č. 5 – Poměry spotřeb elektrické energie

Graf č. 6 – Poměry výrob elektrické energie



Graf č. 7 – Porovnání ročního rozdělení spotřeby a výroby elektrické energie, jižní FV fasáda, Brno

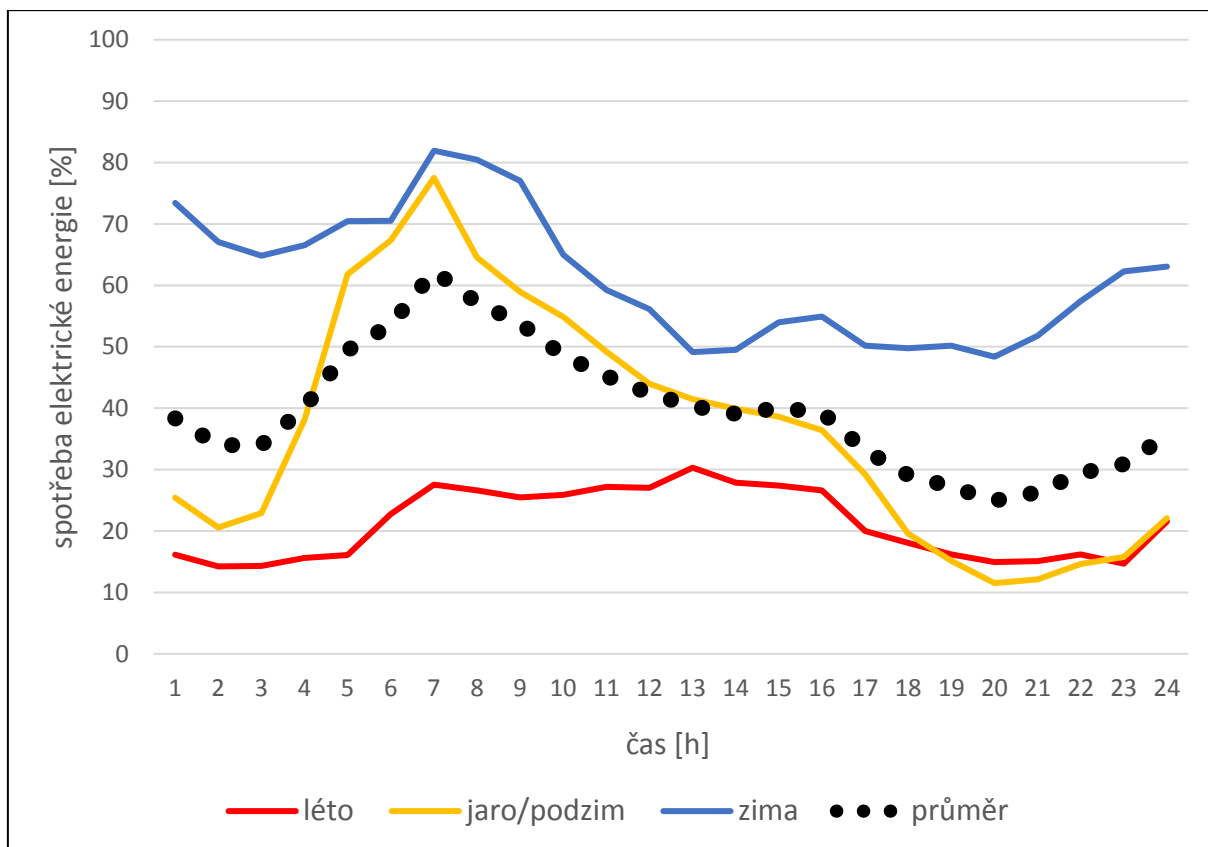
5.3.2 Denní režimy spotřeby energie administrativního objektu

Pro přesnější vyhodnocení využití množství vyrobené energie v reálném čase bylo nutné stanovit denní režimy spotřeby elektřiny v administrativní budově pro jednotlivé měsíce v roce.

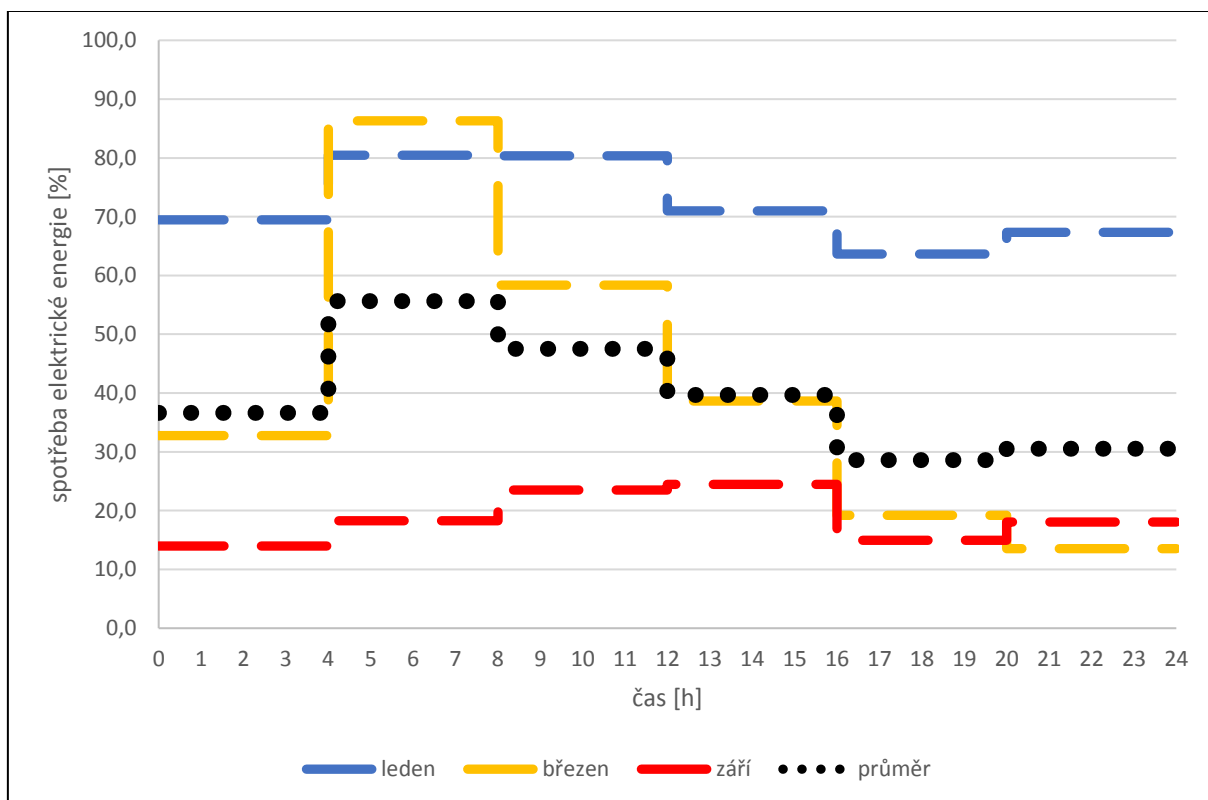
Pro účel stanovení denních režimů byla opět využita data energetických spotřeb z administrativní budovy OC Fenix. Z naměřených údajů této budovy [9] pak bylo následně možné stanovit poměry hodinových spotřeb elektrické energie pro jednotlivé měsíce roku.

Vzhledem ke skutečnosti, že denní režim spotřeby energií se mění především v závislosti na ročním období, v přiloženém grafu (**Graf č. 8**) jsou pro přehlednost zprůměrované trendy energetických spotřeb pro skupiny měsíců s podobnými denními spotřebami energie. Letnímu trendu spotřeby se blížily měsíce červen, červenec, srpen a září, zimním spotřebám energie odpovídaly měsíce leden, únor, listopad a prosinec. Zbývající měsíce – březen, duben, květen a říjen měly denní režimy spotřeby elektřiny v trendu přechodného období – tedy jara nebo podzimu. Na vodorovné ose grafu je uveden čas v hodinách, na svislé ose jsou znázorněny poměry spotřeby energií v procentech. Pro dosažení vyšší relevance výsledků bylo do programu DEKSOFT zadáváno rozložení spotřeby jednotlivě pro konkrétní měsíce zvlášť, přičemž denní data byla zprůměrovaná na čtyřhodinové intervaly. Pro ilustraci byly denní režimy tří vybraných měsíců převedeny do grafu (**Graf č. 9**). Pro každé období vyhodnocované na předchozím grafu byl zvolen jeden nejextrémnější měsíc. Ze zimních měsíců se jedná o leden, který měl nejvyšší a poměrně konstantní spotřebu, z letních měsíců to bylo září, které se vyznačovalo nejnižší spotřebou energie v průběhu celého roku vůbec. Z přechodných období je v grafu znázorněn měsíc březen, jehož křivka vykazovala nejvyšší rozptyl hodnot denních spotřeb. V grafu je také znázorněna křivka průměrného denního režimu, ve kterém jsou zahrnuty měsíce celého roku.

Data denních režimů, respektive poměrného rozložení spotřeb elektrické energie v průběhu dne, byla doplněna o celkovou roční spotřebu elektrické energie. Z těchto údajů program DEKSOFT stanovil denní režimy spotřeby elektrické energie pro jednotlivé měsíce v kWh. Z porovnání těchto denních režimů spotřeb s hodinovou výrobou energie z fotovoltaické elektrárny pak vypočítal předpokládané procento využití vyrobené elektřiny pro potřeby budovy.



Graf č. 8 – Denní režimy v závislosti na ročním období



Graf č. 9 – Zjednodušené denní režimy spotřeby elektrické energie vybraných měsíců

Je nutné zdůraznit, že denní režimy stanovené z měření v objektu OC Fenix nevychází ze statistických dat a jsou výsledkem pouze jednoročního měření, a to z období od července 2016 do června 2017. Měřená budova, která je předmětem experimentu, se nachází v Jeseníku a její nároky na spotřebu elektrické energie jsou ovlivněny horským klimatem o to více, že je tento objekt elektrickou energií také vytápěn. Zima 2016/2017 se navíc vyznačovala velmi nízkými teplotami a topná sezóna v objektu trvala prakticky do května. Vzhledem k těmto podmínkám lze tedy očekávat, že výpočet byl proveden na stranu bezpečnou.

5.4 NÁVRATNOST FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

Návratnost fotovoltaických elektráren byla stanovena na základě vyčíslení hodnoty vyprodukované elektrické energie, díky které dojde k úspoře financí za neodebranou elektřinu z distribuční sítě pro vlastní potřebu budovy. Pokud uspořené náklady na částečné pokrytí potřeby elektrické energie převyšují počáteční investici, bude vytvářen zisk a investice je výhodná.

cena [Kč/m ²]
4 000
6 000
8 000
10 000
12 000

Tab. č. 2 – Varianty cen za fotovoltaickou fasádu

Investice do fotovoltaické fasády byla počítána jako rozdíl ceny potenciální fotovoltaické části fasády dle nastavených cenových variant 4 000–12 000 Kč/m² (**Tab. č. 2**) a realizované ceny odpovídající části fasády, kterou investor skutečně zaplatil za fasádu z plechových kazet. K těmto definovaným částkám byla ještě zvlášť započítána větší investice do střídače, který je nedílnou součástí každé fotovoltaické elektrárny (**2**).

$$I = A * C_{FV} - A * C_R + k * PC \quad (2)$$

I investice [Kč]

A plocha fotovoltaického panelu [m²]

C_{FV} jednotková cena fotovoltaické fasády [Kč/m²]

C_R jednotková cena realizované fasády z plechových kazet [Kč/m²]

k počet střídačů [ks]

PC jednotková cena střídače [Kč]

Pro zpracování propočtu návratnosti investice fotovoltaické fasády byl vybrán střídač s výkonem 25 kW s pořizovacími náklady ve výši 75 000 Kč. V závislosti na celkovém výkonu dané elektrárny pak musí být zvolen adekvátní počet střídačů.

U panelů z krystalických článků se obecně udává životnost minimálně 25 let a výrobci po tuto dobu navíc běžně garantují výkon elektrárny nejméně 80 %. Proto byla návratnost počítána na tuto dobu minimální životnosti a s předpokladem, že každý rok dojde k poklesu výkonu elektrárny o 0,8 %, čímž se po 25 letech užívání její výkon sníží na výše uvedených 80 %. Z každoroční předpokládané úspory energie, která byla pro tento účel převzata z výpočtu programu DEKSOFT (konkrétně z výpočtu se zjednodušeně zadanou geometrií), je pak možné s použitím průměrné ceny elektrické energie 4,10 Kč/kWh [5] stanovit odhad úspory financí. Do propočtu předpokládané úspory financí je však nutné započítat pouze tu část energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou, kterou je objekt schopen využít pro vlastní spotřebu (3). Tuto hodnotu je nejvhodnější převzít z detailního výpočtu programem DEKSOFT, který zohledňuje denní režimy spotřeby energie v budově (**kapitola 5.3**).

Po porovnání velikosti investice a uspořené financí, respektive zisků, lze určit přibližnou návratnost instalace fotovoltaické fasády také graficky.

$$U = \sum_{n=1}^{25} E * \left(1 - \frac{r * n}{100}\right) * [C_N * s + C_P * (1 - s)] \quad (3)$$

U úspora [Kč]

E energie vyrobená fotovoltaickou elektrárnou [kWh]

C_N cena za nákup elektrické energie [Kč/kWh]

C_P cena za prodej elektrické energie [Kč/kWh]

r roční ztráta výkonu fotovoltaické elektrárny [%]

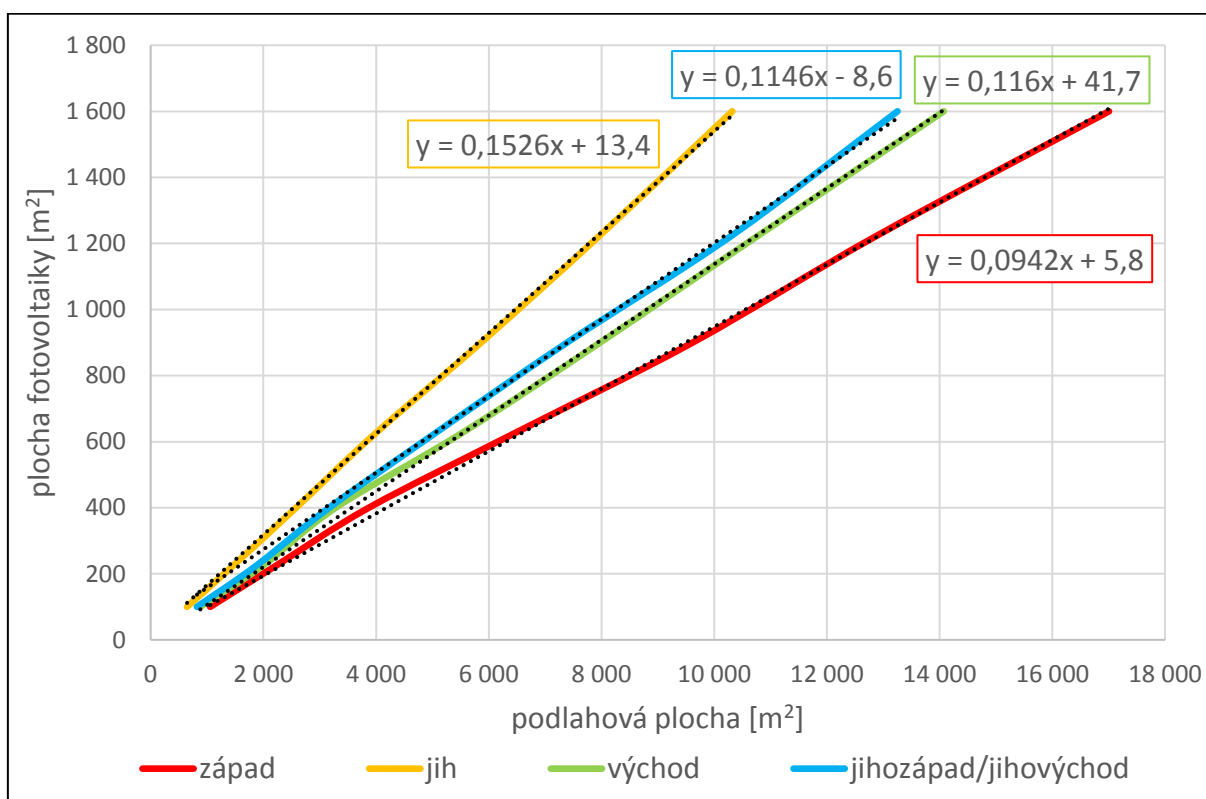
s poměr pokrytí spotřeby elektrické energie vyrobenou energií [-]

n uvažovaná životnost fotovoltaické elektrárny [roky]

6 EKONOMICKO-TECHNICKÁ ANALÝZA FOTOVOLTAICKÝCH FASÁD

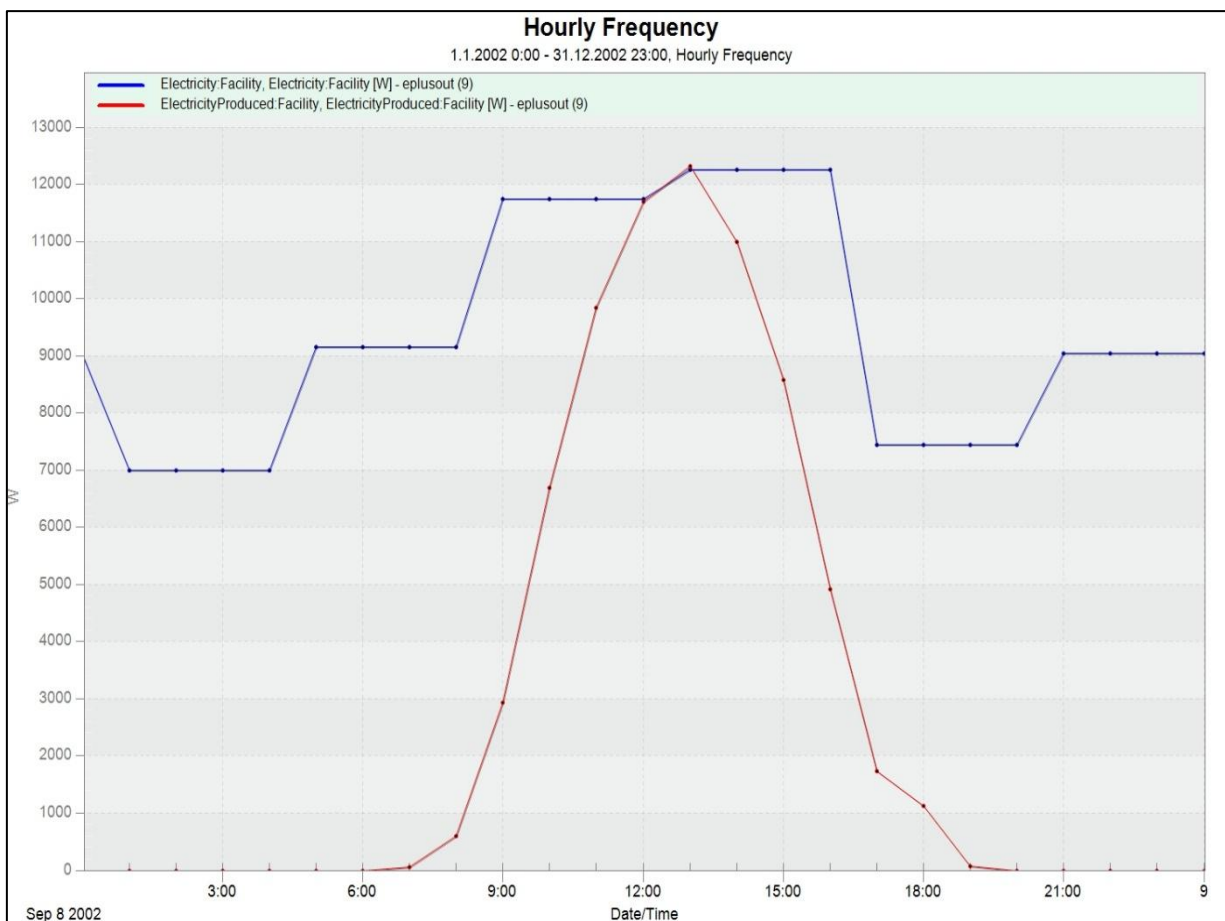
6.1 STANOVENÍ OPTIMÁLNÍ VELIKOSTI FOTOVOLTAICKÉ FASÁDY

Pro návrh fotovoltaické fasády přiměřeného výkonu v návaznosti na předpokládanou vlastní spotřebu elektrické energie daného objektu tak, aby bylo eliminováno riziko velkých přebytků, je součástí této diplomové práce také vypracování orientačního grafu, který by napomohl stanovit optimální velikost fotovoltaické fasády v závislosti na podlahové ploše objektu a zohledňující orientaci fotovoltaické fasády ke světovým stranám.



Graf č. 10 – Hranice využitelnosti vyrobené energie pro vlastní spotřebu

Administrativní budovy spadající svojí podlahovou plochou a velikostí fasády pod hranici křivky odpovídající jejich světové orientaci (**Graf č. 10**) budou schopny spotřebovat všechnu energii vyrobenou onou fotovoltaickou fasádou na vlastní provoz a nebudou jim vznikat přebytky. Naopak budovy nacházející se po porovnání podlahové plochy s velikostí fotovoltaického systému nad příslušnou křivkou budou produkovat více elektrické energie, než jsou schopny samy spotřebovat, a proto budou muset zajistit využití přebytků energie, jak bylo popsáno výše (**kapitola 5.3**).



Graf č. 11 – Typický den s nízkou spotřebou elektřiny (modrá) a vysokým množstvím vyrobené energie (červená)

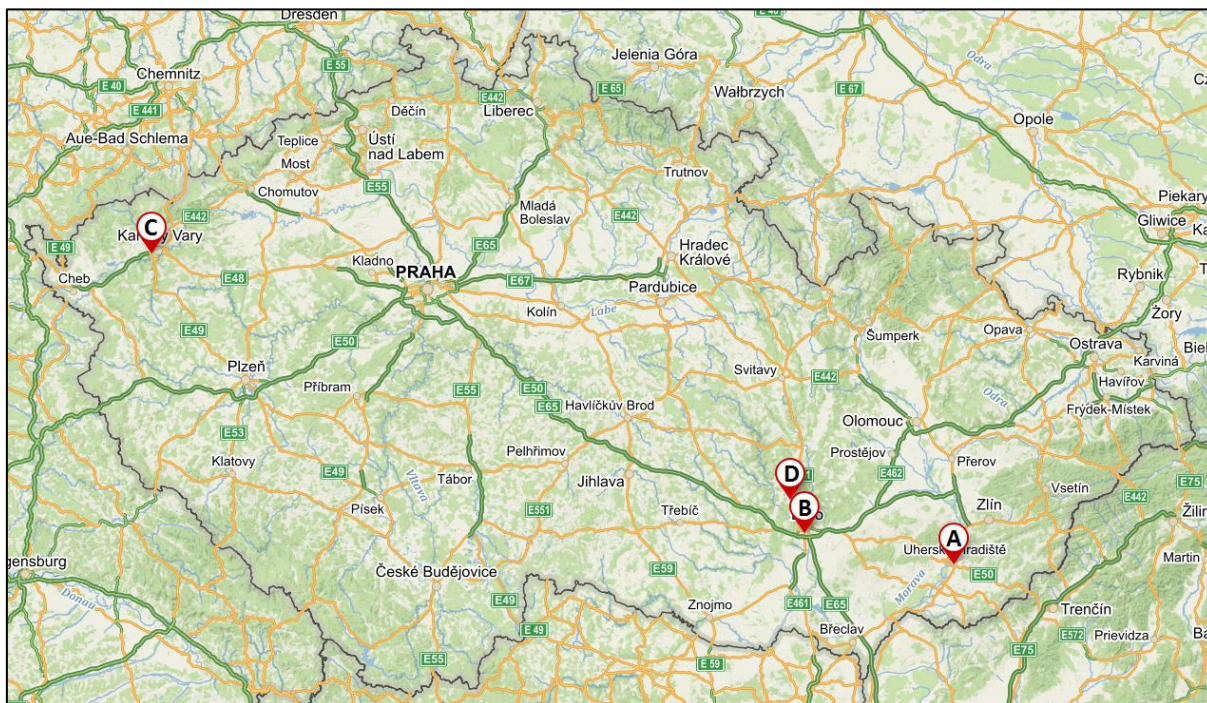
Výpočty vedoucí k vytvoření grafu (**Graf č. 10**) byly provedeny na základě denních režimů stanovených podle dat změřených v OC Fenix a průměrné roční spotřeby energie na provoz a vytápění administrativní budovy 296,6 kWh/m². Cíl výpočtu byl takový, aby 100 % elektřiny vyrobené fotovoltaickou elektrárnou bylo spotřebováno na vlastní provoz a přebytky, které program DEKSOFT označuje jako dodávku do distribuční sítě, byly nulové. Jelikož výpočet probíhal iteračně a přibližování ke 100% spotřebě a nulovému přebytku bylo prováděno ručním zadáváním, ve výsledcích je potřeba počítat s chybou přebytků energie v řádu jednotek kWh. To znamená, že i ve dnech, kdy je spotřeba energie v budově nejnižší, ale produkce elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou je naopak jedna z vyšších, nebudou vznikat v budově přebytky. Nejvíce takových dní nastane typicky v září, kdy většinu měsíce již není potřeba klimatizovat, ale ještě ani topit, a sluneční záření je stále dostatečně silné na to, aby vyrobilo množství elektřiny srovnatelné s množstvím vyrobeným v letních měsících. Jeden z takových dnů ilustruje **Graf č. 11** vycházející ze souboru dat generovaných programem DEKSOFT, zobrazených pomocí softwaru DesignBuilder Results Viewer. Na vodorovné ose je znázorněn průběh dne po hodinách, na svislé ose potom elektrická energie ve wattech, modrá křivka znázorňuje spotřebu elektrické energie v objektu

a červená množství vyrobené elektřiny fotovoltaickým systémem. V momentě, kdy fotovoltaická elektrárna dosahuje svého vrcholu denní výroby, objekt dokáže vyprodukovanou elektřinu okamžitě spotřebovat a energetické přebytky nevznikají.

6.2 POSOUZENÍ VYBRANÝCH ADMINISTRATIVNÍCH OBJEKTŮ

Ekonomicko-technická analýza byla provedena na skutečných stavbách s fasádou realizovanou z plechových kazet. Pro toto podrobné posouzení byly vybrány administrativní budovy s potenciálem pro návrh fotovoltaických elektráren na jejich fasádách. Na zvolené fasády vybraných budov byla místo stávajícího plechového opláštění navržena fotovoltaická elektrárna, jejíž vhodnost byla posouzena pomocí definované metodiky (viz **kapitola 5**).

Jedním z kritérií pro výběr těchto staveb byla orientace fasád vůči světovým stranám, kdy byly preferovány budovy s fasádou směřující spíše na jih, případně na jihovýchod nebo jihozápad. Druhým rozhodujícím kritériem bylo stínění objektu. Vybraným budovám, respektive jejich fasádám vyhodnocovaným pro aplikaci fotovoltaiky, nehrozí stínění od jiných objektů nebo okolního terénu, jelikož by to snižovalo výkon fotovoltaické elektrárny a nebyl by naplno využit její výrobní potenciál. Vzájemná geografická poloha vybraných budov je vyznačena na obrázku (**Obr. č. 34**).



Obr. č. 34 – Vzájemná poloha posuzovaných budov [46]

6.2.1 Budova A, Uherské Hradiště

První vybranou budovou je čtyřpodlažní objekt firmy AUTO GAMES (**Obr. č. 35**) v Uherském Hradišti, který je využíván ke komerčním účelům. Fasáda celého objektu má plochu 3 654 m², vybraná jižní fasáda má 507 m². Fotovoltaickou fasádu navíc není vhodné umísťovat příliš nízko z důvodu zvýšeného rizika stínění fasády plynoucího z běžného provozu v okolí budovy, například od parkujících aut, stromů apod. Na tomto objektu by tedy fotovoltaická fasáda respektující stávající členění fasády mohla být instalována od nadpraží proskleného vchodu výše, jak je vyznačeno na obrázku červenou linkou. V takovém případě by fotovoltaická fasáda zabírala 457 m². Rozměry fasád jsou uváděny již po odpočtu ploch oken a ostatních otvorů.



Obr. č. 35 – Jižní fasáda budovy A [79]

Energetická analýza fasády

Výsledkem výpočtového modelu 1 na navrhované fotovoltaické části jižní fasády budovy A jsou roční energetické zisky 68 754 kWh (**Tab. č. 3**). Podle výpočtového modelu 2 byly v programu DEKSOFT provedeny tři výpočty s různými vstupními klimatickými daty, které jsou spolu s prvním výpočtovým modelem srovnány v tabulce **Tab. č. 4**. Pro výpočtový model 1 bylo z možných dostupných dat pro lokality Vídeň, Berlín, Hradec Králové s přihlédnutím k mapám (**Obr. č. 28, Obr. č. 29**), zvoleno hlavní město Rakouska, tedy Vídeň. V databázi PVGIS bylo vybráno přímo Uherské Hradiště. Z druhé databáze IWEK bylo z dat dostupných pro Prahu, Ostravu a Bratislavu opět z již výše uvedených důvodů vybráno město Bratislava. Výběr dat naměřených ČHMÚ byl dán

příslušností Uherského Hradiště ke Zlínskému kraji. Porovnání vstupních dat je vyobrazeno v grafu

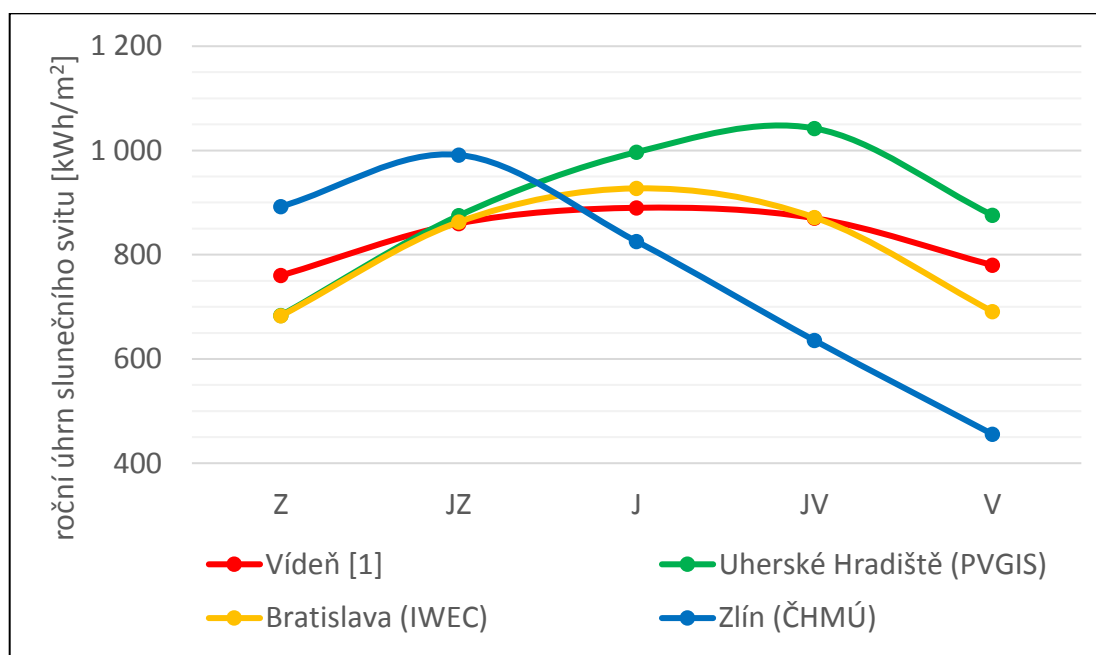
Graf č. 12.

orientace	jih 0°	-
sklon	90°	-
roční úhrn záření (Obr. č. 24)	890	kWh/m ²
plocha s FV kazetami	457	m ²
plocha kazet bez FV	50	m ²
počet FV článků na m ²	36	ks
celkový počet FV článků na fasádě	16 460	ks
výkon jednoho FV článku	4,7	W
výkon celého FV systému	77,4	kW
účinnost FV článků	20	%
pokrytí FV plochy FV články	88	%
ztráty (střídač, rozvody)	4	%
vyrobená elektrická energie	68 754	kWh/rok

Tab. č. 3 – Výpočet fotovoltaické fasády na budově A, výpočtový model 1

výpočet	zdroj vstupních dat	E [kWh/rok]
MODEL 1	Vídeň, [1]	68 754
MODEL 2	Uherské Hradiště, PVGIS	76 430
	Bratislava, IWEK	71 096
	Zlín, ČHMÚ	63 294
průměr		69 894
směrodatná odchylka		5 447

Tab. č. 4 – Porovnání energetických zisků dle vstupních dat, budova A



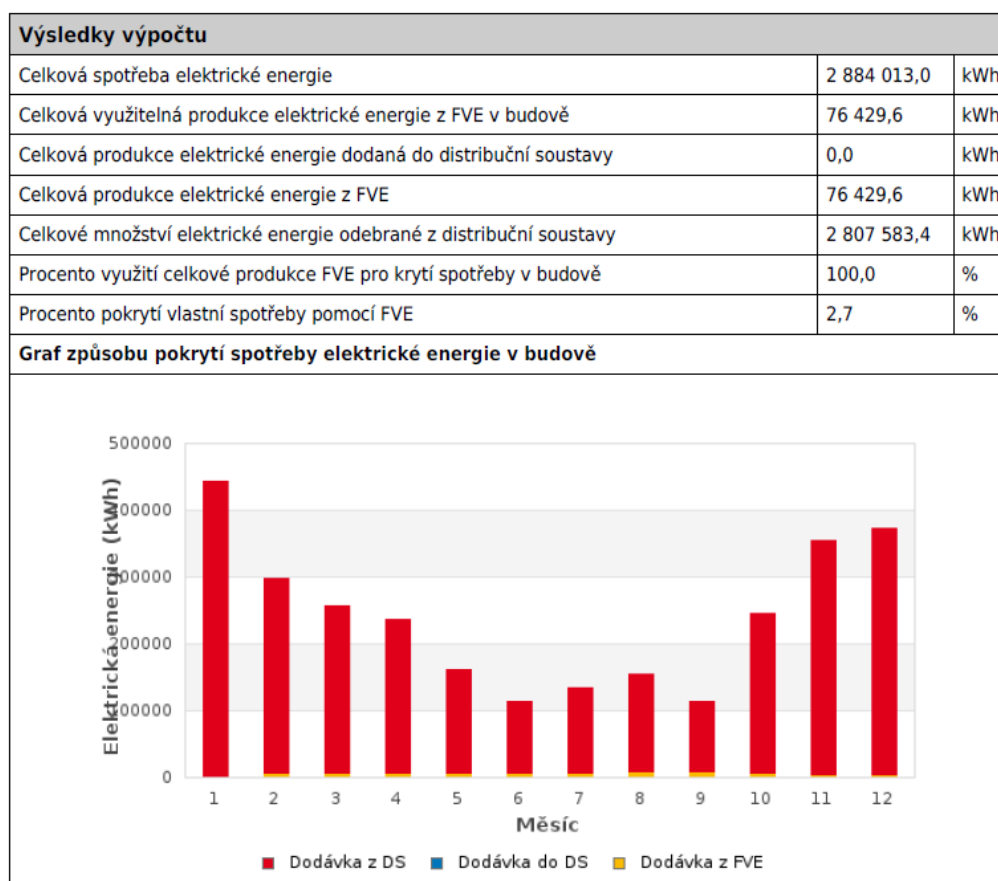
Graf č. 12 – Srovnání vstupních klimatických dat použitých pro budovu A

Ekonomická návratnost fotovoltaické fasády

Podle vypočítaného výkonu elektrárny (**Tab. č. 3**) byly k fotovoltaické elektrárně budovy A navrženy 3 střídače v celkové ceně 225 000 Kč. Výše investice do fotovoltaické fasády byla vypočítána na základě rovnice (2) v závislosti na definovaných cenových variantách fotovoltaické fasády 4 000–12 000 Kč/m² (**Tab. č. 5**).

plocha s FV kazetami	457	m ²
realizovaná cena za m ² plechové fasády (bez DPH)	1 321	Kč
počet střídačů o výkonu 25 kW	3	ks
celková cena za navržené střídače	225 000	Kč
investice do fasády variantu 4 000 Kč/m ²	1 449 892	Kč
investice do fasády variantu 6 000 Kč/m ²	2 364 332	Kč
investice do fasády variantu 8 000 Kč/m ²	3 278 772	Kč
investice do fasády variantu 10 000 Kč/m ²	4 193 212	Kč
investice do fasády variantu 12 000 Kč/m ²	5 107 652	Kč

Tab. č. 5 – Výpočet investice do fotovoltaické fasády na budově A



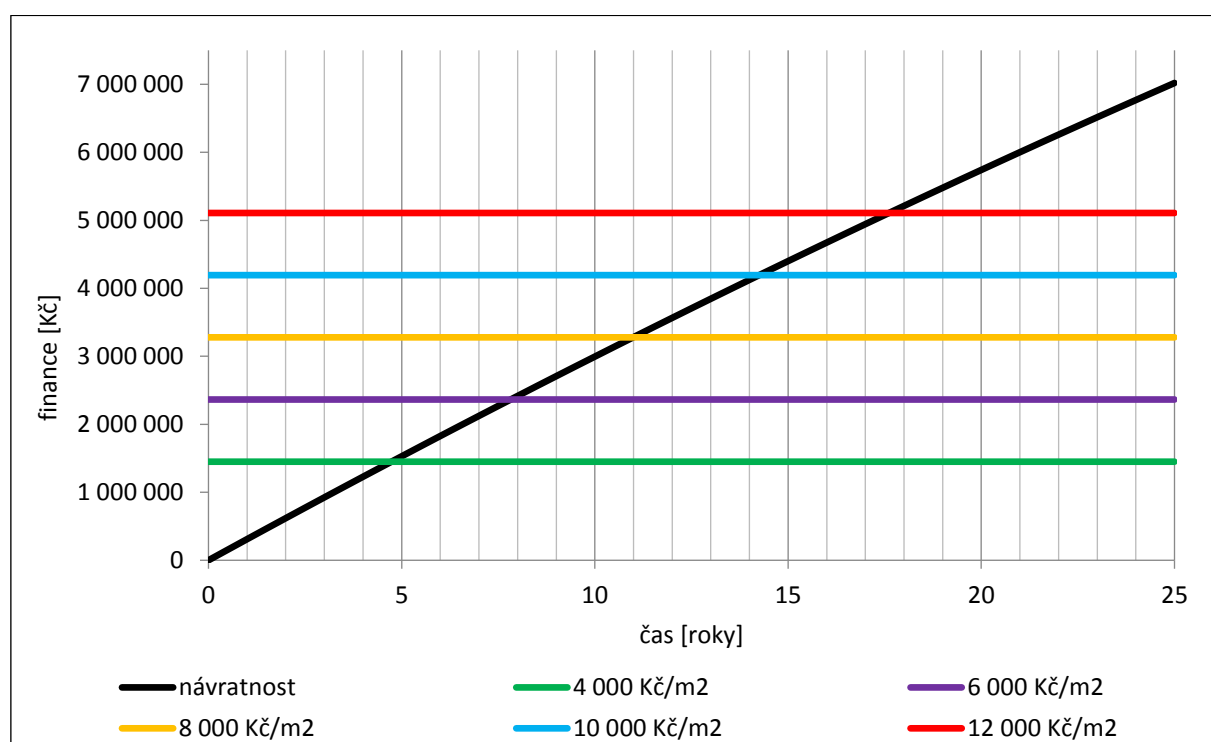
Obr. č. 36 – Výsledky výpočtu programu DEKSOFT, budova A

Pro správné vyhodnocení spotřeby elektrické energie budovou A byla uvažovaná celková roční spotřeba energie v budově 2 884 MWh stanovená výpočtem z podlahové plochy 9 726 m².

Pro vyhodnocení návratnosti byly použity výsledky vypočtené programem DEKSOFT (**Obr. č. 36**) z klimatických dat z databáze PVGIS. Tedy celkové množství vyrobené elektrické energie za rok ve výši 76 430 kWh a procento využití této energie v budově 100 %. Celý protokol z výpočtu programem DEKSOFT je v příloze diplomové práce. Z grafického znázornění těchto výsledků je patrné, že pro navrhovanou variantu fotovoltaické fasády nehrozí vznik přebytků elektrické energie ani v měsíci září, kdy je spotřeba elektřiny v budově nejnížší a výroba elektrické energie nejvyšší. Tento měsíc však vyrobená energie pokryje pouze 8,6 % energie potřebné v budově A (**Tab. č. 6**). V ročním souhrnu jsou to pouze 2,7 % z celkové spotřeby energie. Vzhledem k velikosti objektu by tedy bylo možné navrhnout větší fotovoltaickou elektrárnu.

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
spotřeba E [kWh]	444	298	256	237	161	113	135	154	113	245	355	374
výroba E [kWh]	2,41	5,77	6,36	6,53	7,42	7,38	7,27	8,24	9,70	6,92	4,71	3,73
pokrytí spotřeby [%]	0,54	1,94	2,49	2,76	4,61	6,53	5,38	5,36	8,60	2,82	1,33	1,00

Tab. č. 6 – Vyčíslení schopnosti pokrytí spotřeby energie vyrobenou energií po měsících, budova A



Graf č. 13 – Návrh návratnosti fotovoltaické fasády na budově A

Přibližnou optimální velikost elektrárny lze určit z grafu **Graf č. 10**. Podle rovnice u křivky pro jižní fasádu byla vypočítána ideální velikost fotovoltaické fasády pro tuto budovu 1 498 m², což je více jak trojnásobek fasády, která byla pro tento případ uvažovaná. Hodnota ovšem není přesná, jelikož graf je vytvořen z dat pro Brno a budova A se nachází v Uherském Hradišti. Tak velká plocha, jakou by měla mít optimální jižní fotovoltaická fasáda, směřující na jih však není u tohoto objektu realizovatelná, při optimalizaci by muselo dojít ke kombinaci fasád orientovaných na různé světové strany a toto řešení by vyžadovalo nový podrobný iterační výpočet.

rok	pokles výkonu [%]	vyrobená energie [kWh/rok]	návratnost při 4 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 6 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 8 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 10 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 12 000 Kč/m ² [Kč]
1	0,8	62 787	310856	310856	310856	310856	310856
2	1,6	62 281	619205	619205	619205	619205	619205
3	2,4	61 774	925048	925048	925048	925048	925048
4	3,2	61 268	1228383	1228383	1228383	1228383	1228383
5	4	60 762	1529211	1529211	1529211	1529211	1529211
6	4,8	60 255	1827533	1827533	1827533	1827533	1827533
7	5,6	59 749	2123348	2123348	2123348	2123348	2123348
8	6,4	59 243	2416655	2416655	2416655	2416655	2416655
9	7,2	58 736	2707456	2707456	2707456	2707456	2707456
10	8	58 230	2995750	2995750	2995750	2995750	2995750
11	8,8	57 724	3281537	3281537	3281537	3281537	3281537
12	9,6	57 217	3564817	3564817	3564817	3564817	3564817
13	10,4	56 711	3845591	3845591	3845591	3845591	3845591
14	11,2	56 205	4123857	4123857	4123857	4123857	4123857
15	12	55 698	4399617	4399617	4399617	4399617	4399617
16	12,8	55 192	4672869	4672869	4672869	4672869	4672869
17	13,6	54 686	4943615	4943615	4943615	4943615	4943615
18	14,4	54 179	5211853	5211853	5211853	5211853	5211853
19	15,2	53 673	5477585	5477585	5477585	5477585	5477585
20	16	53 166	5740810	5740810	5740810	5740810	5740810
21	16,8	52 660	6001528	6001528	6001528	6001528	6001528
22	17,6	52 154	6259739	6259739	6259739	6259739	6259739
23	18,4	51 647	6515443	6515443	6515443	6515443	6515443
24	19,2	51 141	6768641	6768641	6768641	6768641	6768641
25	20	50 635	7019331	7019331	7019331	7019331	7019331

Tab. č. 7 – Výpočet návratnosti fotovoltaické fasády na budově A

Graf č. 13 znázorňuje návratnost fotovoltaického systému budovy A graficky. Na vodorovné ose jsou uvedeny roky provozu fotovoltaického systému, svislá osa slouží pro orientaci ve finančních částkách, ať už investic, úspor či zisků. Křivka návratnosti je vyjádřena rostoucími úsporami za energii, zbylé vodorovné křivky znázorňují výši počáteční investice pro jednotlivé varianty cen 4 000–12 000 Kč/m² (**Tab. č. 2**). Místo, kde se tyto dvě křivky protínají, určuje návratnost investice. Úspory od tohoto bodu křížení výše už lze označit za zisky. Z grafu lze vyčíst,

že všechny varianty mají návratnost nižší, než jaká je běžná životnost fotovoltaických panelů, tedy 25 let. Detailnější vyhodnocení výpočtu s rozpočítanými hodnotami vyrobené energie po letech je patrné z údajů uvedených v **Tab. č. 7**. Je v ní také opět znázorněna návratnost pro cenové varianty 4 000–12 000 Kč/m². V příslušných sloupcích je počítána celková úspora za elektrickou energii tak, jak narůstá po jednotlivých letech. Barevné formátování znázorňuje, ve kterém roce dojde k převýšení počáteční investice úsporami za energie.

6.2.2 Budova B, Brno

Další vyhodnocovanou stavbou je šestipodlažní objekt AB Veselý (**Obr. č. 37**) nacházející se v Brně. Budova je využívána jako sídlo firmy. Fasáda celého objektu má plochu 1 257 m², pro posouzení instalace fotovoltaiky byla vybrána jižně orientovaná fasáda o ploše 166 m². Ani na tomto objektu by nebylo vhodné navrhovat fotovoltaiku na celou plochu vybrané fasády z důvodu potenciálního stínění. Fotovoltaický systém by byl tedy instalován opět až od úrovně nadpraží proskleného vchodu podle červeného značení a pokrýval by tedy plochu 148 m².



Obr. č. 37 – Jižní fasáda budovy B [38]

Energetická analýza fasády

Výsledkem prvního výpočtového modelu na navrhované části jižní fasády budovy B jsou roční energetické zisky 22 305 kWh (**Tab. č. 8**). Srovnání výsledků tohoto výpočtu s výpočty v programu DEKSOFT v závislosti na zvolených vstupních datech je v tabulce **Tab. č. 9**. Podle posouzení map udávajících množství dopadajícího záření pro Českou republiku a Evropu (**Obr. č. 28, Obr. č. 29**) byla pro výpočetní model 1 zvolena klimatická data z Vídně, a pro výpočet v softwaru DEKSOFT

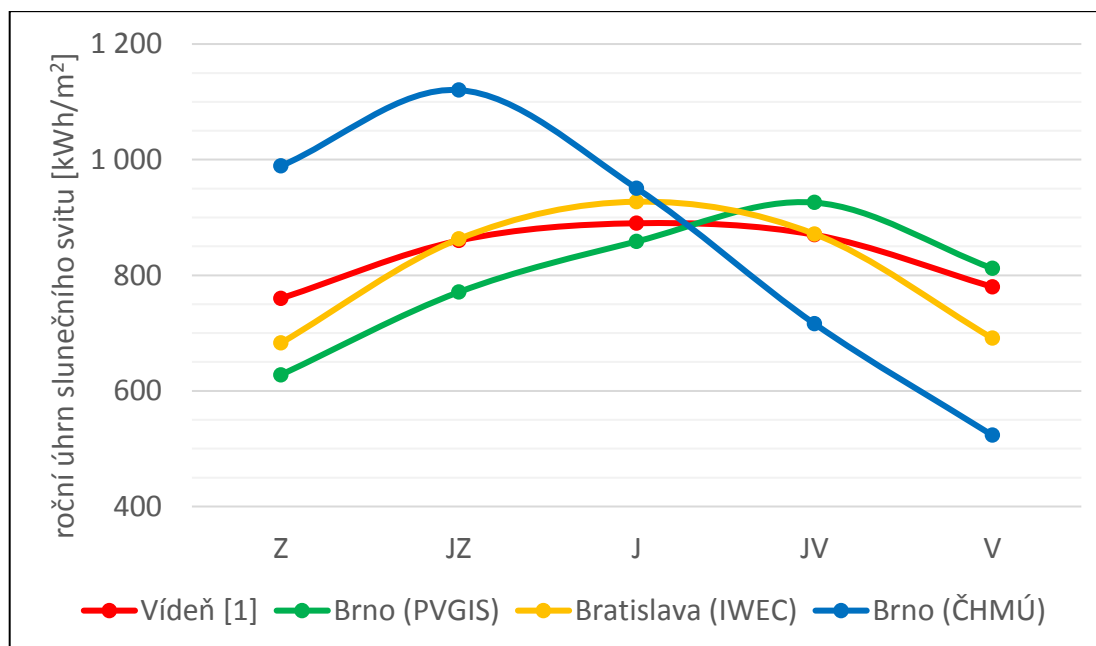
z databáze IWEK data z Bratislavy. Z databáze PVGIS byla zvolena lokalita města Brna, stejně jako data vycházející z měření ČHMÚ.

orientace	jih 0°	-
sklon	90°	-
roční úhrn záření (Obr. č. 24)	890	kWh/m ²
plocha s FV kazetami	148	m ²
plocha kazet bez FV	18	m ²
počet FV článků na m ²	36	ks
celkový počet FV článků na fasádě	5 340	ks
výkon jednoho FV článku	4,7	W
výkon celého FV systému	25,1	kW
účinnost FV článků	20	%
pokrytí FV plochy FV články	88	%
ztráty (střídač, rozvody)	4	%
vyrobená elektrická energie	22 305	kWh/rok

Tab. č. 8 – Výpočet fotovoltaické fasády na budově B, výpočtový model 1

výpočet	zdroj vstupních dat	E [kWh/rok]
MODEL 1	Vídeň, [1]	22 305
MODEL 2	Brno, PVGIS	21 578
	Bratislava, IWEK	23 187
	Brno, ČHMÚ	23 767
průměr		22 709
směrodatná odchylka		964

Tab. č. 9 – Porovnání energetických zisků dle vstupních dat, budova B



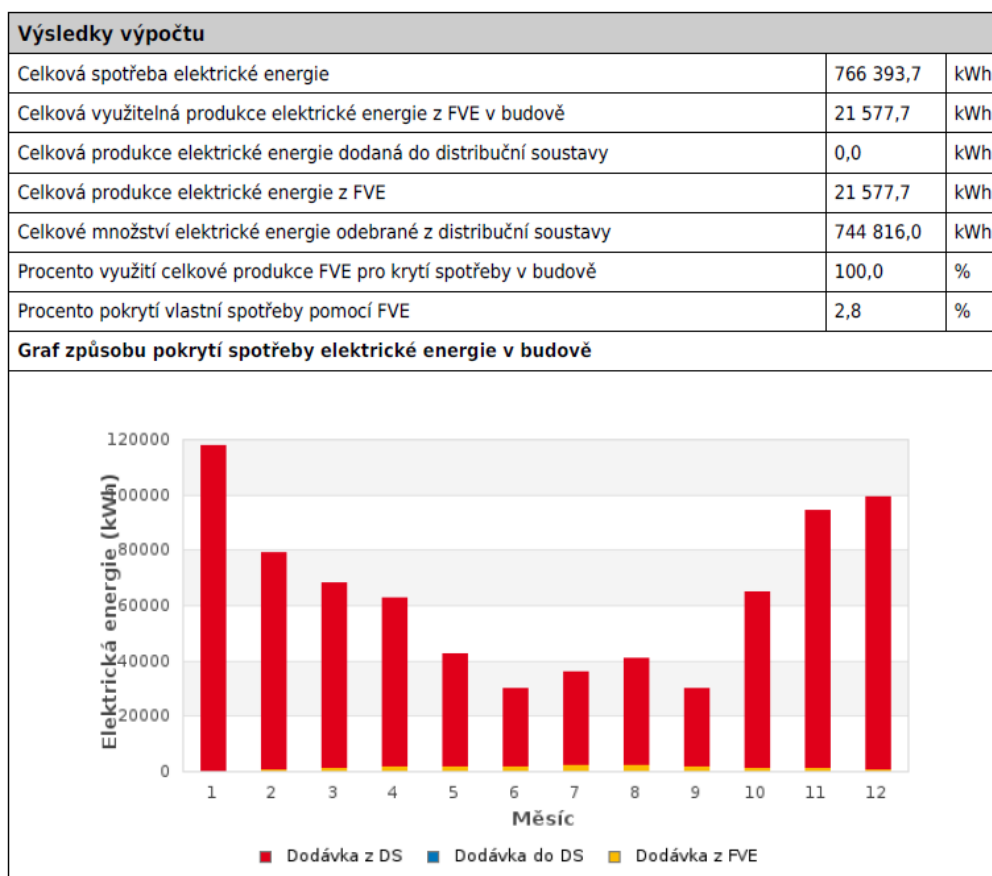
Graf č. 14 – Srovnání vstupních klimatických dat použitých pro budovu B

Porovnání vstupních klimatických dat, respektive ročního úhrnu slunečního záření, je k dispozici v grafu **Graf č. 14**. Stejně jako u budovy A, i zde je posuzovaná fasáda orientována na jih. Výkyvy mezi vstupními hodnotami osvitů jižní plochy v lokalitě Brno ovšem nejsou tolik výrazné jako ve Zlínském kraji, kde se nachází budova A.

Ekonomická návratnost fotovoltaické fasády

plocha s FV kazetami	148	m ²
realizovaná cena za m ² plechové fasády (bez DPH)	1 929	Kč
počet střídačů o výkonu 25 kW	1	ks
celková cena za navržené střídače	75 000	Kč
investice do fasády variantu 4 000 Kč/m ²	382 191	Kč
investice do fasády variantu 6 000 Kč/m ²	678 851	Kč
investice do fasády variantu 8 000 Kč/m ²	975 511	Kč
investice do fasády variantu 10 000 Kč/m ²	1 272 171	Kč
investice do fasády variantu 12 000 Kč/m ²	1 568 831	Kč

Tab. č. 10 – Výpočet investice do fotovoltaické fasády na budově B



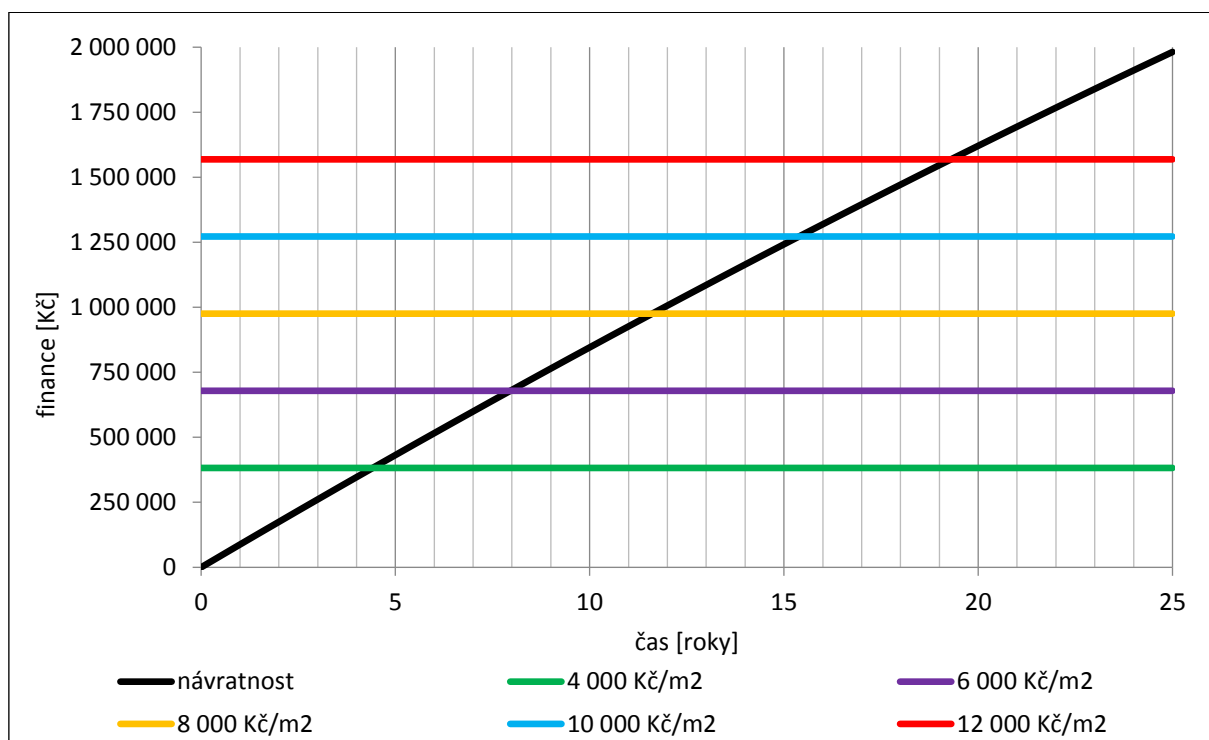
Obr. č. 38 – Výsledky výpočtu programu DEKSOFT, budova B

Na fotovoltaickou instalaci na fasádu budovy B o celkovém výkonu 25,1 kW (**Tab. č. 8**) postačí jeden střídač. K jeho předpokládané ceně 75 000 Kč byla připočtena cena za fotovoltaickou

fasádu v závislosti na cenových variantách 4 000–12 000 Kč/m². Pro stanovení velikosti investice (**Tab. č. 10**) zde podle (2) ovšem došlo ještě k odpočtu realizované ceny za odpovídající část fasády, v tomto případě o 286 129 Kč.

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
spotřeba E [kWh]	118	79	68	63	43	30	36	41	30	65	94	99
výroba E [kWh]	0,69	0,92	1,62	2,13	2,22	2,13	2,75	2,78	2,10	1,90	1,41	0,93
pokrytí spotřeby [%]	0,58	1,16	2,39	3,38	5,20	7,09	7,64	6,81	6,99	2,92	1,49	0,94

Tab. č. 11 – Vyčíslení schopnosti pokrytí spotřeby energie vyrobenou energií po měsících, budova B



Graf č. 15 – Návrh návratnosti fotovoltaické fasády na budově B

Do programu DEKSOFT byla zadána celková roční spotřeba energie v budově B o podlahové ploše 2 584 m² ve výši 766 MWh. Na základě posouzení denních režimů spotřeby elektriny a množství vyrobené energie fotovoltaickou elektrárnou z výpočtových dat s použitím klimatických dat z databáze PVGIS stanovil software procento využití této energie v budově jako 100 % (**Obr. č. 38**). Protokol výpočtu v programu DEKSOFT je v příloze diplomové práce. Z programu byl rovněž pro posouzení návratnosti použit údaj o celkové roční produkci elektrické energie budovou B.

Z výsledkového grafu v dolní části téhož obrázku lze dojít k podobnému závěru jako u budovy A, tedy, že ke vzniku přebytků elektrické energie docházet nebude. Současně je však možné tuto fotovoltaickou fasádu označit za nedostačující pro pokrytí množství potřebné elektrické energie v objektu. I v měsíci září, kdy je procento pokrytí spotřeby elektrické energie budovy pomocí energie vyrobené fotovoltaickým systémem nejvyšší, vyrobená energie pokryje pouze necelých 7 % celkové spotřeby energie v budově (**Tab. č. 11**). Za celý rok se jedná o 2,8 % z celkové spotřeby energie budovou B. I tato budova by tedy byla schopna spotřebovat energii z elektrárny s mnohem vyšším výkonem, než rozměrově umožňuje jižní fasáda budovy B. Přibližnou velikost ideální elektrárny lze stanovit z grafu **Graf č. 10**. Z výpočtu podle rovnice u křivky pro jižní fasádu vychází optimální velikost fotovoltaické fasády 408 m². Taková plocha by však byla téměř třikrát větší, než plocha jižní fasády budovy B. Opět by tedy při optimalizaci muselo dojít ke kombinaci fasád orientovaných na různé světové strany.

rok	pokles výkonu [%]	vyrobená energie [kWh/rok]	návratnost při 4 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 6 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 8 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 10 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 12 000 Kč/m ² [Kč]
1	0,8	23 577	87 762	87 762	87 762	87 762	87 762
2	1,6	23 387	174 816	174 816	174 816	174 816	174 816
3	2,4	23 197	261 163	261 163	261 163	261 163	261 163
4	3,2	23 006	346 802	346 802	346 802	346 802	346 802
5	4	22 816	431 733	431 733	431 733	431 733	431 733
6	4,8	22 626	515 956	515 956	515 956	515 956	515 956
7	5,6	22 436	599 471	599 471	599 471	599 471	599 471
8	6,4	22 246	682 279	682 279	682 279	682 279	682 279
9	7,2	22 056	764 379	764 379	764 379	764 379	764 379
10	8	21 866	845 771	845 771	845 771	845 771	845 771
11	8,8	21 676	926 456	926 456	926 456	926 456	926 456
12	9,6	21 485	1 006 432	1 006 432	1 006 432	1 006 432	1 006 432
13	10,4	21 295	1 085 701	1 085 701	1 085 701	1 085 701	1 085 701
14	11,2	21 105	1 164 263	1 164 263	1 164 263	1 164 263	1 164 263
15	12	20 915	1 242 116	1 242 116	1 242 116	1 242 116	1 242 116
16	12,8	20 725	1 319 262	1 319 262	1 319 262	1 319 262	1 319 262
17	13,6	20 535	1 395 700	1 395 700	1 395 700	1 395 700	1 395 700
18	14,4	20 345	1 471 430	1 471 430	1 471 430	1 471 430	1 471 430
19	15,2	20 154	1 546 452	1 546 452	1 546 452	1 546 452	1 546 452
20	16	19 964	1 620 767	1 620 767	1 620 767	1 620 767	1 620 767
21	16,8	19 774	1 694 374	1 694 374	1 694 374	1 694 374	1 694 374
22	17,6	19 584	1 767 273	1 767 273	1 767 273	1 767 273	1 767 273
23	18,4	19 394	1 839 464	1 839 464	1 839 464	1 839 464	1 839 464
24	19,2	19 204	1 910 948	1 910 948	1 910 948	1 910 948	1 910 948
25	20	19 014	1 981 724	1 981 724	1 981 724	1 981 724	1 981 724

Tab. č. 12 – Výpočet návratnosti fotovoltaické fasády na budově B

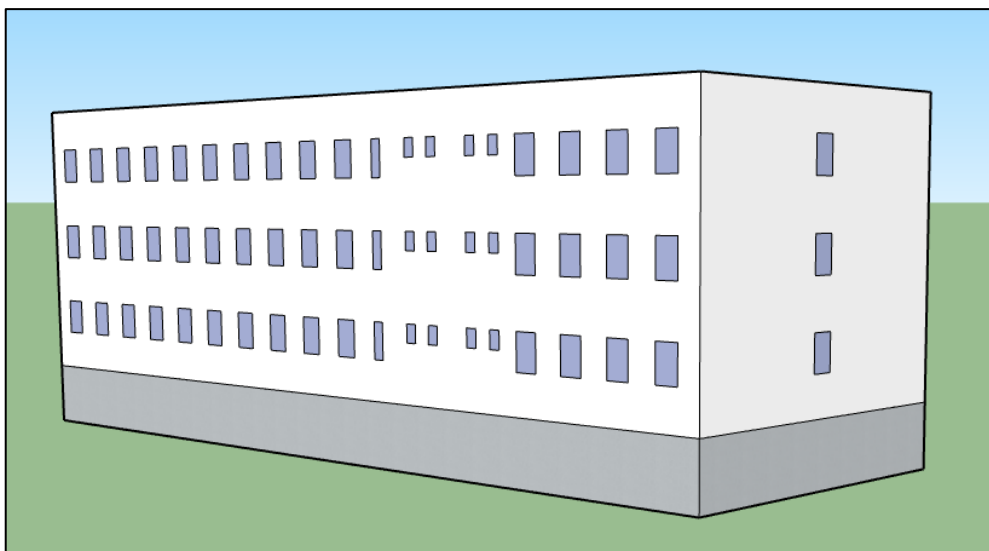
Návratnost fotovoltaické elektrárny na budově B je graficky znázorněna v grafu (**Graf č. 15**). Černá křivka je určena rostoucími úsporami za energii, zbylé barevně odlišené vodorovné křivky reflektují výši počáteční investice pro jednotlivé cenové varianty fotovoltaických fasád 4 000–12 000 Kč/m². V místě křížení rostoucí křivky a křivek vyjadřujících investice lze z vodorovné osy odečíst délku návratnosti investice do fotovoltaické fasády na budově B. Stejně jako u budovy A je patrné, že všechny cenové varianty dosáhnou návratnosti dříve než garantované životnosti 25 let. Číselné vyjádření množství vyrobené energie a uspořené financí v jednotlivých letech je rozepsáno v **Tab. č. 12**. Návratnost systému je zvýrazněna barevným formátováním.

6.2.3 Budova C, Karlovy Vary

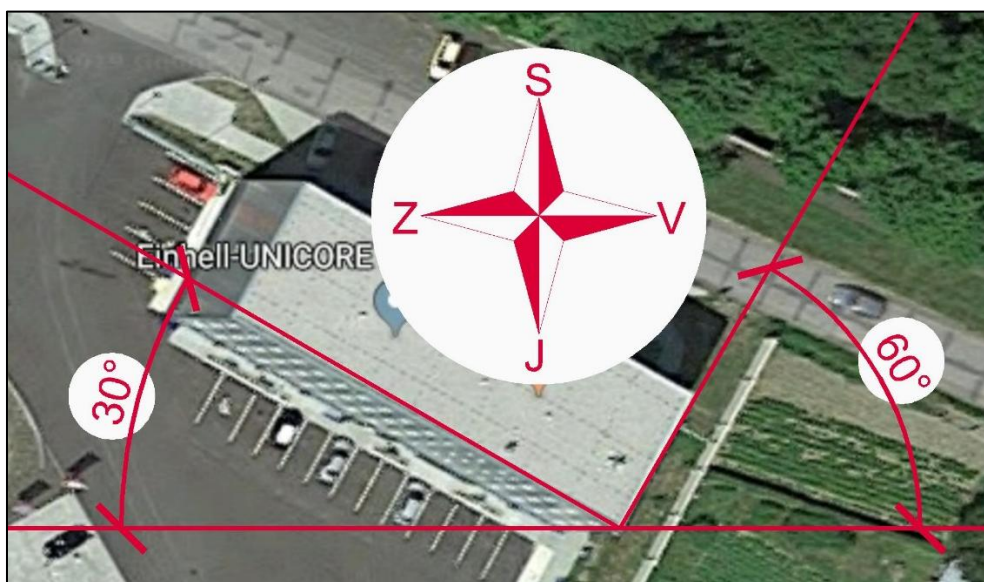
Další administrativní budovou vybranou pro posouzení její vhodnosti pro návrh fotovoltaické fasády je Podnikatelský inkubátor Kanov v Karlových Varech (**Obr. č. 39**). Objekt poskytující zázemí začínajícím firmám má čtyři podlaží a celkovou plochu fasády 1 290 m². K umístění fotovoltaického systému byla vybraná fasáda jihovýchodní o ploše 209 m² v kombinaci s fasádou jihozápadní s plochou 484 m² (**Obr. č. 41**). Fotovoltaický systém byl navrhován pouze v té části fasády, která byla realizovaná ve světle šedé barvě, tedy opět ne níže, než nadpraží vchodů a francouzských oken. Pro jihovýchodní fasádu takové umístění vymezuje červená linka na obrázku. Z modelu budovy C vytvořeného v programu SketchUp (**Obr. č. 40**) jsou patrné obě vybrané fasády – jihovýchodní i jihozápadní. Plochy s předpokládanými fotovoltaickými kazetami jsou znázorněny bíle. Jejich výměry činí 172 m² u jihovýchodní fasády a 427 m² u jihozápadní fasády.



Obr. č. 39 – Jihovýchodní a severovýchodní fasáda budovy C [39]



Obr. č. 40 – Jihovýchodní a jihozápadní fasáda budovy C



Obr. č. 41 – Orientace fasád budovy C

Energetická analýza fasády

Výsledkem výpočetního modelu 1 na fotovoltaické fasádě budovy C jsou celkové roční energetické zisky z fotovoltaické elektrárny ve výši 82 458 kWh (**Tab. č. 13**). Tato hodnota je s výpočty provedenými programem DEKSOFT srovnána v tabulce **Tab. č. 14**. V prvním výpočtovém modelu bylo z možností Vídeň, Berlín, Hradec Králové uvažováno s Hradcem Králové a s daty z programu WUFI. Toto rozhodnutí bylo ovlivněno nejen mapami vykazujícími dopad slunečního záření v Evropě a České republice (**Obr. č. 28**, **Obr. č. 29**), ale také z důvodu, že obě města mají podobné geografické podmínky a leží takřka na úpatí hor. Z databáze IWEK bylo z možností dat pro Prahu,

Ostravu a Bratislavu vybráno město Praha. V databázi PVGIS byla zvolena data přímo pro Karlovy Vary. Data z ČHMÚ byla zvolena pro Karlovarský kraj.

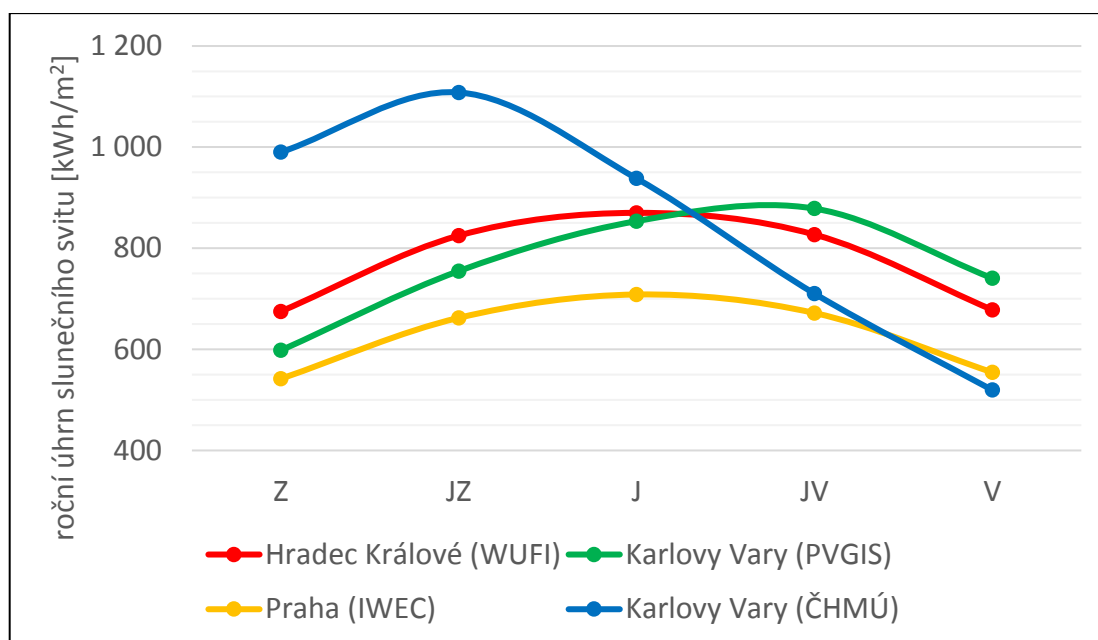
orientace	jihovýchod -60°	jihozápad 30°	-
sklon		90°	-
roční úhrn záření (Graf č. 1)	700	860	kWh/m ²
plocha s FV kazetami	172	427	m ²
plocha kazet bez FV	37	57	m ²
počet FV článků na m ²		36	ks
celkový počet FV článků na fasádě	6 192	15 389	ks
výkon jednoho FV článku		4,7	W
výkon FV systému	29,1	72,3	kW
účinnost FV článků		20	%
pokrytí FV plochy FV články		88	%
ztráty (střídač, rozvody)		4	%
vyrobená elektrická energie	20 343	62 115	kWh/rok
celkový výkon FV systému		101,4	kW
celkové množství vyrobené elektrické energie		82 458	kWh/rok

Tab. č. 13 – Výpočet fotovoltaické fasády na budově C, výpočtový model 1

výpočet	zdroj vstupních dat	E [kWh/rok]
MODEL 1	Hradec Králové, WUFI	82 458
MODEL 2	Karlovy Vary, PVGIS	81 521
	Praha, IWEK	68 244
	Karlovy Vary, ČHMÚ	89 050
průměr		80 318
směrodatná odchylka		8 719

Tab. č. 14 – Porovnání energetických zisků dle vstupních dat, budova C

Všechny křivky vstupních klimatických dat jsou pro porovnání vyneseny v grafu **Graf č. 16**. Z grafu vybočují data pro Prahu z databáze IWEK. Tyto vstupní hodnoty jsou velmi nízké, dokonce nejnižší ze všech dat vůbec (viz **Graf č. 3**). V případě použití okrajových podmínek z databáze IWEK byly tedy výsledky energetických zisků ve srovnání s ostatními výsledky výrazně odlišné.



Graf č. 16 – Srovnání vstupních klimatických dat použitých pro budovu C

Ekonomická návratnost fotovoltaické fasády

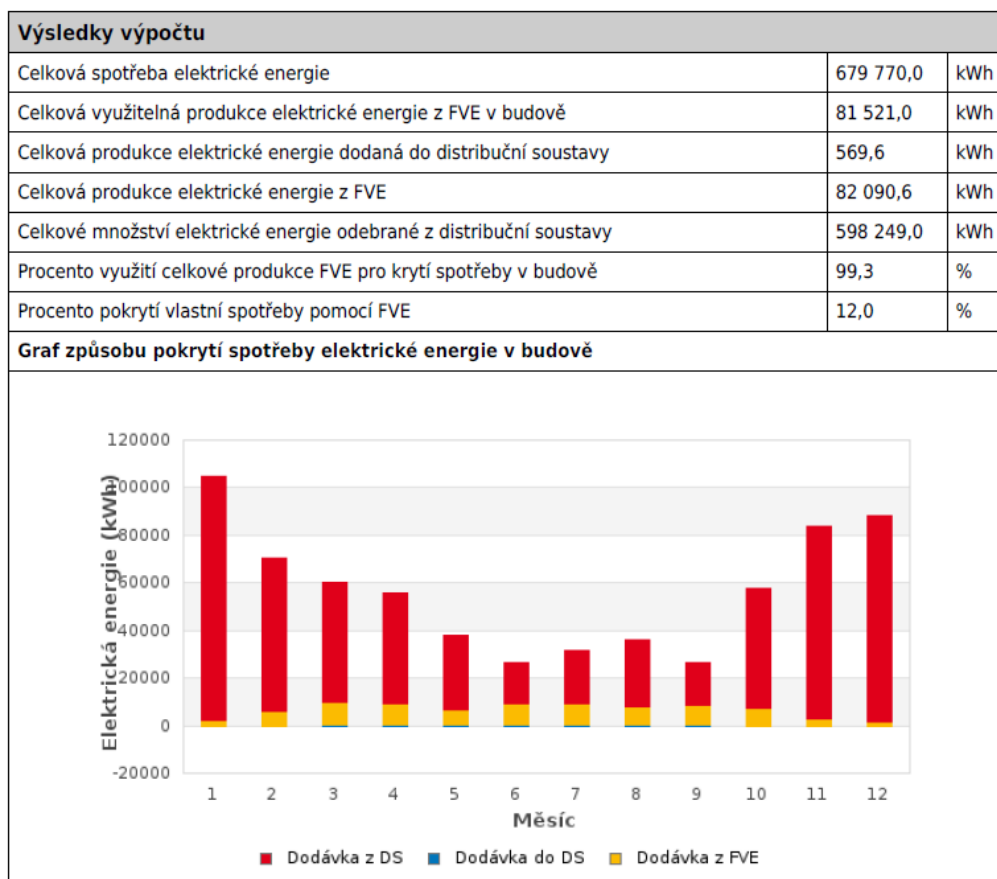
Pro kalkulaci investičních nákladů byly vzhledem k celkovému výkonu fotovoltaického systému 101,4 kW (**Tab. č. 13**) k budově C navrženy čtyři střídače v celkové hodnotě 300 000 Kč. Od ceny střídačů a ceny za fotovoltaickou fasádu podle variant 4 000–12 000 Kč/m² byla odečtena realizovaná cena za odpovídající část fasády (2), čímž se stanovila velikost investice oproti realizovanému scénáři (**Tab. č. 15**).

celková plocha s FV kazetami	599	m²
realizovaná cena za m² plechové fasády (bez DPH)	923	Kč
počet střídačů o výkonu 25 kW	4	ks
celková cena za navržené střídače	300 000	Kč
investice do fasády variantu 4 000 Kč/m²	2 144 564	Kč
investice do fasády variantu 6 000 Kč/m²	3 343 524	Kč
investice do fasády variantu 8 000 Kč/m²	4 542 484	Kč
investice do fasády variantu 10 000 Kč/m²	5 741 444	Kč
investice do fasády variantu 12 000 Kč/m²	6 940 404	Kč

Tab. č. 15 – Výpočet investice do fotovoltaické fasády na budově C

Program DEKSOFT spočítal podrobnou energetickou bilanci na základě zadané celkové roční spotřeby energie 679 MWh vycházející z podlahové plochy budovy 2291 m². Výsledkem posouzení denních režimů spotřeby elektřiny a množství vyrobené energie na základě výpočtu s použitím dat databáze PVGIS je procento využití vyrobené elektřiny přímo v objektu 99,3 % (**Obr. č. 42**). Protokol výpočtu v programu DEKSOFT je v příloze diplomové práce. Fotovoltaickou elektrárnu lze v tomto případě označit za téměř optimálně navrženou, protože se přibližuje

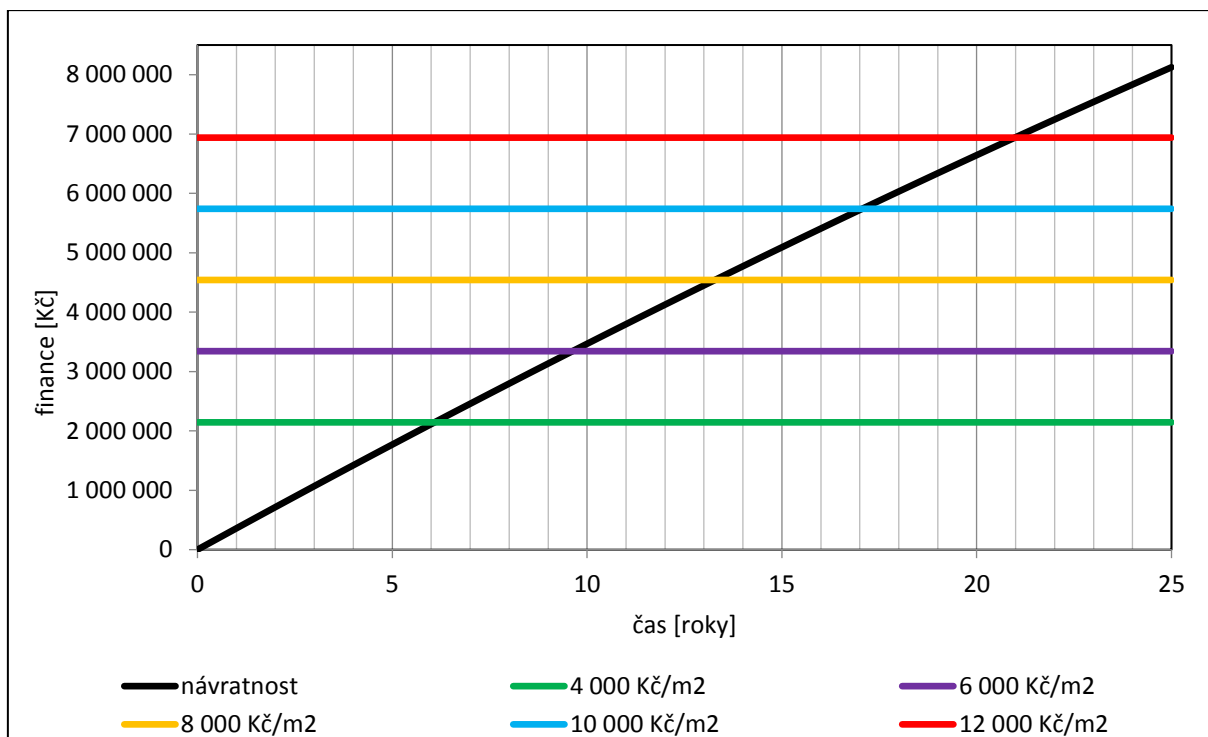
k hranici 100% využitelnosti vyrobené energie s minimem přebytků, které jsou přeprodávány do distribuční soustavy tak, jak bylo uvažováno při zpracování grafu stanovujícího optimální velikost fotovoltaické fasády (**Graf č. 10**). Procentuální vyjádření pokrytí spotřeb budovy vyrobenou energií z fotovoltaického systému je uvedeno v tabulce **Tab. č. 16**, ze které je patrné nejvyšší procento pokrytí spotřeby budovy C v měsíci září, a to 33,71 %. Při celoročním vyhodnocení bylo toto procento pokrytí vlastní spotřeby energií z fotovoltaiky vypočteno jako 12 %.



Obr. č. 42 – Výsledky výpočtu programu DEKSOFT, budova C

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
spotřeba E [kWh]	105	70	60	56	38	27	32	36	27	58	84	88
výroba E [kWh]	2,26	6,25	9,82	9,22	6,55	9,47	9,30	7,98	8,96	7,29	3,18	1,81
pokrytí spotřeby [%]	2,15	8,91	16,28	16,52	17,26	35,55	29,20	22,03	33,71	12,63	3,80	2,06

Tab. č. 16 – Vyčíslení schopnosti pokrytí spotřeby energie vyrobenou energií po měsících, budova C



Graf č. 17 – Návrstnost fotovoltacké fasády na budově C

Graf č. 17 vyobrazuje návratnost investice do fotovoltackého systému budovy C. Černá křivka odráží růst úspor, respektive zisků za energii v průběhu let a v kombinaci s barevnými investičními křivkami určuje dobu návratnosti jednotlivých cenových variant. Oproti předchozím budovám je u budovy C patrné prodloužení doby návratnosti, jelikož investice do fotovoltacky byla poměrem k ploše celé fasády tohoto objektu vyšší než u předchozích posuzovaných budov, a současně nedochází ke 100% využití vyrobené energie přímo v objektu. I přes tyto skutečnosti lze u všech uvedených variant fotovoltackých systémů konstatovat návratnost investičních nákladů ještě před skončením udávané doby životnosti panelů. Detailnější rozpis hodnot vyrobené energie a ušetřených financí nebo zisků po jednotlivých letech je uveden v **Tab. č. 17**. Návratnost systému je zdůrazněna barevným formátováním.

rok	pokles výkonu [%]	vyrobená energie [kWh/rok]	návratnost při 4 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 6 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 8 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 10 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 12 000 Kč/m ² [Kč]
1	0,8	88338	359 834	359 834	359 834	359 834	359 834
2	1,6	87625	716 767	716 767	716 767	716 767	716 767
3	2,4	86913	1 070 797	1 070 797	1 070 797	1 070 797	1 070 797
4	3,2	86200	1 421 926	1 421 926	1 421 926	1 421 926	1 421 926
5	4	85488	1 770 153	1 770 153	1 770 153	1 770 153	1 770 153
6	4,8	84776	2 115 478	2 115 478	2 115 478	2 115 478	2 115 478
7	5,6	84063	2 457 901	2 457 901	2 457 901	2 457 901	2 457 901
8	6,4	83351	2 797 422	2 797 422	2 797 422	2 797 422	2 797 422
9	7,2	82638	3 134 041	3 134 041	3 134 041	3 134 041	3 134 041
10	8	81926	3 467 759	3 467 759	3 467 759	3 467 759	3 467 759
11	8,8	81214	3 798 574	3 798 574	3 798 574	3 798 574	3 798 574
12	9,6	80501	4 126 488	4 126 488	4 126 488	4 126 488	4 126 488
13	10,4	79789	4 451 500	4 451 500	4 451 500	4 451 500	4 451 500
14	11,2	79076	4 773 609	4 773 609	4 773 609	4 773 609	4 773 609
15	12	78364	5 092 817	5 092 817	5 092 817	5 092 817	5 092 817
16	12,8	77652	5 409 123	5 409 123	5 409 123	5 409 123	5 409 123
17	13,6	76939	5 722 527	5 722 527	5 722 527	5 722 527	5 722 527
18	14,4	76227	6 033 030	6 033 030	6 033 030	6 033 030	6 033 030
19	15,2	75514	6 340 630	6 340 630	6 340 630	6 340 630	6 340 630
20	16	74802	6 645 328	6 645 328	6 645 328	6 645 328	6 645 328
21	16,8	74090	6 947 125	6 947 125	6 947 125	6 947 125	6 947 125
22	17,6	73377	7 246 020	7 246 020	7 246 020	7 246 020	7 246 020
23	18,4	72665	7 542 013	7 542 013	7 542 013	7 542 013	7 542 013
24	19,2	71952	7 835 103	7 835 103	7 835 103	7 835 103	7 835 103
25	20	71240	8 125 292	8 125 292	8 125 292	8 125 292	8 125 292

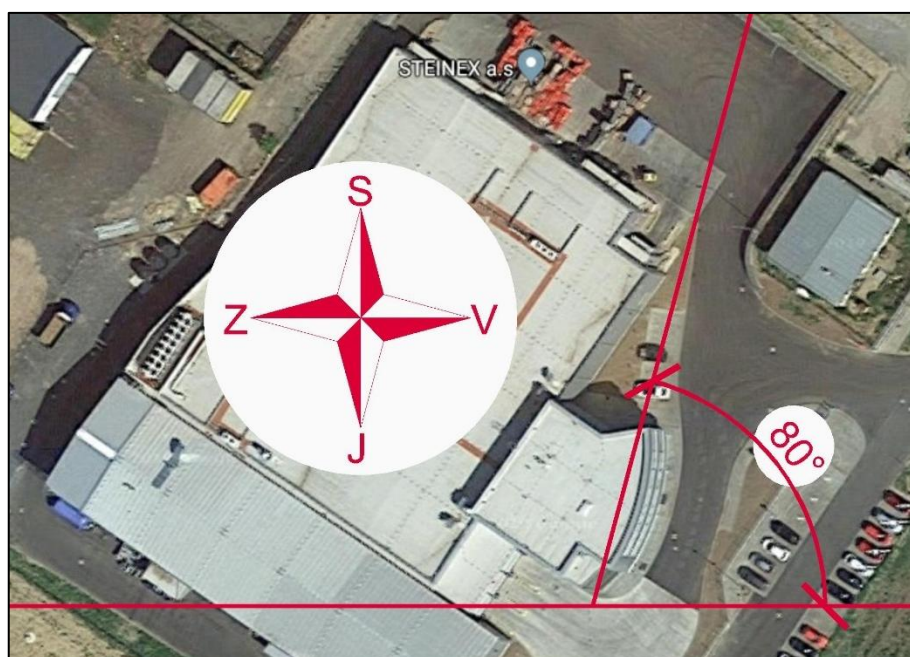
Tab. č. 17 – Výpočet návratnosti fotovoltaické fasády na budově C

6.2.4 Budova D, Kuřim

Posledním posuzovaným administrativním objektem je budova firmy Steinex při výrobním areálu v Kuřimi (**Obr. č. 43**). Třípodlažní budova s kanceláři těsně sousedí s jedním z výrobních objektů a lze předpokládat, že jsou oba objekty vzájemně propojené a tvoří tak jednu budovu. Pro energetické posouzení však bude brána v úvahu pouze administrativní část, jelikož výrobní hala má s ohledem na výrobní procesy diametrálně odlišné denní režimy spotřeby energie. Fasáda kancelářského objektu kopíruje jeho částečně obloukový půdorys a má celkovou plochu 420 m². Pro účely možné instalace fotovoltaiky byla vybrána právě oblouková část fasády s orientací na východ, a o ploše 132 m² (**Obr. č. 44**). Díky architektonickému řešení budovy, kdy přízemní část fasády tvoří francouzská okna a nosné sloupy, je možné východní plechovou fasádu plně využít pro návrh fotovoltaické elektrárny.



Obr. č. 43 – Východní fasáda budovy D [40]



Obr. č. 44 – Orientace fasády budovy D

Energetická analýza fasády

Výsledkem výpočtu podle modelu 1 jsou celkové roční energetické zisky fotovoltaické elektrárny budovy D ve výši 17 842 kWh (**Tab. č. 18**). V tabulce **Tab. č. 19** je tento výsledek porovnán s dalšími hodnotami energetických zisků, které byly stanoveny z výpočtového modelu 2. Pro první výpočtový model byla zvolena data ročního úhrnu slunečního záření pro Vídeň z fotovoltaické příručky [1], a to s ohledem na to, že město Kuřim leží stále ještě v dostatečné blízkosti Brna, pro které byla zvolena stejná zdrojová data. Oblast Jižní Moravy je slunečním svitem ozařována z České republiky

nejvíce a srovnatelně s Vídní či Bratislavou (**Obr. č. 28, Obr. č. 29**). Z databáze IWEK byla tedy podle stejné úvahy zvolena klimatická data pro Bratislavu. U druhé databáze PVGIS byl pomocí výběru v mapě zvolen bod přímo v Kuřimi a data tak byla generována přesně pro konkrétní posuzovanou lokalitu. Klimatická data z ČHMÚ byla využita z údajů uváděných pro město Brno.

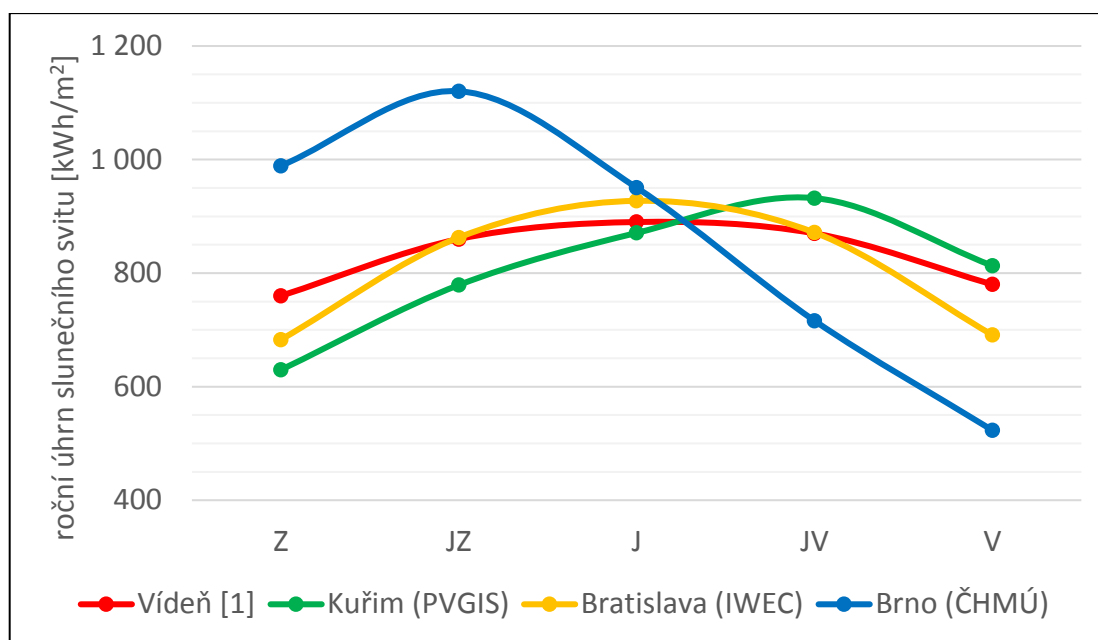
orientace	jihovýchod –80°	-
sklon	90°	-
roční úhrn záření (Obr. č. 24)	800	kWh/m ²
plocha s FV kazetami	132	m ²
počet FV článků na m ²	36	ks
celkový počet FV článků na fasádě	4 752	ks
výkon jednoho FV článku	4,7	W
výkon celého FV systému	22,3	kW
účinnost FV článků	20	%
pokrytí FV plochy FV články	88	%
ztráty (střídač, rozvody)	4	%
vyrobená elektrická energie	17 842	kWh/rok

Tab. č. 18 – Výpočet fotovoltaické fasády na budově D, výpočtový model 1

výpočet	zdroj vstupních dat	E [kWh/rok]
MODEL 1	Vídeň, [1]	17 842
MODEL 2	Kuřim, PVGIS	19 089
	Bratislava, IWEK	16 472
	Brno, ČHMÚ	12 559
průměr		16 491
směrodatná odchylka		2 831

Tab. č. 19 – Porovnání energetických zisků dle vstupních dat, budova D

Křivky vstupních dat jsou pro srovnání vyobrazeny v grafu **Graf č. 18**. Vzhledem k tomu, že pohledová a současně posuzovaná fasáda je orientovaná na východo-jihovýchod, je nutné jednotlivá vstupní data porovnávat v pravé části grafu. Východní data mají velký rozptyl ročních úhrnů slunečního záření, které se pohybují v rozmezí 460–780 kWh/m². Je proto pochopitelné, že nejvíce odlišné a velmi nízké roční energetické zisky vykázal výpočet z dat ČHMÚ pro Brno. Vzhledem k tomu, že data z tohoto zdroje obecně uvažují vyšší energetické zisky pro západně orientované plochy, výsledná nízká hodnota produkce energie odpovídá předpokladu.



Graf č. 18 – Srovnání vstupních klimatických dat použitých pro budovu D

Ekonomická návratnost fotovoltaické fasády

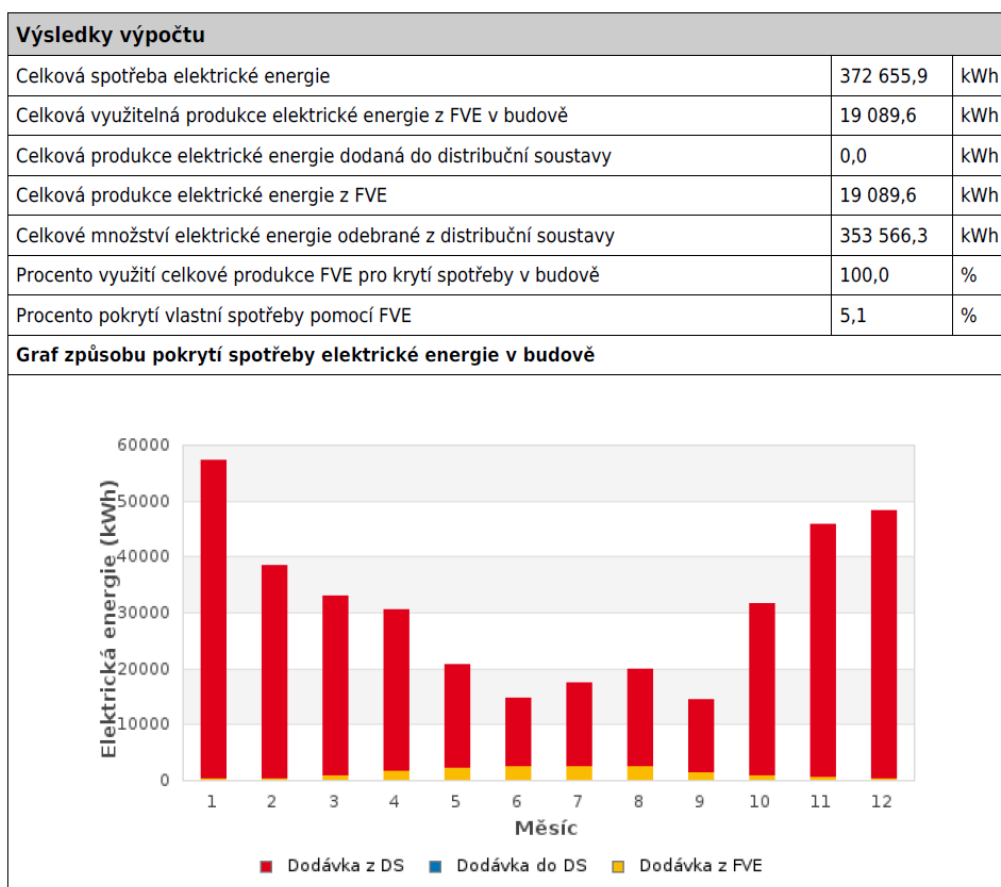
Na celkový výkon fotovoltaického systému 22,3 kW (**Tab. č. 18**) je pro budovu D dostačující jeden střídač v hodnotě 75 000 Kč. Od ceny střídače a ceny za fotovoltaickou fasádu v závislosti na variantách 4 000–12 000 Kč/m² byla odečtena realizovaná cena za odpovídající část fasády (**2**), čímž se stanovila velikost investice oproti realizovanému scénáři (**Tab. č. 20**).

celková plocha s FV kazetami	132	m ²
realizovaná cena za m ² plechové fasády (bez DPH)	1 364	Kč
počet střídačů o výkonu 25 kW	1	ks
celková cena za navržené střídače	75 000	Kč
investice do fasády variantu 4 000 Kč/m ²	422 952	Kč
investice do fasády variantu 6 000 Kč/m ²	686 952	Kč
investice do fasády variantu 8 000 Kč/m ²	950 952	Kč
investice do fasády variantu 10 000 Kč/m ²	1 214 952	Kč
investice do fasády variantu 12 000 Kč/m ²	1 478 952	Kč

Tab. č. 20 – Výpočet investice do fotovoltaické fasády na budově D

Program DEKSOFT počítal podrobnou energetickou bilanci na základě zadané celkové roční spotřeby energie 373 MWh vycházející z podlahové plochy budovy D, která činí 1 256 m² na základě vstupních dat pro Kuřim z PVGIS. Z posouzení denních režimů spotřeby elektřiny a množství vyrobené energie jednotlivými fotovoltaickými fasádami vyšlo výsledné procento využití vyrobené elektřiny přímo v objektu 100 % (**Obr. č. 45**). Protokol z výpočtu programem DEKSOFT je v příloze diplomové práce. Pokrytí vlastní spotřeby však není vysoké, celkově za rok 5,1 %, po měsících v tabulce **Tab. č. 21**. K nejvyšší soběstačnosti budovy dochází v září, kdy vyrobená energie pokryje

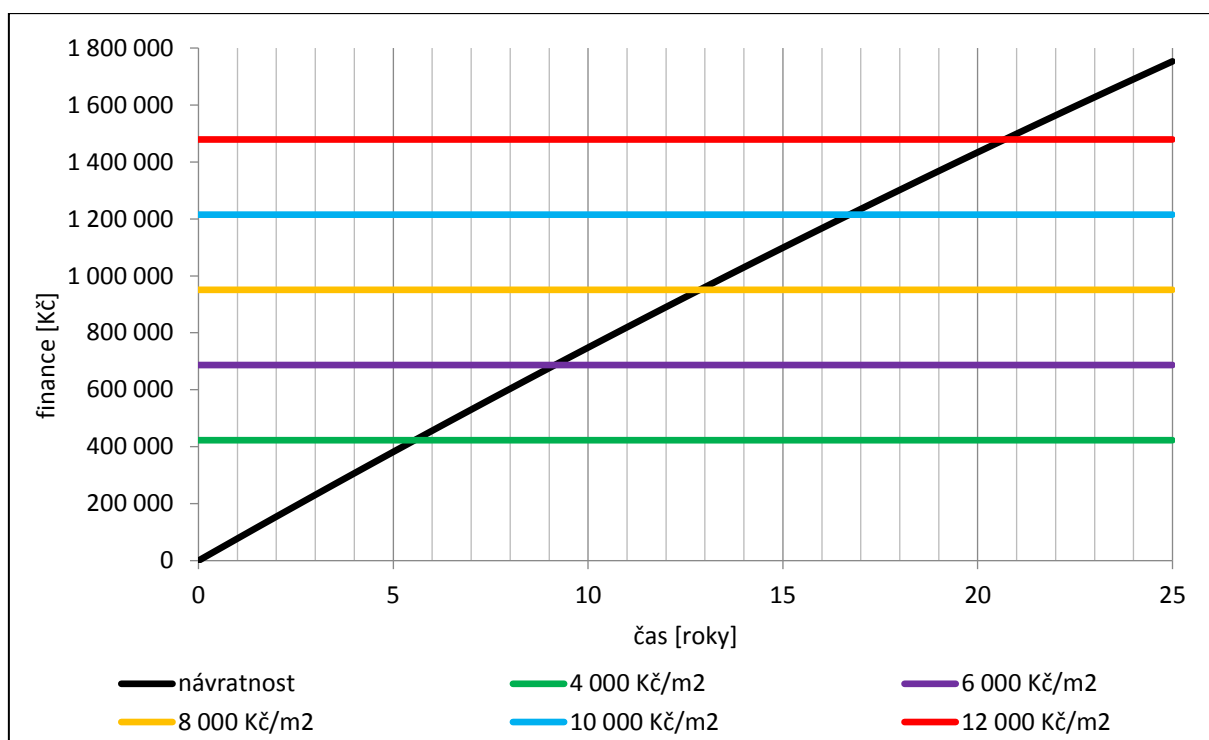
11,9 % potřebné energie budovy D. Objekt by tedy byl schopen spotřebovat energii i větší elektrárny, než je navrhovaná na jeho východní fasádu. Vzhledem blízkosti města Kuřimi k Brnu, pro které je sestaven **Graf č. 10**, lze odhadnout optimální velikost této téměř východní fasády z rovnice pro křivku východní fasády na 187 m². To je téměř jeden a půl násobek posuzované plochy. Pro přesnější optimalizaci by i u budovy D bylo zapotřebí podrobnějšího výpočtu kombinace fasád orientovaných na různé světové strany.



Obr. č. 45 – Výsledky výpočtu programu DEKSOFT, budova D

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
spotřeba E [kWh]	57	39	33	31	21	15	17	20	15	32	46	48
výroba E [kWh]	0,45	0,59	1,19	1,83	2,58	2,80	2,79	2,34	1,73	1,15	0,75	0,57
pokrytí spotřeby [%]	0,78	1,53	3,59	5,98	12,37	19,15	15,97	11,77	11,90	3,64	1,64	1,18

Tab. č. 21 – Vyčíslení schopnosti pokrytí spotřeby energie vyrobenou energií po měsících, budova D



Graf č. 19 – Návrstnost fotovoltacké fasády na budově D

Graf č. 19 znázorňuje návratnost investice do fotovoltackého systému na budově D. Černá křivka představuje růst úspor, potažmo zisků, za nenakoupenou elektrickou energii v letech. Místa křížení černé křivky s barevnými křivkami odrážejícími velikost investice určují dobu návratnosti jednotlivých cenových variant 4 000–12 000 Kč/m². Se vstupními klimatickými daty z databáze PVGIS i poslední vybraná budova D vychází jako návratná pro všechny cenové varianty pořizovací ceny fotovoltacké elektrárny. Kvůli orientaci fotovoltacké fasády téměř na východ by však výpočet návratnosti při použití různých vstupních dat neměl srovnatelný výsledek. Například klimatická data z ČHMÚ stanovila o třetinu nižší produkci elektrické energie oproti datům z PVGIS, což je významný rozdíl. Fotovoltacký systém pořizovaný ve vyšších cenových úrovních by měl při uvažování vstupních klimatických dat z ČHMÚ návratnost větší než 25 let. Detailnější rozpis hodnot vyrobené energie a uspořené financí nebo zisků po jednotlivých letech je v **Tab. č. 22**. Návratnost systému je opět zdůrazněna podbarvením buněk podle toho, zda je v daném roce investor již v oblasti zisků, nebo zatím nikoliv.

rok	pokles výkonu [%]	vyrobená energie [kWh/rok]	návratnost při 4 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 6 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 8 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 10 000 Kč/m ² [Kč]	návratnost při 12 000 Kč/m ² [Kč]
1	0,8	12 459	77 639	77 639	77 639	77 639	77 639
2	1,6	12 358	154 651	154 651	154 651	154 651	154 651
3	2,4	12 258	231 038	231 038	231 038	231 038	231 038
4	3,2	12 157	306 798	306 798	306 798	306 798	306 798
5	4	12 057	381 933	381 933	381 933	381 933	381 933
6	4,8	11 956	456 441	456 441	456 441	456 441	456 441
7	5,6	11 856	530 323	530 323	530 323	530 323	530 323
8	6,4	11 755	603 579	603 579	603 579	603 579	603 579
9	7,2	11 655	676 209	676 209	676 209	676 209	676 209
10	8	11 554	748 212	748 212	748 212	748 212	748 212
11	8,8	11 454	819 590	819 590	819 590	819 590	819 590
12	9,6	11 353	890 342	890 342	890 342	890 342	890 342
13	10,4	11 253	960 467	960 467	960 467	960 467	960 467
14	11,2	11 152	1 029 966	1 029 966	1 029 966	1 029 966	1 029 966
15	12	11 052	1 098 839	1 098 839	1 098 839	1 098 839	1 098 839
16	12,8	10 951	1 167 086	1 167 086	1 167 086	1 167 086	1 167 086
17	13,6	10 851	1 234 707	1 234 707	1 234 707	1 234 707	1 234 707
18	14,4	10 751	1 301 702	1 301 702	1 301 702	1 301 702	1 301 702
19	15,2	10 650	1 368 070	1 368 070	1 368 070	1 368 070	1 368 070
20	16	10 550	1 433 813	1 433 813	1 433 813	1 433 813	1 433 813
21	16,8	10 449	1 498 929	1 498 929	1 498 929	1 498 929	1 498 929
22	17,6	10 349	1 563 420	1 563 420	1 563 420	1 563 420	1 563 420
23	18,4	10 248	1 627 284	1 627 284	1 627 284	1 627 284	1 627 284
24	19,2	10 148	1 690 522	1 690 522	1 690 522	1 690 522	1 690 522
25	20	10 047	1 753 134	1 753 134	1 753 134	1 753 134	1 753 134

Tab. č. 22 – Výpočet návratnosti fotovoltaické fasády na budově D

6.3 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V **Tab. č. 23** jsou shrnuty výsledky výpočtů energetických zisků fotovoltaických fasád z předchozí kapitoly (**kapitola 6.2**). Při jejich vzájemném porovnání a s přihlédnutím ke statistickým hodnotám lze konstatovat, že mají mezi sebou místy podstatné odchylky ve výsledném množství vyprodukované energie. Ty jsou způsobeny především rozdílnými vstupními daty. Během vyhodnocování energetických bilancí v objektech a návratností navrhovaných fotovoltaických fasád byla za nejrelevantnější data považována vstupní klimatická data z databáze PVGIS, jelikož při celkovém porovnání vykazovala konstantně jako jediná výsledky blízké průměru a mediánu.

Samotná návratnost fotovoltaických fasád byla vyhodnocována na základě porovnání vyrobené elektrické energie s předpokládanou spotřebou elektrické energie ve vybraných objektech. Také u tohoto postupu je třeba vzít na vědomí, že se při výpočtech vycházelo ze statisticky vyhodnocených průměrů sledování administrativních objektů, a výsledná spotřeba elektřiny konkrétního objektu bude vždy individuální. Bude totiž záviset na provozu, energetické

náročnosti budovy, včetně jejího technického vybavení a na energetických ztrátách, na regulaci spotřeb energie v rámci denních režimů atd. Právě denní režimy byly opět zvoleny podle konkrétního reprezentanta, kterým byla administrativní budova OC Fenix v Jeseníku. I ty ovšem reflektují celkovou energetickou kondici objektu. Lze však konstatovat, že v celém výpočtu bylo pracováno s hodnotami spíše podceňujícími fotovoltaické systémy, tedy na stranu bezpečnou.

budova	lokalita	orientace	MODEL 1 [kWh]	MODEL 2 [kWh]			průměr [kWh]	medián [kWh]	směrodatná odchylka [kWh]
				ČHMÚ	PVGIS	IWEC			
A	Uherské Hradiště	J	68 754	63 294	76 430	71 096	69 894	69 925	5 447
B	Brno	J	22 305	23 767	21 578	23 187	22 709	22 746	964
C	Karlovy Vary	JZ, JV	82 458	89 050	81 521	68 244	80 318	81 989	8 719
D	Kuřim	VJV	17 842	12 559	19 089	16 472	16 491	17 157	2 831

Tab. č. 23 – Shrnutí výsledků ročních energetických zisků pro různé výpočtové modely a klimatická data

Poslední odhadovanou a současně pro vyhodnocení významnou veličinou byla cena elektrické energie. Přestože jsou ceny elektrické energie závislé na různorodých tarifech a sazbách, které se u jednotlivých dodavatelských a distribučních společností výrazně liší, a nelze jednoznačně predikovat jejich vývoj na energetickém trhu, byl pro analýzu zvolen celorepublikový cenový průměr, a to 4,1 Kč/kWh.

Obecně lze říci, že všechny objekty, které byly v této diplomové práci posuzovány, jsou pro návrh fotovoltaické elektrárny na fasádu budov bez doplňkových zařízení k akumulaci přebytečné energie poměrně vhodné. Jejich posuzované a vyhodnocované fasády jsou všechny nestíněné, orientované ke světovým stranám s vyššími energetickými zisky, a především se jedná o administrativní objekty. Ty mají oproti stavbám pro bydlení a rekreaci ve většině případů odlišný denní režim spotřeb, kdy se nejvíce energie spotřebuje během dne. U rodinných či bytových domů to bývá zpravidla naopak a větší odběr elektrické energie připadá na brzké ranní a následně až odpolední a večerní hodiny. S rozložením výroby energie během dne, znázorněné v grafu (**Graf č. 11**), tedy více koresponduje provoz administrativních budov. Odběr energie v kancelářských budovách je oproti domácnostem relativně konstantní, tedy bez větších výkyvů zapříčiněných spouštěním různých spotřebičů v nepravidelných intervalech.

I přes méně výhodnou pozici fotovoltaických fasád plynoucí z jejich vertikální orientace a z toho vycházejících menších energetických zisků oproti ideální ploše panelů ve sklonu 30°, byla prokázána pozitivní prognóza jejich modelované finanční návratnosti. U všech objektů posuzovaných v této diplomové práci byla stanovena návratnost systému menší než 25 let (**Tab. č.**

24). To je běžně udávaná a mnohdy i výrobci garantovaná životnost fotovoltaických systémů vyrobených z křemíkových článků. Na hranici návratnosti vyšly systémy vyšší cenové kategorie. Zde je ovšem nutné zdůraznit, že s úsporou financí za energii nebyla porovnávána čistá investice. Aby byla posouzena návratnost přidané hodnoty fotovoltaické fasády oproti plechové fasádě nevyužívající dopadající sluneční záření, byla od investice vypočtené z cenových variant odečtena realizovaná cena za plechové opláštění fasády. Pro úplnost jsou v tabulce **Tab. č. 25** uvedeny také délky návratnosti systémů celé počáteční investice bez odpočtu základní fasády. I zde je patrné, že všechny systémy ve všech předpokládaných cenových variantách mají návratnost kratší než 25 let.

budova	návratnost systému v závislosti na cenové variantě fotovoltaické fasády [roky]				
	4 000 [Kč/m ²]	6 000 [Kč/m ²]	8 000 [Kč/m ²]	10 000 [Kč/m ²]	12 000 [Kč/m ²]
A	4,7	8,0	11,2	14,5	17,7
B	4,4	8,1	11,9	15,6	19,3
C	6,2	9,8	13,5	17,2	20,9
D	5,6	9,3	13,1	16,9	20,6

Tab. č. 24 – Návratnost investice fotovoltaické fasády pro vybrané objekty [roky]

budova	návratnost systému v závislosti na cenové variantě fotovoltaické fasády [roky]				
	4 000 [Kč/m ²]	6 000 [Kč/m ²]	8 000 [Kč/m ²]	10 000 [Kč/m ²]	12 000 [Kč/m ²]
A	6,9	10,1	13,4	16,6	19,9
B	8,0	11,7	15,5	19,2	23,0
C	7,9	11,5	15,2	18,9	22,6
D	8,2	11,9	15,7	19,4	23,2

Tab. č. 25 – Návratnost investice fotovoltaické fasády pro vybrané objekty bez odečtu ceny za realizovanou fasádu z plechových kazet [roky]

7 ZÁVĚR

Diplomová práce obecně analyzovala téma fotovoltaických elektráren, a to jednak z pohledu technologií, konstrukcí fotovoltaických článků a panelů, ale také podle možností umístění fotovoltaických systémů na budovách. Nejpodrobněji byly ovšem popsány fotovoltaické aplikace na fasádách, jejich výhody, nevýhody a možnosti.

Pro praktické posouzení na vybraných objektech byla zvolena možnost integrovaných fotovoltaických panelů do fasády, konkrétně technologie krystalických článků na plechové fasádní kazety. Byla stanovena metodika energetického posouzení pro účely fotovoltaických fasádních systémů, ve které byly představeny dva odlišné způsoby výpočtu.

Výpočtový model 1 spočíval v analytickém rozboru jednotlivých vstupních činitelů a jejich vzájemném vyhodnocení. Šlo v podstatě o zjednodušený výpočet energetických zisků z fotovoltaické fasády, do kterého vstupovala data ročního součtu globálního slunečního záření dopadajícího na plochu o sklonu 90° v závislosti na její orientaci vůči světovým stranám spolu s účinnostmi článků a ztrátami. Tento výpočet byl brán spíše jako orientační, jelikož do množství skutečně vyrobené elektrické energie vstupuje více faktorů.

Přesnější výpočet byl proveden pomocí online programu DEKSOFT. Tímto výpočtovým modelem 2 bylo možné na základě vstupních klimatických dat nejen stanovit energetické zisky mnohem podrobněji než celoročně, ale také posoudit využitelnost vyrobené energie přímo ve vyhodnocované budově.

Návratnost fotovoltaické elektrárny byla stanovena porovnáním odhadu finanční úspory nákladů za elektrickou energii neodebranou z distribuční sítě a počáteční investice do fotovoltaického systému s odpočtem ceny za běžnou fasádu. Návratnost byla posuzovaná v horizontu 25 let, což je běžně udávaná životnost fotovoltaických systémů.

U obou dvou způsobů výpočtu energetických zisků, stejně jako u výpočtu návratnosti vložených investičních prostředků však došlo také k nutnému odhadování a zobecňování používaných dat. Rozporuplná byla už vstupní klimatická data a bylo také uvažováno s průměrnými hodnotami ceny elektrické energie a spotřeby elektřiny v administrativních objektech. Data denních režimů byla sice dostatečně podrobná, ale převzatá pouze z jednorozměrného měření jednoho reprezentativního objektu. Z těchto důvodů nelze považovat výsledky za absolutně platné, ale je nutné jejich ověření pro každý objekt individuálně.

Pro názornost byly tyto technicko-ekonomické výpočty a analýzy provedeny na čtyřech vybraných objektech. Jednalo se o existující administrativní objekty s nestíněnou plechovou

fasádou a pro posouzení vhodnosti aplikace fotovoltaické elektrárny byly vybrány vždy fasády směřující k jihu, jihovýchodu či jihozápadu. Výpočet energetických zisků jak analyticky, tak softwarově využil všechna dostupná klimatická data. Pro následné posouzení byla jako nejrelevantnější vyhodnocena data z databáze PVGIS. U všech budov byla aplikace vyhodnocena jako vhodná především díky dennímu režimu provozu administrativního objektu, který svým denním režimem spotřeby elektrické energie umožňuje prakticky okamžitou spotřebu energie právě vyrobené fotovoltaickou elektrárnou. Rozložení výroby a spotřeby energie během dne spolu tedy koresponduje a není zapotřebí přebytečnou energii ukládat do akumulčních soustav, které s sebou nesou nutnost dalších návrhů technických řešení a investic.

Pro vyhodnocení vhodnosti a efektivity fotovoltaických fasád na konkrétních objektech byl vytvořen také graf zobrazující hranici mezi fotovoltaickou elektrárnou produkující přebytky a elektrárnou, jejíž vyrobenou energii je objekt přímo schopen spotřebovat. Tato hranice je závislá na podlahové ploše administrativní budovy, od které je odvislé předpokládané množství energie pro potřeby objektu a na orientaci potenciální fotovoltaické fasády vůči světovým stranám.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. *Fotovoltaické systémy: energetická příručka pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost*. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- [2] PEXOVÁ, Jana, Ladislav ŠTĚPÁNEK a Antonín FAJKOŠ. *Vybrané stati z pozemního stavitelství*. Brno, 2008.
- [3] Transparent Solar Panels. *YouTube* [online]. 27. 7. 2017 [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=qrZHKBOpy6Y>
- [4] Solar energy that doesn't block the view. *Michigan state university* [online]. 19. 8. 2014 [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://msutoday.msu.edu/news/2014/solar-energy-that-doesnt-block-the-view/>
- [5] Průměrná cena za 1 kWh elektřiny. *Elektrina.cz* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://www.elektrina.cz/srovnani-cen-elektriny?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=elektrina_tarify&utm_campaign=SE_elektrina_cz_presna&gclid=EAlalQobChMI5Jbt4oO04AIVExoYCh3B5wKVEAAYASAAEgJRbfD_BwE
- [6] Porovnání produktů na výkup přebytku z fotovoltaické elektrárny pro domácnosti. *Tzbinfo* [online]. 2018 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/17698-porovnani-produktu-na-vykup-prebytku-z-fotovoltaicke-elektrarny-pro-domacnosti>
- [7] Nejvíce plynáme o státních svátcích. *Enectiva* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.enectiva.cz/cs/blog/2015/06/nejvice-plytvame-o-statnich-svatcich/>
- [8] UCEEB – dvouletý provoz OC FENIX. *FENIX* [online]. [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.fenixgroup.cz/cs/aktuality/uceeb-dvoulety-provoz-oc-fenix>
- [9] OC Fenix – přehled spotřeby energie prvního roku provozu budovy. *Tzbinfo* [online]. 15.10.2018 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-elektρινou/18057-oc-fenix-prehled-spotreby-energie-prvniho-roku-provozu-budovy>
- [10] *Photovoltaic geographical information system* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP
- [11] EnergyPlus. *EnergyPlus* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6
- [12] Bacteria-Powered Solar Cells Are Ideal for Cloudy Climates. *ASME* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/energy/bacteriapowered-solar-cells-ideal-cloudy-climates>
- [13] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2000, částka 131, číslo 458. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>

- [14] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2016, částka 3, číslo 8. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-8>
- [15] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2016, částka 7, číslo 16. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-16>
- [16] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2012, částka 59, číslo 165. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>
- [17] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška o technicko-ekonomických parametrech pro stanovení výkupních cen pro výrobu elektřiny a zelených bonusů na teplo a o stanovení doby životnosti výroben elektřiny a výroben tepla z obnovitelných zdrojů energie. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2015, částka 124, číslo 296. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-296>
- [18] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o územním plánování a stavebním řádu. In: *Sbírka zákonů*. ročník 2006, částka 63, číslo 183. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>

Obrázky:

- [19] What is Difference between monocrystalline polycrystalline and Amorphous thin film solar cell?. *Sunflower solar* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: http://www.sunflower-solar.com/index.php?act=attach&attach_id=543
- [20] Compatible roof profiles: espan™ 470 profile. *Metalcraft New Zeland* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://d1ki6btnkpb1pf.cloudfront.net/24788/pvlaminates651x393.jpg>
- [21] Schéma křemíkového PV článku. *AGROjournal.cz* [online]. 18. 5. 2016 [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://www.agrojournal.cz/images/resized/2016/1024x800-fit/01z3-fotovoltaika-8.jpg>
- [22] What are the pros and cons of solar energy? Here's everything you need to know. *ZME Science* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://cdn.zmescience.com/wp-content/uploads/2015/05/bigstock-Solar-Panel-On-A-Red-Roof-14532428.jpg>
- [23] Roof-Integrated Solar Panels. *Romag* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://www.romag.co.uk/media/129197/roof-integrated-product-1.jpg>
- [24] K2 D-DOME. *ArchiExpo* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: http://img.archiexpo.it/images_ae/photo-g/70009-12136140.jpg
- [25] EVALON® Solardachbahnen. *Alwitra* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: https://alwitra.de/wp-content/uploads/2016/08/Referenz_Glafey.jpg

- [26] Sunpreme Double-Glass Frameless Solar Panel. *Alibaba.com* [online]. [cit. 2019-02-11].
Dostupné z: https://sc02.alicdn.com/kf/HTB1wD_9KpXXXayXpXXq6xXFXxu/Sunpreme-Double-Glass-Frameless-Solar-Panel.jpg
- [27] PV Glass Facade. *IndiaMART* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://4.imimg.com/data4/DK/MI/GLADMIN-3574242/wp-content/uploads-2015-08-solar-facade-kran-500x500.jpg>
- [28] Heliatek. *PV Tech* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: https://www.pv-tech.org/images/made/assets/images/editorial/Engie_Laborelec_Heliatek_750_398_80_s.jpg
- [29] Nutzen Sie die Photovoltaik als architektonisches Gestaltungselement. *Eigenmann AG* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: https://eigenmann-ag.ch/images/sidebar/solar/solar_solarfassade.jpg
- [30] CIGS facade at the building of ZSW in Stuttgart. *Pv Europe* [online]. [cit. 2019-02-11].
Dostupné z: https://www.pveurope.eu/var/pepper/storage/images/news/solar-generator/optimize-solar-facades/37590-1-eng-GB/Optimize-solar-facades_full.jpg
- [31] *Instyle Solar* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://instylesolar.com/wp-content/uploads/2018/06/Instyle-Solar-Building-Integrated-Photovoltaics-Color-1.jpg>
- [32] Solar facade. *Flickr* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: https://c1.staticflickr.com/7/6024/5964294206_8e1e34fe28_b.jpg
- [33] Sweden Research Center retrofits office building using Kromatix™. *Swiss/NSO* [online]. [cit. 2019-02-11].
Dostupné z: <http://static1.squarespace.com/static/59f3bdb10abd046932694051/t/5a18efc1e4966b1342c66cc6/1519182917040/Sweden+Research+Institute+%28002%29.jpg?format=1500w>
- [34] Photovoltaic Building Facade for University of Cantabria. *Louis Berger* [online]. [cit. 2019-02-11].
Dostupné z: https://www.louisberger.com/sites/default/files/styles/project_slider/public/PVFacade_2.jpg?itok=iRR6WVQj
- [35] *ArchiExpo* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: http://img.archiexpo.fr/images_ae/photo-g/155426-11006048.jpg
- [36] Autogames. *DEKMETAL* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://dekmetal.cz/data/images/reference/52/20130722-094500.jpg>
- [37] OC Fenix. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.tzbinfo.cz/docu/clanky/0180/018057og.jpg>
- [38] AB Veselý. *DEKMETAL* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://dekmetal.cz/data/images/reference/74/img-4473.jpg>

- [39] Podnikatelský inkubátor. *DEKMETAL* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://dekmetal.cz/data/images/reference/145/p1220905.jpg>
- [40] Steinex. *DEKMETAL* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://dekmetal.be/data/images/references/11/1500/1.jpg>
- [41] Globální horizontální záření Česká republika. *Wikipedie* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/SolarGIS-Solar-map-Czech-Republic-cz.png>
- [42] Globální horizontální záření Evropa. *Wikipedie* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/SolarGIS-Solar-map-Europe-cz.png>
- [43] *Energetické ztráty vlivem sklonu a orientaci panelů* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: http://www.dzd-fv.cz/images/nove_obrazky/zavesne_ohrivace/energeticke_ztraty-Model.png
- [44] Průběh slunečního ozáření při jasném dni. In: *Tzbinfo* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0042/004214o4.gif>
- [45] Celkový podíl dílčích spotřeb energie v půlročním souhrnu za 07/2016–06/2017. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/docu/clanky/0180/018057o3.jpg>
- [46] Mapa ČR. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://mapy.cz/s/3sqcc>
- [47] PV facade. *PVdatabase* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: http://www.pvdatabase.org/images_db/Integrated_PV_in_standard_facade_covering.jpg

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 – Roční statistické údaje spotřeby administrativních objektů [7]	40
Tab. č. 2 – Varianty cen za fotovoltaickou fasádu	45
Tab. č. 3 – Výpočet fotovoltaické fasády na budově A, výpočtový model 1	51
Tab. č. 4 – Porovnání energetických zisků dle vstupních dat, budova A	51
Tab. č. 5 – Výpočet investice do fotovoltaické fasády na budově A	52
Tab. č. 6 – Vyčíslení schopnosti pokrytí spotřeby energie vyrobenou energií po měsících, budova A	53
Tab. č. 7 – Výpočet návratnosti fotovoltaické fasády na budově A	54
Tab. č. 8 – Výpočet fotovoltaické fasády na budově B, výpočtový model 1	56
Tab. č. 9 – Porovnání energetických zisků dle vstupních dat, budova B	56
Tab. č. 10 – Výpočet investice do fotovoltaické fasády na budově B	57
Tab. č. 11 – Vyčíslení schopnosti pokrytí spotřeby energie vyrobenou energií po měsících, budova B	58
Tab. č. 12 – Výpočet návratnosti fotovoltaické fasády na budově B	59
Tab. č. 13 – Výpočet fotovoltaické fasády na budově C, výpočtový model 1	62
Tab. č. 14 – Porovnání energetických zisků dle vstupních dat, budova C	62
Tab. č. 15 – Výpočet investice do fotovoltaické fasády na budově C	63

Tab. č. 16 – Vyčíslení schopnosti pokrytí spotřeby energie vyrobenou energií po měsících, budova C	64
Tab. č. 17 – Výpočet návratnosti fotovoltaické fasády na budově C.....	66
Tab. č. 18 – Výpočet fotovoltaické fasády na budově D, výpočtový model 1	68
Tab. č. 19 – Porovnání energetických zisků dle vstupních dat, budova D	68
Tab. č. 20 – Výpočet investice do fotovoltaické fasády na budově D	69
Tab. č. 21 – Vyčíslení schopnosti pokrytí spotřeby energie vyrobenou energií po měsících, budova D	70
Tab. č. 22 – Výpočet návratnosti fotovoltaické fasády na budově D	72
Tab. č. 23 – Shrnutí výsledků ročních energetických zisků pro různé výpočtové modely a klimatická data	73
Tab. č. 24 – Návratnost investice fotovoltaické fasády pro vybrané objekty [roky]	74
Tab. č. 25 – Návratnost investice fotovoltaické fasády pro vybrané objekty bez odečtu ceny za realizovanou fasádu z plechových kazet [roky].....	74

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 – Roční úhrny globálního záření pro plochu o sklonu 90° (WUFI, [1])	31
Graf č. 2 – Roční úhrny globálního záření pro plochu o sklonu 90° (PVGIS, ČHMÚ, WUFI)	32
Graf č. 3 – Roční úhrny globálního záření pro plochu o sklonu 90° (IWEK, [1])	32
Graf č. 4 – Roční úhrn slunečního záření (Brno, Atelier DEK)	34
Graf č. 5 – Poměry spotřeb elektrické energie	42
Graf č. 6 – Poměry výrob elektrické energie	42
Graf č. 7 – Porovnání ročního rozdělení spotřeby a výroby elektrické energie, jižní FV fasáda, Brno	42
Graf č. 8 – Denní režimy v závislosti na ročním období	44
Graf č. 9 – Zjednodušené denní režimy spotřeby elektrické energie vybraných měsíců	44
Graf č. 10 – Hranice využitelnosti vyrobené energie pro vlastní spotřebu.....	47
Graf č. 11 – Typický den s nízkou spotřebou elektřiny (modrá) a vysokým množstvím vyrobené energie (červená)	48
Graf č. 12 – Srovnání vstupních klimatických dat použitých pro budovu A.....	51
Graf č. 13 – Návratnost fotovoltaické fasády na budově A.....	53
Graf č. 14 – Srovnání vstupních klimatických dat použitých pro budovu B.....	56
Graf č. 15 – Návratnost fotovoltaické fasády na budově B.....	58
Graf č. 16 – Srovnání vstupních klimatických dat použitých pro budovu C.....	63
Graf č. 17 – Návratnost fotovoltaické fasády na budově C.....	65
Graf č. 18 – Srovnání vstupních klimatických dat použitých pro budovu D	69

Graf č. 19 – Návratnost fotovoltaické fasády na budově D	71
--	----

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 – Modifikovaný krystal křemíku [1]	13
Obr. č. 2 – Monokrystalický fotovoltaický článek [19]	14
Obr. č. 3 – Multikrystalický fotovoltaický článek [19]	14
Obr. č. 4 – Tenkovrstvý fotovoltaický článek [20]	15
Obr. č. 5 – Srovnání produkce fotovoltaických článků [1]	17
Obr. č. 6 – Konstrukce fotovoltaického článku [21]	18
Obr. č. 7 – Příklady konstrukcí fotovoltaických panelů [1]	20
Obr. č. 8 – Schémata možných umístění fotovoltaické elektrárny na budově [1]	20
Obr. č. 9 – Aditivní systém na šikmé střeše [22]	21
Obr. č. 10 – Integrovaný systém na šikmé střeše [23]	21
Obr. č. 11 – Aditivní systém na ploché střeše [24]	21
Obr. č. 12 – Integrovaný systém na ploché střeše [25]	21
Obr. č. 13 – Integrovaný systém v ploché střeše [26]	21
Obr. č. 14 – Přibližné rozdělení dopadu slunečního záření dle sklonu a orientace plochy 78 [43].	26
Obr. č. 15 – Aditivní systém z křemíkových článků [27]	27
Obr. č. 16 – Aditivní systém z tenkovrstvých článků [28]	27
Obr. č. 17 – Integrovaný systém z křemíkových článků [29]	27
Obr. č. 18 – Integrovaný systém z tenkovrstvých článků [30]	27
Obr. č. 19 – Barevné úpravy křemíkových článků [31]	27
Obr. č. 20 – Barevné multikrystalické články na fasádě [32]	27
Obr. č. 21 – Barevné tenkovrstvé články na fasádě [33]	28
Obr. č. 22 – Horizontální slunolam s fotovoltaikou [34]	28
Obr. č. 23 – Vertikální slunolam s fotovoltaikou [35]	28
Obr. č. 24 – Roční úhrn globálního záření pro Vídeň [$\text{kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$] [33]	30
Obr. č. 25 – Roční úhrn globálního záření pro Berlín [$\text{kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$] [33]	30
Obr. č. 26 – Roční úhrn globálního záření pro Hradec Králové (WUFI)	30
Obr. č. 27 – Ideální průběh slunečního záření při jasném dni [44]	34
Obr. č. 28 – Globální horizontální záření, Evropa [42]	35
Obr. č. 29 – Globální horizontální záření, Česká republika [41]	36
Obr. č. 30 – Integrace fotovoltaických článků do plechové fasády [47]	37
Obr. č. 31 – Uspořádání fotovoltaických článků v ploše velikosti 1 m^2	37

Obr. č. 32 – Poměry ročních spotřeb energií v OC Fenix podle druhů spotřebičů [45]	40
Obr. č. 33 – Office centrum Fenix, Jeseník [37]	41
Obr. č. 34 – Vzájemná poloha posuzovaných budov [46]	49
Obr. č. 35 – Jižní fasáda budovy A [77]	50
Obr. č. 36 – Výsledky výpočtu programu DEKSOFT, budova A	52
Obr. č. 37 – Jižní fasáda budovy B [38]	55
Obr. č. 38 – Výsledky výpočtu programu DEKSOFT, budova B	57
Obr. č. 39 – Jihovýchodní a severovýchodní fasáda budovy C [39]	60
Obr. č. 40 – Jihovýchodní a jihozápadní fasáda budovy C	61
Obr. č. 41 – Orientace fasád budovy C	61
Obr. č. 42 – Výsledky výpočtu programu DEKSOFT, budova C	64
Obr. č. 43 – Východní fasáda budovy D [40]	67
Obr. č. 44 – Orientace fasády budovy D	67
Obr. č. 45 – Výsledky výpočtu programu DEKSOFT, budova D	70

SEZNAM ZKRATEK

FV	fotovoltaika, fotovoltaický
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
IWEC	International Weather for Energy Calculation
J	jih
V	východ
Z	západ
JV	jihovýchod
JZ	jihozápad
VJV	východo-jihovýchod

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1:	Výpočetní protokol DEKSOFT, budova A
Příloha č. 2:	Výpočetní protokol DEKSOFT, budova B
Příloha č. 3:	Výpočetní protokol DEKSOFT, budova C
Příloha č. 4:	Výpočetní protokol DEKSOFT, budova D

Příloha č. 1 – Výpočetní protokol DEKSOFT, budova A

Výpočet produkce fotovoltaické elektrárny

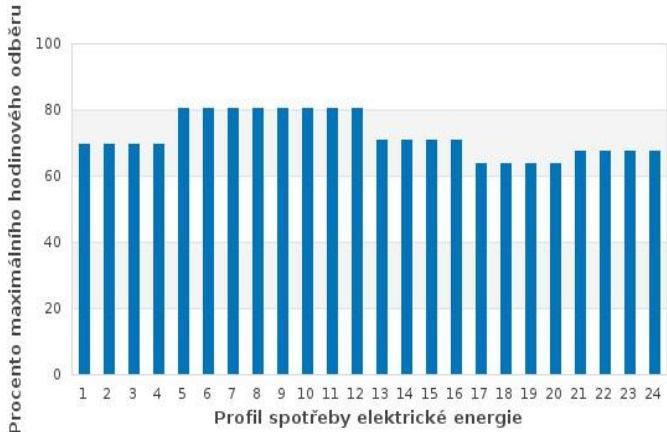
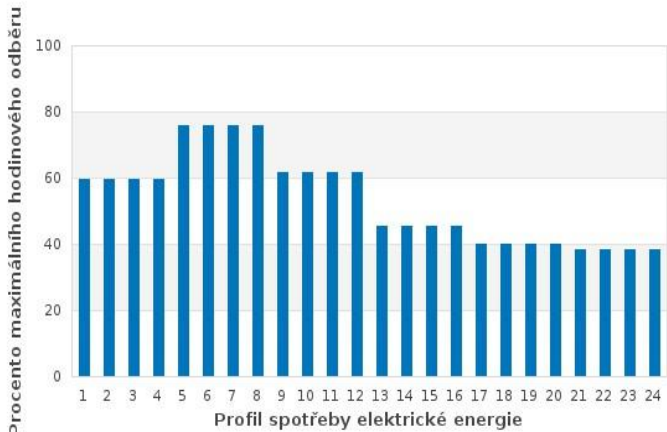
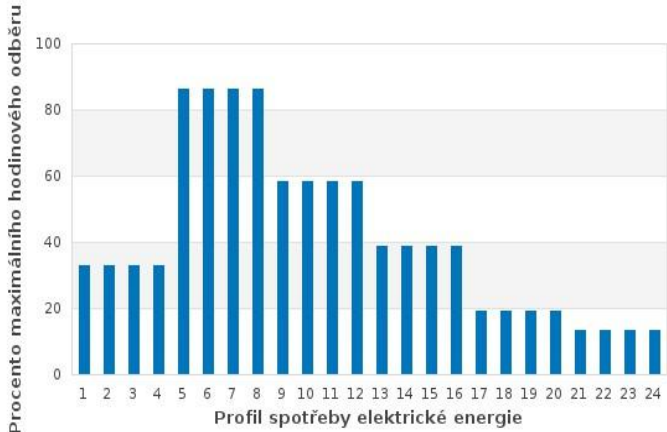
Název budovy:	Autogames
Ulice:	- -
PSČ:	-
Město:	Uherské Hradiště

Výpočetní nástroj:	DEKSOFT FVE 1.2.8
Výpočtové jádro:	EnergyPlus verze 8.5
Bližší informace na:	www.deksoft.eu

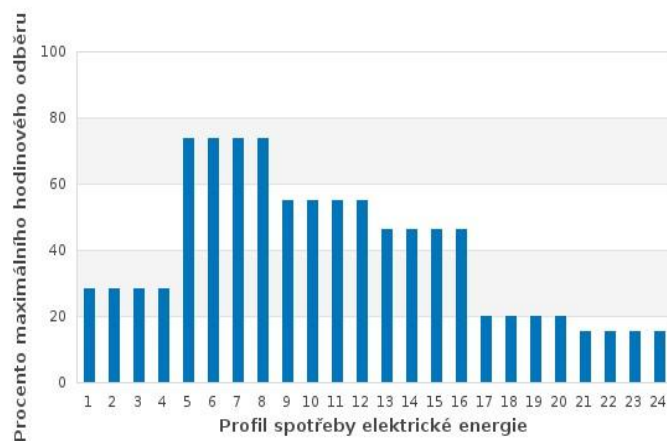
Typ zařízení	
Typ zařízení:	FVE s měničem

Měnič		
Název:	Měnič - zjednodušené	
Kód SVT:		
Způsob zadání:	Zjednodušené	
Účinnost měniče:	97	%

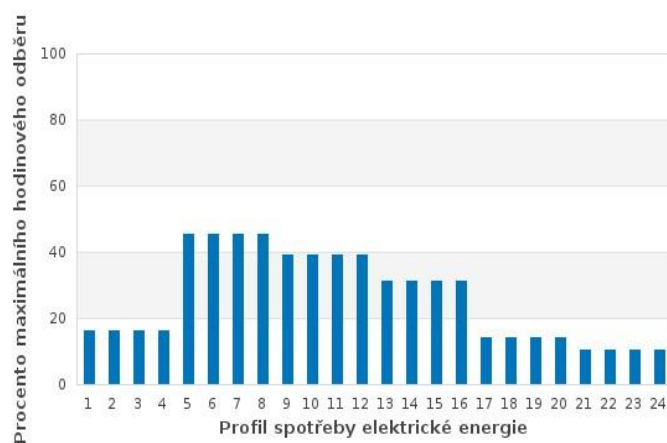
Parametry výpočtu		
Výpočet:	Celoroční	
Časový krok výpočtu	10 minut	
Počáteční měsíc výpočtu:	1	
Počáteční den měsíce výpočtu:	1	
Koncový měsíc výpočtu:	12	
Koncový den měsíce výpočtu:	31	
Počet let ve výpočtu:	1	
Ohmické ztráty v rozvodech:	1	%
Klimatická data pro výpočet:	Vlastní soubor klimatických dat	
Způsob stanovení geometrie:	Zjednodušený	
Způsob řízení výroby FVE:	Maximální produkce	
Pozn.: Výpočet je proveden bez vlivu zastínění fotovoltaických panelů.		

Profil spotřeby elektrické energie																																																				
Maximální odběr elektrické energie	829010	W																																																		
Způsob stanovení profilu odběru elektrické energie	Typický den (jeden v měsíci)																																																			
Leden																																																				
Procento maximálního hodinového odběru <table><caption>Profil spotřeby elektrické energie - Leden</caption><thead><tr><th>Profil spotřeby elektrické energie</th><th>Procento maximálního hodinového odběru</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>70</td></tr><tr><td>2</td><td>70</td></tr><tr><td>3</td><td>70</td></tr><tr><td>4</td><td>70</td></tr><tr><td>5</td><td>80</td></tr><tr><td>6</td><td>80</td></tr><tr><td>7</td><td>80</td></tr><tr><td>8</td><td>80</td></tr><tr><td>9</td><td>80</td></tr><tr><td>10</td><td>80</td></tr><tr><td>11</td><td>80</td></tr><tr><td>12</td><td>80</td></tr><tr><td>13</td><td>70</td></tr><tr><td>14</td><td>70</td></tr><tr><td>15</td><td>70</td></tr><tr><td>16</td><td>70</td></tr><tr><td>17</td><td>65</td></tr><tr><td>18</td><td>65</td></tr><tr><td>19</td><td>65</td></tr><tr><td>20</td><td>65</td></tr><tr><td>21</td><td>70</td></tr><tr><td>22</td><td>70</td></tr><tr><td>23</td><td>70</td></tr><tr><td>24</td><td>70</td></tr></tbody></table>			Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru	1	70	2	70	3	70	4	70	5	80	6	80	7	80	8	80	9	80	10	80	11	80	12	80	13	70	14	70	15	70	16	70	17	65	18	65	19	65	20	65	21	70	22	70	23	70	24	70
Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru																																																			
1	70																																																			
2	70																																																			
3	70																																																			
4	70																																																			
5	80																																																			
6	80																																																			
7	80																																																			
8	80																																																			
9	80																																																			
10	80																																																			
11	80																																																			
12	80																																																			
13	70																																																			
14	70																																																			
15	70																																																			
16	70																																																			
17	65																																																			
18	65																																																			
19	65																																																			
20	65																																																			
21	70																																																			
22	70																																																			
23	70																																																			
24	70																																																			
Únor																																																				
Procento maximálního hodinového odběru <table><caption>Profil spotřeby elektrické energie - Únor</caption><thead><tr><th>Profil spotřeby elektrické energie</th><th>Procento maximálního hodinového odběru</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>60</td></tr><tr><td>2</td><td>60</td></tr><tr><td>3</td><td>60</td></tr><tr><td>4</td><td>60</td></tr><tr><td>5</td><td>75</td></tr><tr><td>6</td><td>75</td></tr><tr><td>7</td><td>75</td></tr><tr><td>8</td><td>75</td></tr><tr><td>9</td><td>62</td></tr><tr><td>10</td><td>62</td></tr><tr><td>11</td><td>62</td></tr><tr><td>12</td><td>62</td></tr><tr><td>13</td><td>45</td></tr><tr><td>14</td><td>45</td></tr><tr><td>15</td><td>45</td></tr><tr><td>16</td><td>45</td></tr><tr><td>17</td><td>40</td></tr><tr><td>18</td><td>40</td></tr><tr><td>19</td><td>40</td></tr><tr><td>20</td><td>40</td></tr><tr><td>21</td><td>38</td></tr><tr><td>22</td><td>38</td></tr><tr><td>23</td><td>38</td></tr><tr><td>24</td><td>38</td></tr></tbody></table>			Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru	1	60	2	60	3	60	4	60	5	75	6	75	7	75	8	75	9	62	10	62	11	62	12	62	13	45	14	45	15	45	16	45	17	40	18	40	19	40	20	40	21	38	22	38	23	38	24	38
Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru																																																			
1	60																																																			
2	60																																																			
3	60																																																			
4	60																																																			
5	75																																																			
6	75																																																			
7	75																																																			
8	75																																																			
9	62																																																			
10	62																																																			
11	62																																																			
12	62																																																			
13	45																																																			
14	45																																																			
15	45																																																			
16	45																																																			
17	40																																																			
18	40																																																			
19	40																																																			
20	40																																																			
21	38																																																			
22	38																																																			
23	38																																																			
24	38																																																			
Březen																																																				
Procento maximálního hodinového odběru <table><caption>Profil spotřeby elektrické energie - Březen</caption><thead><tr><th>Profil spotřeby elektrické energie</th><th>Procento maximálního hodinového odběru</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>32</td></tr><tr><td>2</td><td>32</td></tr><tr><td>3</td><td>32</td></tr><tr><td>4</td><td>32</td></tr><tr><td>5</td><td>85</td></tr><tr><td>6</td><td>85</td></tr><tr><td>7</td><td>85</td></tr><tr><td>8</td><td>85</td></tr><tr><td>9</td><td>58</td></tr><tr><td>10</td><td>58</td></tr><tr><td>11</td><td>58</td></tr><tr><td>12</td><td>58</td></tr><tr><td>13</td><td>38</td></tr><tr><td>14</td><td>38</td></tr><tr><td>15</td><td>38</td></tr><tr><td>16</td><td>38</td></tr><tr><td>17</td><td>18</td></tr><tr><td>18</td><td>18</td></tr><tr><td>19</td><td>18</td></tr><tr><td>20</td><td>18</td></tr><tr><td>21</td><td>12</td></tr><tr><td>22</td><td>12</td></tr><tr><td>23</td><td>12</td></tr><tr><td>24</td><td>12</td></tr></tbody></table>			Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru	1	32	2	32	3	32	4	32	5	85	6	85	7	85	8	85	9	58	10	58	11	58	12	58	13	38	14	38	15	38	16	38	17	18	18	18	19	18	20	18	21	12	22	12	23	12	24	12
Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru																																																			
1	32																																																			
2	32																																																			
3	32																																																			
4	32																																																			
5	85																																																			
6	85																																																			
7	85																																																			
8	85																																																			
9	58																																																			
10	58																																																			
11	58																																																			
12	58																																																			
13	38																																																			
14	38																																																			
15	38																																																			
16	38																																																			
17	18																																																			
18	18																																																			
19	18																																																			
20	18																																																			
21	12																																																			
22	12																																																			
23	12																																																			
24	12																																																			

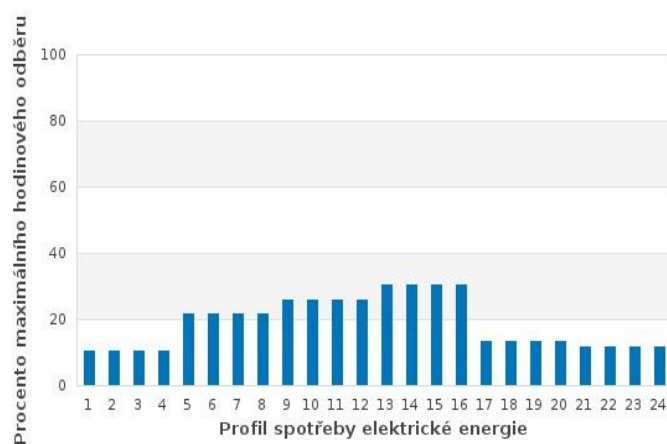
Duben



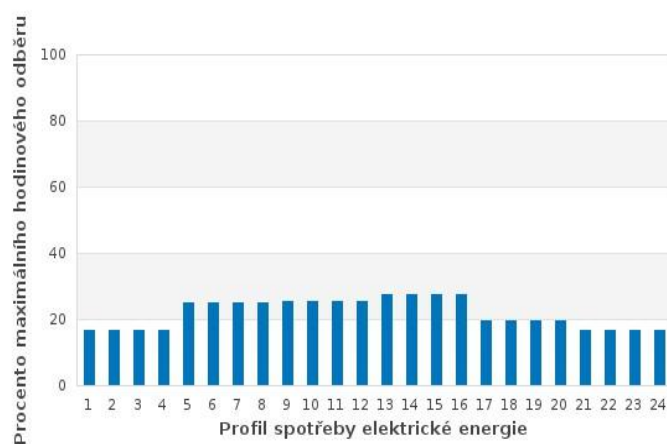
Květen



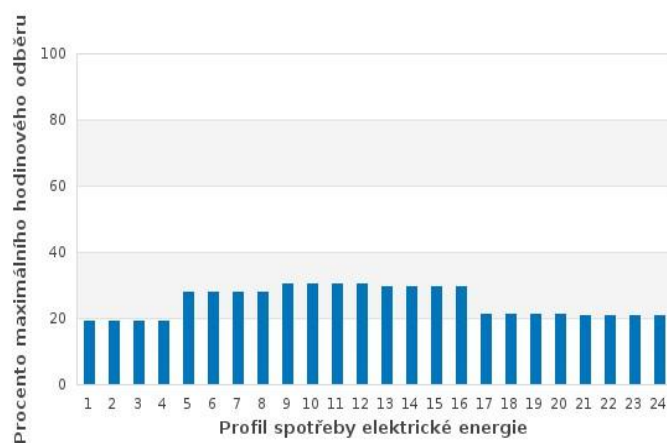
Červen



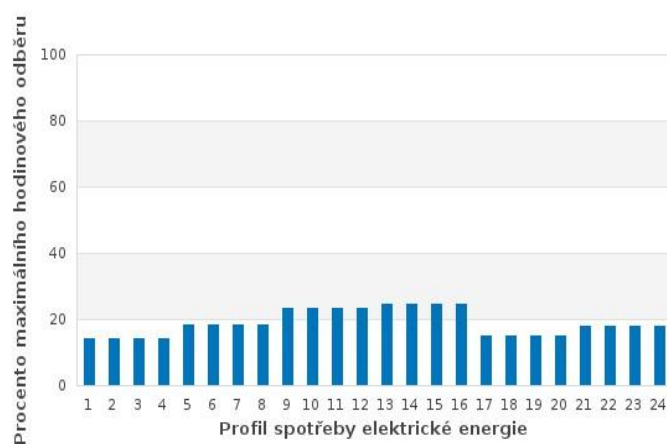
Červenec



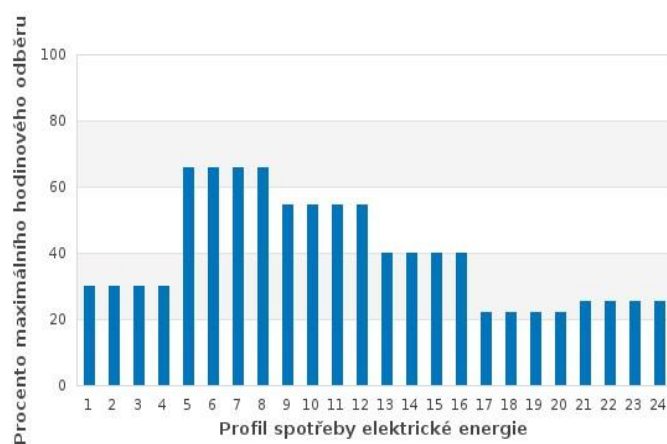
Srpen



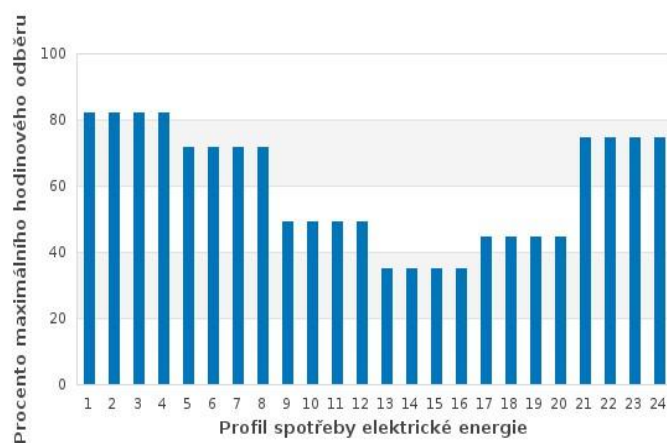
Září



Říjen



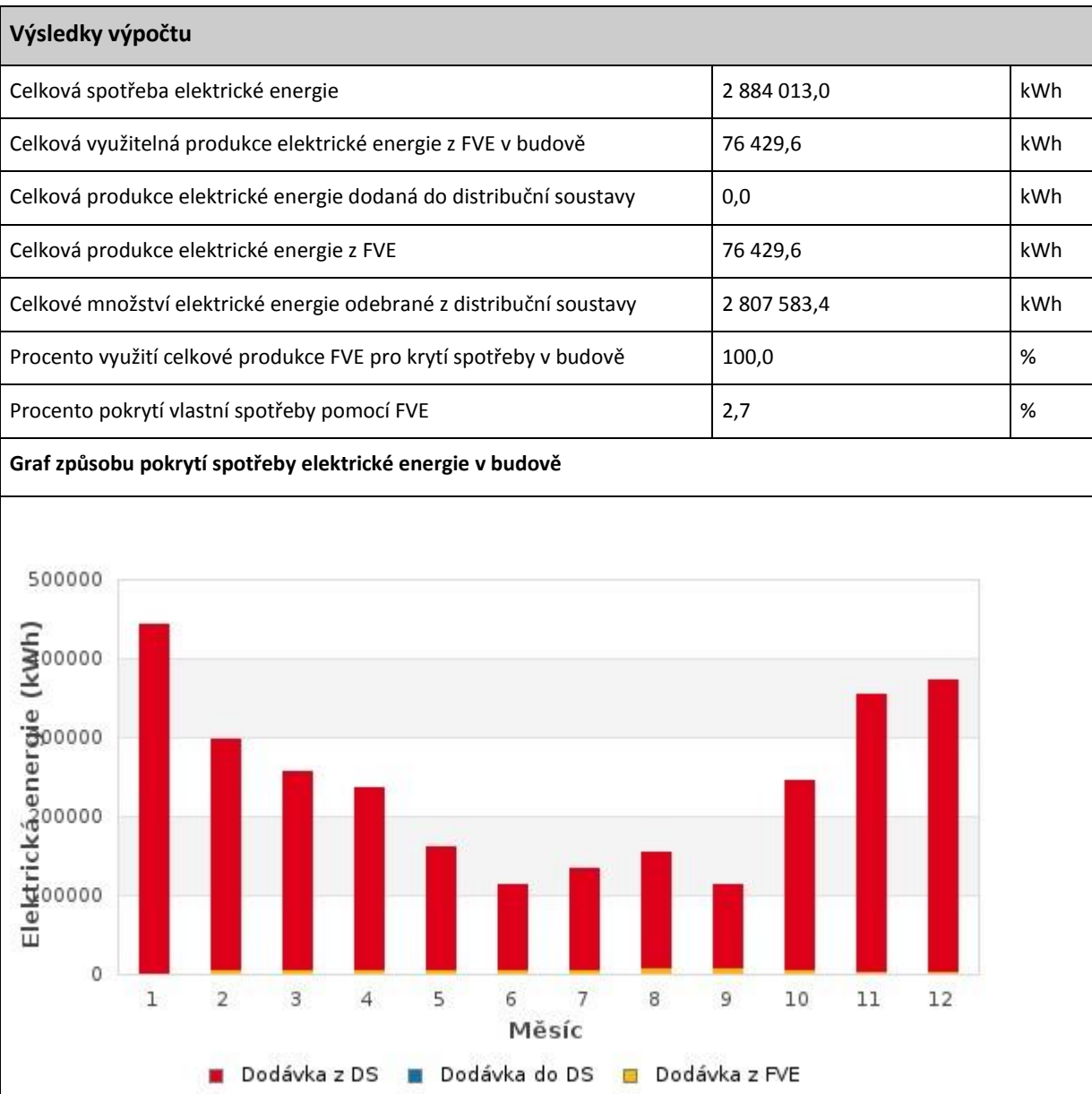
Listopad



Prosinec



Fotovoltaické panely		
FVE-1:		
Orientace:	180	°
Sklon:	90	°
Délka:	20	m
Výška:	22.69	m
Počet paralelně zapojených řad modulů:	1	ks
Počet sériově zapojených modulů v jedné řadě	16460	ks
Celkový počet modulů:	16460	ks
Kód SVT:		
Způsob stanovení účinnosti panelu:	Zjednodušené	
Procento plochy aktivních článků z plochy panelu:	88	%
Účinnost fotovoltaických panelů:	20	%
Jmenovitý výkon modulu:	5	W
Celkový jmenovitý výkon:	65 840	W



Příloha č. 2 – Výpočetní protokol DEKSOFT, budova B

Výpočet produkce fotovoltaické elektrárny

Název budovy:	AB Veselý
Ulice:	- -
PSČ:	-
Město:	Karlovy Vary

Výpočetní nástroj:	DEKSOFT FVE 1.2.8
Výpočtové jádro:	EnergyPlus verze 8.5
Bližší informace na:	www.deksoft.eu

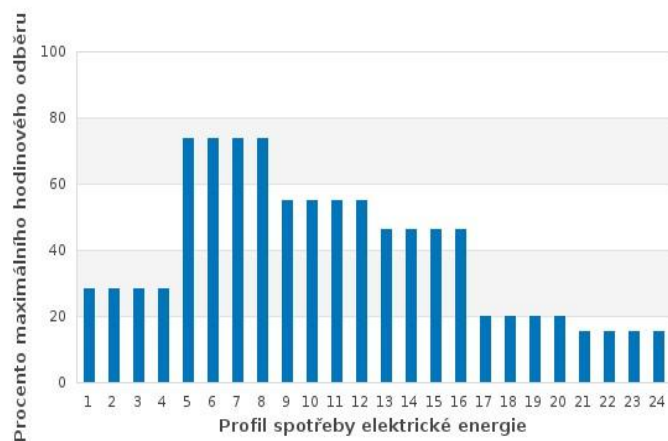
Typ zařízení	
Typ zařízení:	FVE s měničem

Měnič		
Název:	Měnič - zjednodušené	
Kód SVT:		
Způsob zadání:	Zjednodušené	
Účinnost měniče:	97	%

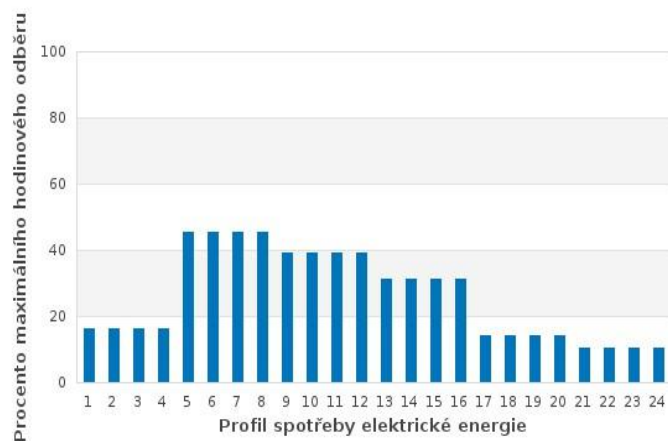
Parametry výpočtu		
Výpočet:	Celoroční	
Časový krok výpočtu	10 minut	
Počáteční měsíc výpočtu:	1	
Počáteční den měsíce výpočtu:	1	
Koncový měsíc výpočtu:	12	
Koncový den měsíce výpočtu:	31	
Počet let ve výpočtu:	1	
Ohmické ztráty v rozvodech:	1	%
Klimatická data pro výpočet:	Vlastní soubor klimatických dat	
Způsob stanovení geometrie:	Zjednodušený	
Způsob řízení výroby FVE:	Maximální produkce	
Pozn.: Výpočet je proveden bez vlivu zastínění fotovoltaických panelů.		

Profil spotřeby elektrické energie																																																				
Maximální odběr elektrické energie	220300	W																																																		
Způsob stanovení profilu odběru elektrické energie	Typický den (jeden v měsíci)																																																			
Leden																																																				
Procento maximálního hodinového odběru <table><thead><tr><th>Profil spotřeby elektrické energie</th><th>Procento maximálního hodinového odběru</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>70</td></tr><tr><td>2</td><td>70</td></tr><tr><td>3</td><td>70</td></tr><tr><td>4</td><td>70</td></tr><tr><td>5</td><td>80</td></tr><tr><td>6</td><td>80</td></tr><tr><td>7</td><td>80</td></tr><tr><td>8</td><td>80</td></tr><tr><td>9</td><td>80</td></tr><tr><td>10</td><td>80</td></tr><tr><td>11</td><td>80</td></tr><tr><td>12</td><td>80</td></tr><tr><td>13</td><td>70</td></tr><tr><td>14</td><td>70</td></tr><tr><td>15</td><td>70</td></tr><tr><td>16</td><td>70</td></tr><tr><td>17</td><td>65</td></tr><tr><td>18</td><td>65</td></tr><tr><td>19</td><td>65</td></tr><tr><td>20</td><td>65</td></tr><tr><td>21</td><td>68</td></tr><tr><td>22</td><td>68</td></tr><tr><td>23</td><td>68</td></tr><tr><td>24</td><td>68</td></tr></tbody></table>			Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru	1	70	2	70	3	70	4	70	5	80	6	80	7	80	8	80	9	80	10	80	11	80	12	80	13	70	14	70	15	70	16	70	17	65	18	65	19	65	20	65	21	68	22	68	23	68	24	68
Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru																																																			
1	70																																																			
2	70																																																			
3	70																																																			
4	70																																																			
5	80																																																			
6	80																																																			
7	80																																																			
8	80																																																			
9	80																																																			
10	80																																																			
11	80																																																			
12	80																																																			
13	70																																																			
14	70																																																			
15	70																																																			
16	70																																																			
17	65																																																			
18	65																																																			
19	65																																																			
20	65																																																			
21	68																																																			
22	68																																																			
23	68																																																			
24	68																																																			
Únor																																																				
Procento maximálního hodinového odběru <table><thead><tr><th>Profil spotřeby elektrické energie</th><th>Procento maximálního hodinového odběru</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>60</td></tr><tr><td>2</td><td>60</td></tr><tr><td>3</td><td>60</td></tr><tr><td>4</td><td>60</td></tr><tr><td>5</td><td>75</td></tr><tr><td>6</td><td>75</td></tr><tr><td>7</td><td>75</td></tr><tr><td>8</td><td>75</td></tr><tr><td>9</td><td>62</td></tr><tr><td>10</td><td>62</td></tr><tr><td>11</td><td>62</td></tr><tr><td>12</td><td>62</td></tr><tr><td>13</td><td>45</td></tr><tr><td>14</td><td>45</td></tr><tr><td>15</td><td>45</td></tr><tr><td>16</td><td>45</td></tr><tr><td>17</td><td>40</td></tr><tr><td>18</td><td>40</td></tr><tr><td>19</td><td>40</td></tr><tr><td>20</td><td>40</td></tr><tr><td>21</td><td>38</td></tr><tr><td>22</td><td>38</td></tr><tr><td>23</td><td>38</td></tr><tr><td>24</td><td>38</td></tr></tbody></table>			Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru	1	60	2	60	3	60	4	60	5	75	6	75	7	75	8	75	9	62	10	62	11	62	12	62	13	45	14	45	15	45	16	45	17	40	18	40	19	40	20	40	21	38	22	38	23	38	24	38
Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru																																																			
1	60																																																			
2	60																																																			
3	60																																																			
4	60																																																			
5	75																																																			
6	75																																																			
7	75																																																			
8	75																																																			
9	62																																																			
10	62																																																			
11	62																																																			
12	62																																																			
13	45																																																			
14	45																																																			
15	45																																																			
16	45																																																			
17	40																																																			
18	40																																																			
19	40																																																			
20	40																																																			
21	38																																																			
22	38																																																			
23	38																																																			
24	38																																																			
Březen																																																				
Procento maximálního hodinového odběru <table><thead><tr><th>Profil spotřeby elektrické energie</th><th>Procento maximálního hodinového odběru</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>32</td></tr><tr><td>2</td><td>32</td></tr><tr><td>3</td><td>32</td></tr><tr><td>4</td><td>32</td></tr><tr><td>5</td><td>85</td></tr><tr><td>6</td><td>85</td></tr><tr><td>7</td><td>85</td></tr><tr><td>8</td><td>85</td></tr><tr><td>9</td><td>58</td></tr><tr><td>10</td><td>58</td></tr><tr><td>11</td><td>58</td></tr><tr><td>12</td><td>58</td></tr><tr><td>13</td><td>38</td></tr><tr><td>14</td><td>38</td></tr><tr><td>15</td><td>38</td></tr><tr><td>16</td><td>38</td></tr><tr><td>17</td><td>18</td></tr><tr><td>18</td><td>18</td></tr><tr><td>19</td><td>18</td></tr><tr><td>20</td><td>18</td></tr><tr><td>21</td><td>12</td></tr><tr><td>22</td><td>12</td></tr><tr><td>23</td><td>12</td></tr><tr><td>24</td><td>12</td></tr></tbody></table>			Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru	1	32	2	32	3	32	4	32	5	85	6	85	7	85	8	85	9	58	10	58	11	58	12	58	13	38	14	38	15	38	16	38	17	18	18	18	19	18	20	18	21	12	22	12	23	12	24	12
Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru																																																			
1	32																																																			
2	32																																																			
3	32																																																			
4	32																																																			
5	85																																																			
6	85																																																			
7	85																																																			
8	85																																																			
9	58																																																			
10	58																																																			
11	58																																																			
12	58																																																			
13	38																																																			
14	38																																																			
15	38																																																			
16	38																																																			
17	18																																																			
18	18																																																			
19	18																																																			
20	18																																																			
21	12																																																			
22	12																																																			
23	12																																																			
24	12																																																			

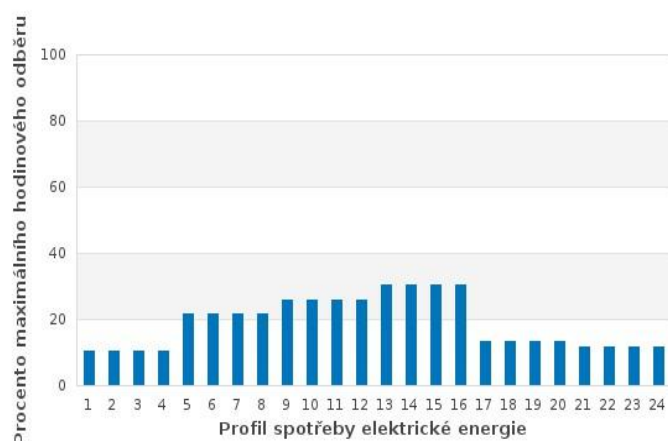
Duben



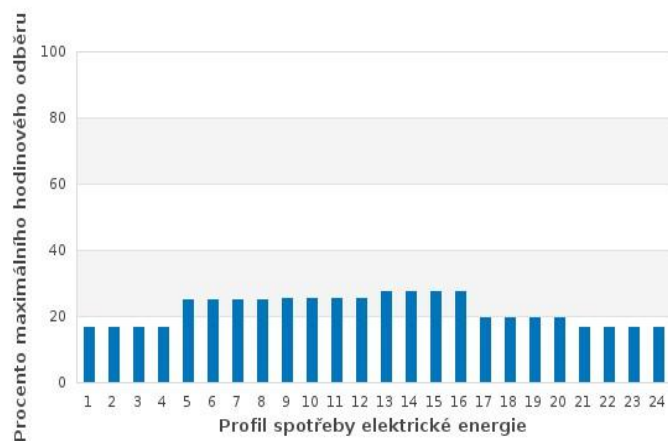
Květen



Červen



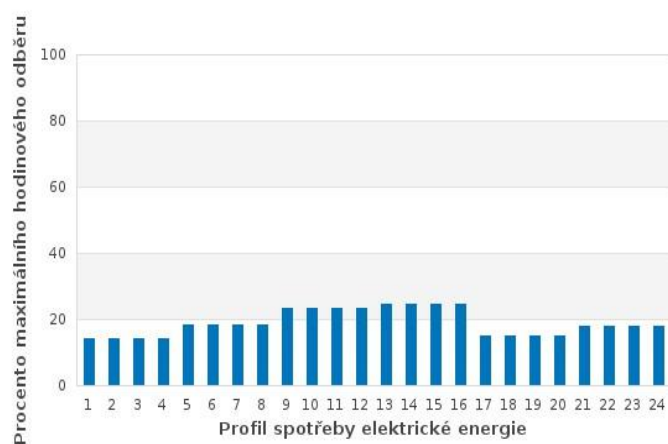
Červenec



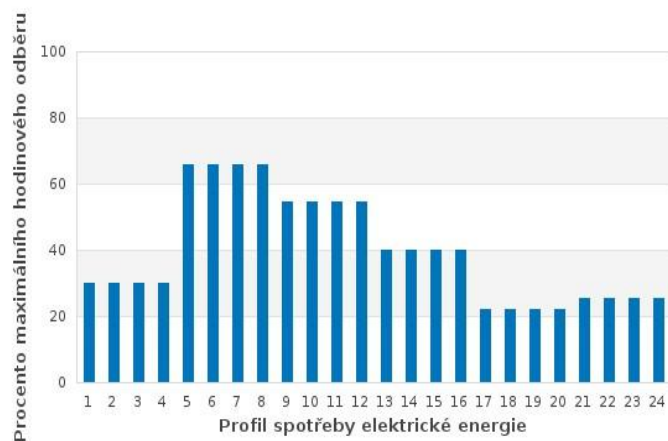
Srpen



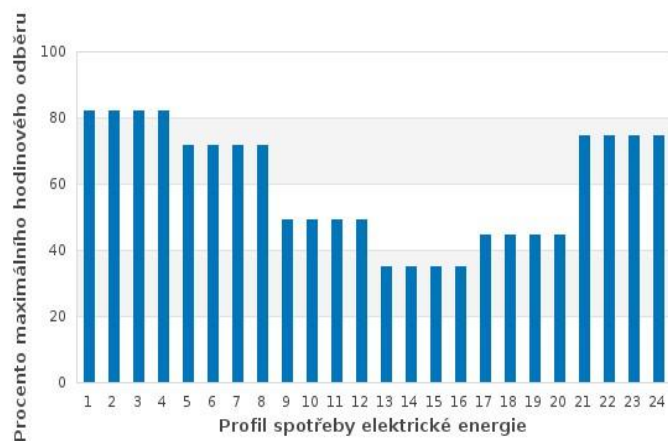
Září



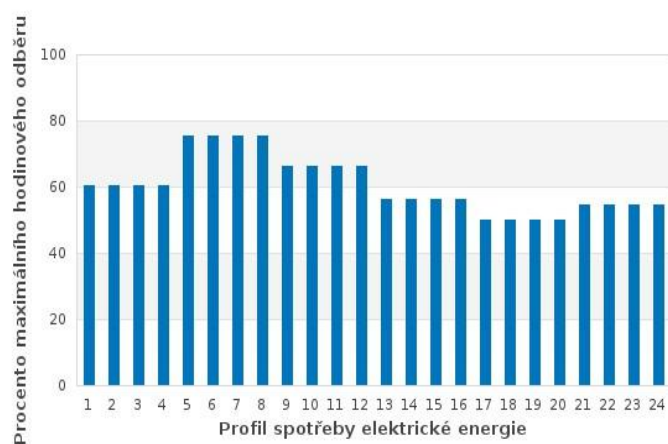
Říjen



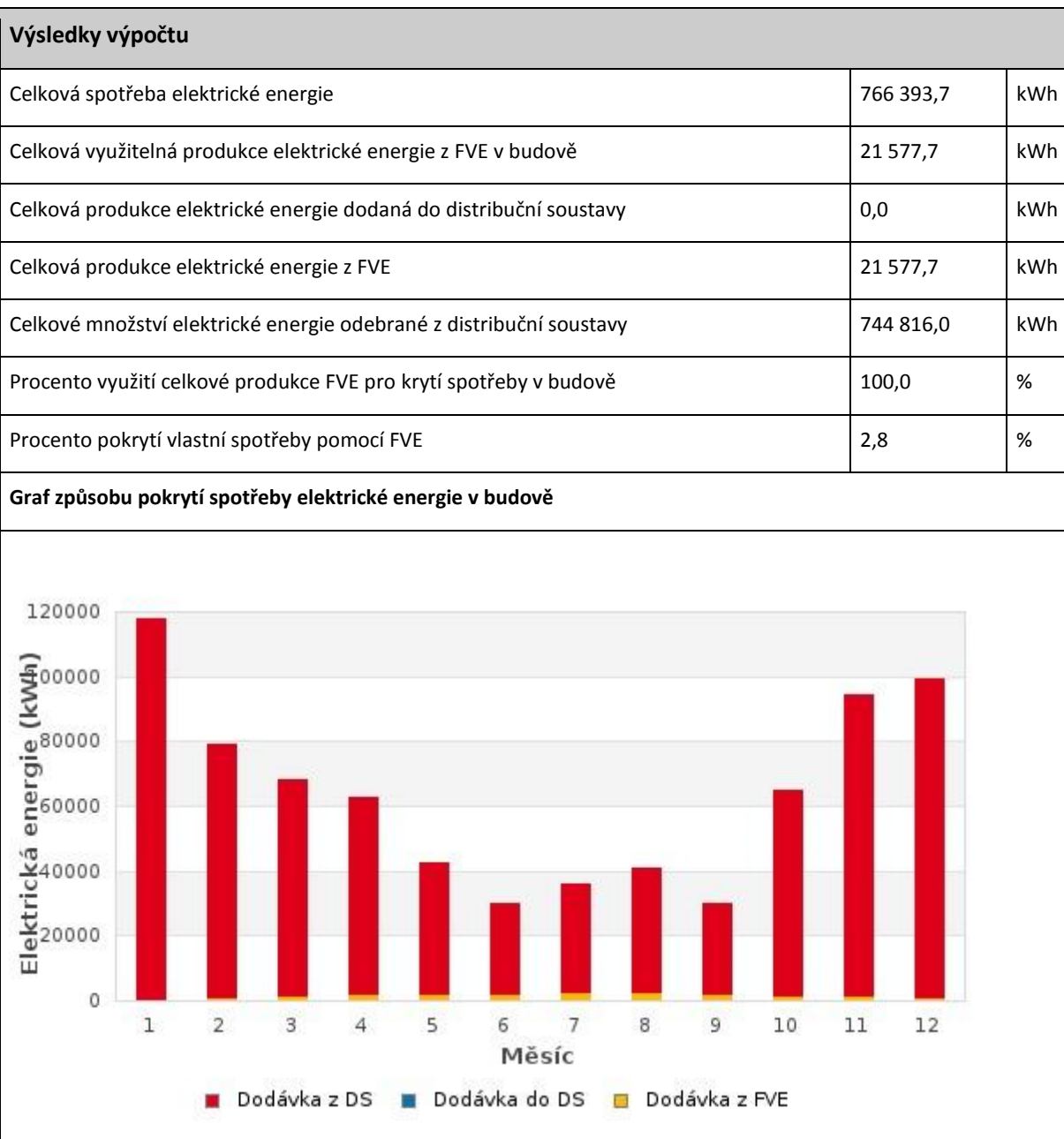
Listopad



Prosinec



Fotovoltaické panely		
FVE-1:		
Orientace:	180	°
Sklon:	90	°
Délka:	10	m
Výška:	14.8	m
Počet paralelně zapojených řad modulů:	1	ks
Počet sériově zapojených modulů v jedné řadě	5340	ks
Celkový počet modulů:	5340	ks
Kód SVT:		
Způsob stanovení účinnosti panelu:	Zjednodušené	
Procento plochy aktivních článků z plochy panelu:	88	%
Účinnost fotovoltaických panelů:	20	%
Jmenovitý výkon modulu:	5	W
Celkový jmenovitý výkon:	21 360	W



Příloha č. 3 – Výpočetní protokol DEKSOFT, budova C

Výpočet produkce fotovoltaické elektrárny

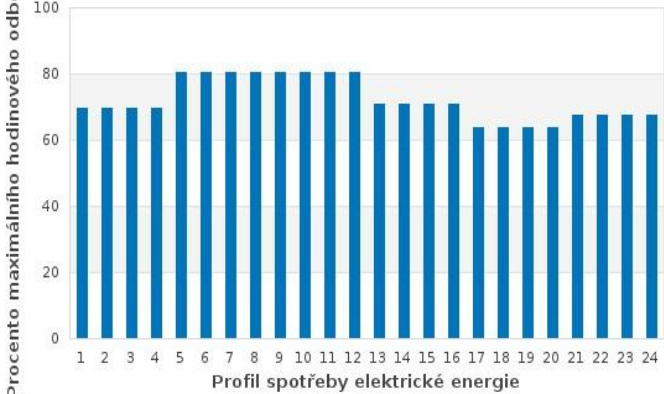
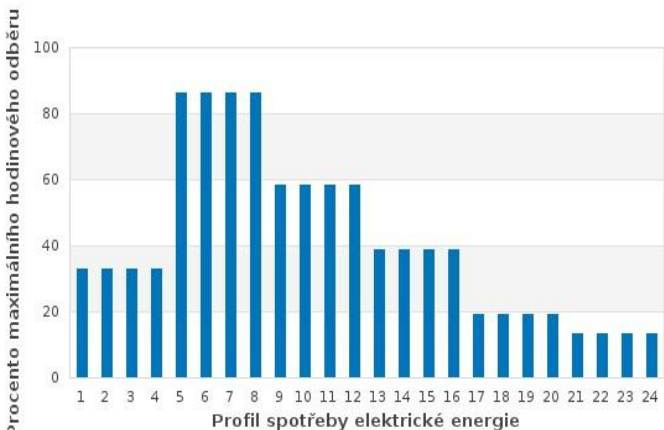
Název budovy:	Podnikatelský inkubátor
Ulice:	- -
PSČ:	-
Město:	Karlovy Vary

Výpočetní nástroj:	DEKSOFT FVE 1.2.8
Výpočtové jádro:	EnergyPlus verze 8.5
Bližší informace na:	www.deksoft.eu

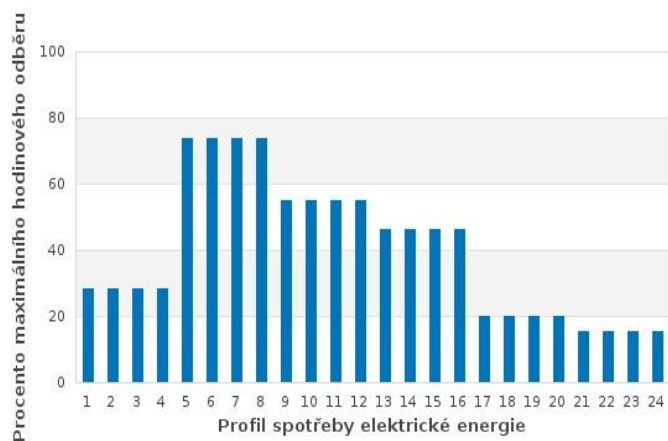
Typ zařízení	
Typ zařízení:	FVE s měničem

Měnič		
Název:	Měnič - zjednodušené	
Kód SVT:		
Způsob zadání:	Zjednodušené	
Účinnost měniče:	97	%

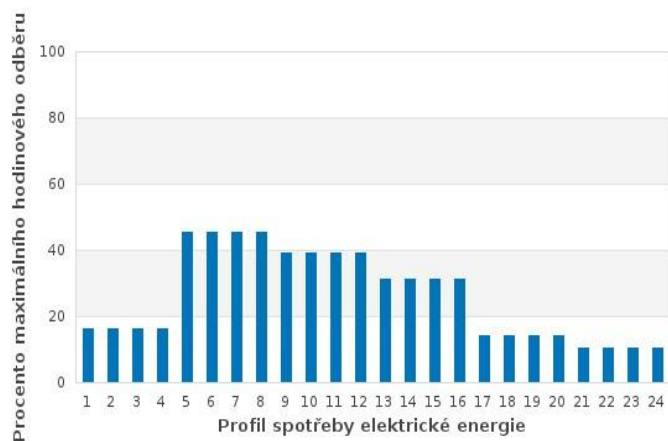
Parametry výpočtu		
Výpočet:	Celoroční	
Časový krok výpočtu	10 minut	
Počáteční měsíc výpočtu:	1	
Počáteční den měsíce výpočtu:	1	
Koncový měsíc výpočtu:	12	
Koncový den měsíce výpočtu:	31	
Počet let ve výpočtu:	1	
Ohmické ztráty v rozvodech:	1	%
Klimatická data pro výpočet:	Vlastní soubor klimatických dat	
Způsob stanovení geometrie:	Zjednodušený	
Způsob řízení výroby FVE:	Maximální produkce	
Pozn.: Výpočet je proveden bez vlivu zastínění fotovoltaických panelů.		

Profil spotřeby elektrické energie																																																				
Maximální odběr elektrické energie	195400	W																																																		
Způsob stanovení profilu odběru elektrické energie	Typický den (jeden v měsíci)																																																			
Leden																																																				
Procento maximálního hodinového odběru <table><thead><tr><th>Profil spotřeby elektrické energie</th><th>Procento maximálního hodinového odběru</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>70</td></tr><tr><td>2</td><td>70</td></tr><tr><td>3</td><td>70</td></tr><tr><td>4</td><td>70</td></tr><tr><td>5</td><td>80</td></tr><tr><td>6</td><td>80</td></tr><tr><td>7</td><td>80</td></tr><tr><td>8</td><td>80</td></tr><tr><td>9</td><td>80</td></tr><tr><td>10</td><td>80</td></tr><tr><td>11</td><td>80</td></tr><tr><td>12</td><td>80</td></tr><tr><td>13</td><td>70</td></tr><tr><td>14</td><td>70</td></tr><tr><td>15</td><td>70</td></tr><tr><td>16</td><td>70</td></tr><tr><td>17</td><td>64</td></tr><tr><td>18</td><td>64</td></tr><tr><td>19</td><td>64</td></tr><tr><td>20</td><td>64</td></tr><tr><td>21</td><td>68</td></tr><tr><td>22</td><td>68</td></tr><tr><td>23</td><td>68</td></tr><tr><td>24</td><td>68</td></tr></tbody></table>			Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru	1	70	2	70	3	70	4	70	5	80	6	80	7	80	8	80	9	80	10	80	11	80	12	80	13	70	14	70	15	70	16	70	17	64	18	64	19	64	20	64	21	68	22	68	23	68	24	68
Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru																																																			
1	70																																																			
2	70																																																			
3	70																																																			
4	70																																																			
5	80																																																			
6	80																																																			
7	80																																																			
8	80																																																			
9	80																																																			
10	80																																																			
11	80																																																			
12	80																																																			
13	70																																																			
14	70																																																			
15	70																																																			
16	70																																																			
17	64																																																			
18	64																																																			
19	64																																																			
20	64																																																			
21	68																																																			
22	68																																																			
23	68																																																			
24	68																																																			
Únor																																																				
Procento maximálního hodinového odběru <table><thead><tr><th>Profil spotřeby elektrické energie</th><th>Procento maximálního hodinového odběru</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>60</td></tr><tr><td>2</td><td>60</td></tr><tr><td>3</td><td>60</td></tr><tr><td>4</td><td>60</td></tr><tr><td>5</td><td>75</td></tr><tr><td>6</td><td>75</td></tr><tr><td>7</td><td>75</td></tr><tr><td>8</td><td>75</td></tr><tr><td>9</td><td>62</td></tr><tr><td>10</td><td>62</td></tr><tr><td>11</td><td>62</td></tr><tr><td>12</td><td>62</td></tr><tr><td>13</td><td>45</td></tr><tr><td>14</td><td>45</td></tr><tr><td>15</td><td>45</td></tr><tr><td>16</td><td>45</td></tr><tr><td>17</td><td>40</td></tr><tr><td>18</td><td>40</td></tr><tr><td>19</td><td>40</td></tr><tr><td>20</td><td>40</td></tr><tr><td>21</td><td>38</td></tr><tr><td>22</td><td>38</td></tr><tr><td>23</td><td>38</td></tr><tr><td>24</td><td>38</td></tr></tbody></table>			Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru	1	60	2	60	3	60	4	60	5	75	6	75	7	75	8	75	9	62	10	62	11	62	12	62	13	45	14	45	15	45	16	45	17	40	18	40	19	40	20	40	21	38	22	38	23	38	24	38
Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru																																																			
1	60																																																			
2	60																																																			
3	60																																																			
4	60																																																			
5	75																																																			
6	75																																																			
7	75																																																			
8	75																																																			
9	62																																																			
10	62																																																			
11	62																																																			
12	62																																																			
13	45																																																			
14	45																																																			
15	45																																																			
16	45																																																			
17	40																																																			
18	40																																																			
19	40																																																			
20	40																																																			
21	38																																																			
22	38																																																			
23	38																																																			
24	38																																																			
Březen																																																				
Procento maximálního hodinového odběru <table><thead><tr><th>Profil spotřeby elektrické energie</th><th>Procento maximálního hodinového odběru</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>32</td></tr><tr><td>2</td><td>32</td></tr><tr><td>3</td><td>32</td></tr><tr><td>4</td><td>32</td></tr><tr><td>5</td><td>85</td></tr><tr><td>6</td><td>85</td></tr><tr><td>7</td><td>85</td></tr><tr><td>8</td><td>85</td></tr><tr><td>9</td><td>58</td></tr><tr><td>10</td><td>58</td></tr><tr><td>11</td><td>58</td></tr><tr><td>12</td><td>58</td></tr><tr><td>13</td><td>38</td></tr><tr><td>14</td><td>38</td></tr><tr><td>15</td><td>38</td></tr><tr><td>16</td><td>38</td></tr><tr><td>17</td><td>18</td></tr><tr><td>18</td><td>18</td></tr><tr><td>19</td><td>18</td></tr><tr><td>20</td><td>18</td></tr><tr><td>21</td><td>12</td></tr><tr><td>22</td><td>12</td></tr><tr><td>23</td><td>12</td></tr><tr><td>24</td><td>12</td></tr></tbody></table>			Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru	1	32	2	32	3	32	4	32	5	85	6	85	7	85	8	85	9	58	10	58	11	58	12	58	13	38	14	38	15	38	16	38	17	18	18	18	19	18	20	18	21	12	22	12	23	12	24	12
Profil spotřeby elektrické energie	Procento maximálního hodinového odběru																																																			
1	32																																																			
2	32																																																			
3	32																																																			
4	32																																																			
5	85																																																			
6	85																																																			
7	85																																																			
8	85																																																			
9	58																																																			
10	58																																																			
11	58																																																			
12	58																																																			
13	38																																																			
14	38																																																			
15	38																																																			
16	38																																																			
17	18																																																			
18	18																																																			
19	18																																																			
20	18																																																			
21	12																																																			
22	12																																																			
23	12																																																			
24	12																																																			

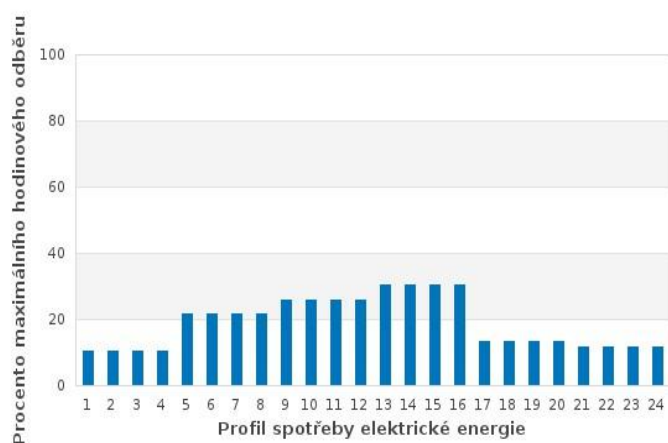
Duben



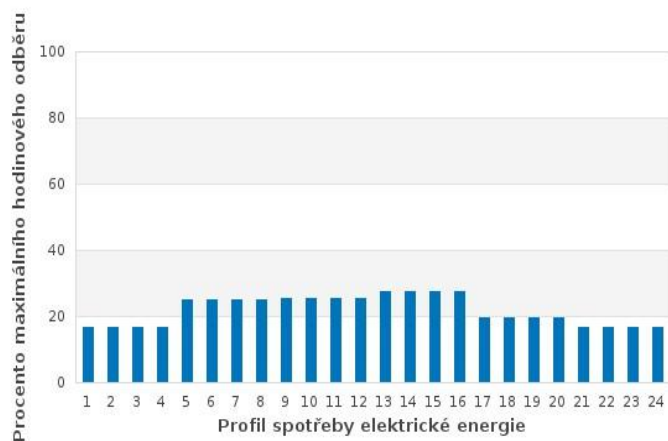
Květen



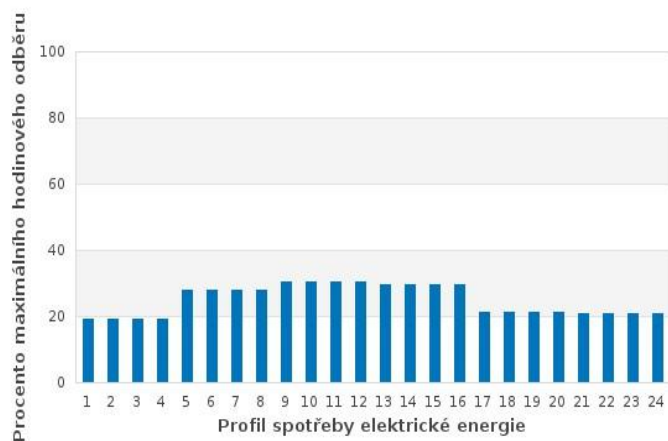
Červen



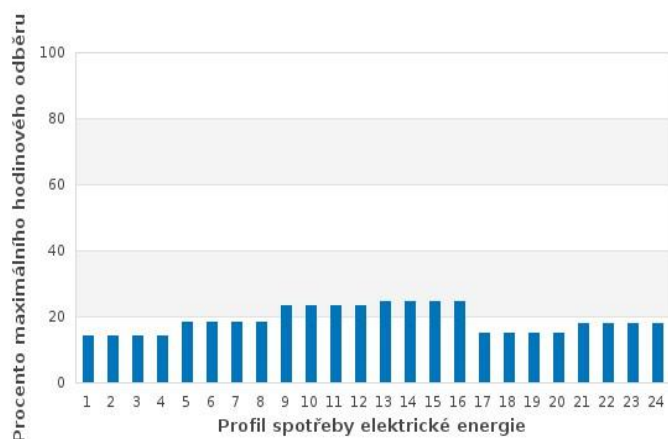
Červenec



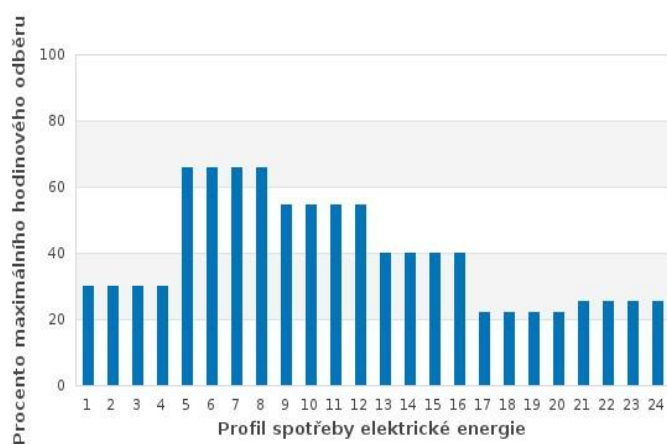
Srpen



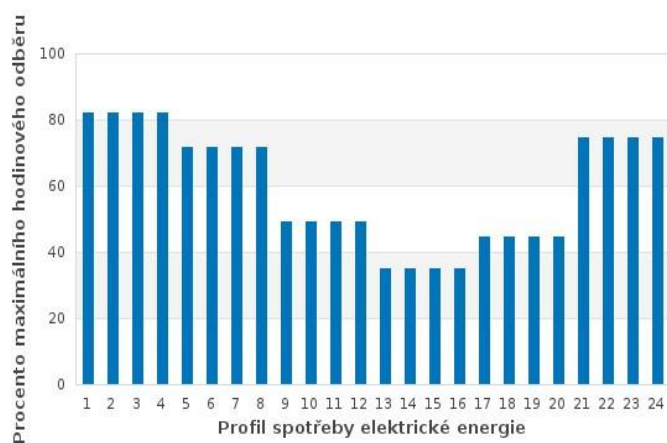
Září



Říjen



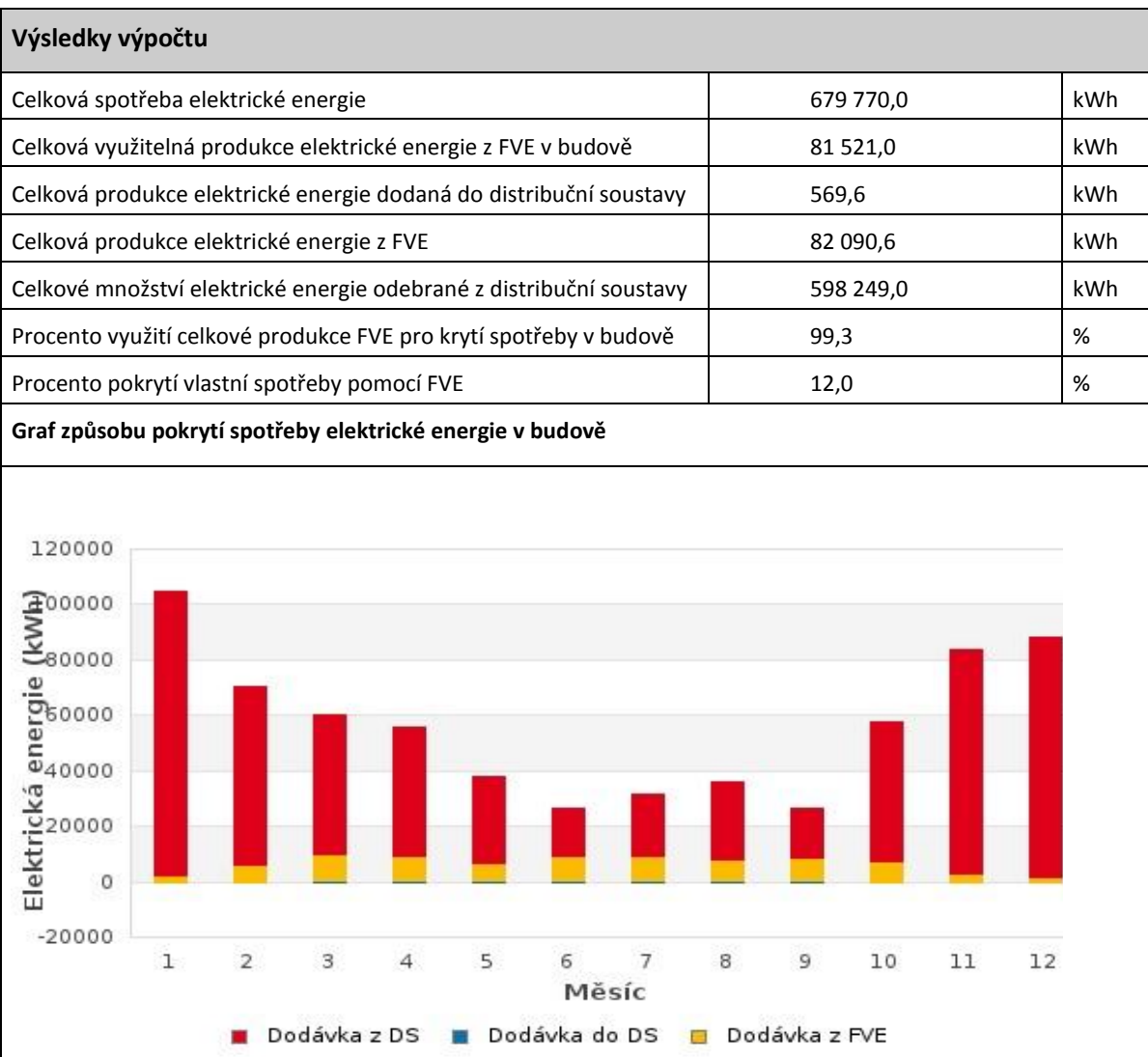
Listopad



Prosinec



Fotovoltaické panely		
FVE-1: JV		
Orientace:	120	°
Sklon:	90	°
Délka:	10	m
Výška:	17.2	m
Počet paralelně zapojených řad modulů:	69	ks
Počet sériově zapojených modulů v jedné řadě	90	ks
Celkový počet modulů:	6210	ks
Kód SVT:		
Způsob stanovení účinnosti panelu:	Zjednodušené	
Procento plochy aktivních článků z plochy panelu:	88	%
Účinnost fotovoltaických panelů:	20	%
Jmenovitý výkon modulu:	5	W
Celkový jmenovitý výkon:	24 840	W
FVE-2: JZ		
Orientace:	210	°
Sklon:	90	°
Délka:	20	m
Výška:	21.37	m
Počet paralelně zapojených řad modulů:	125	ks
Počet sériově zapojených modulů v jedné řadě	123	ks
Celkový počet modulů:	15375	ks
Kód SVT:		
Způsob stanovení účinnosti panelu:	Zjednodušené	
Procento plochy aktivních článků z plochy panelu:	88	%
Účinnost fotovoltaických panelů:	20	%
Jmenovitý výkon modulu:	5	W
Celkový jmenovitý výkon:	61 500	W



Příloha č. 4 – Výpočetní protokol DEKSOFT, budova D

Výpočet produkce fotovoltaické elektrárny

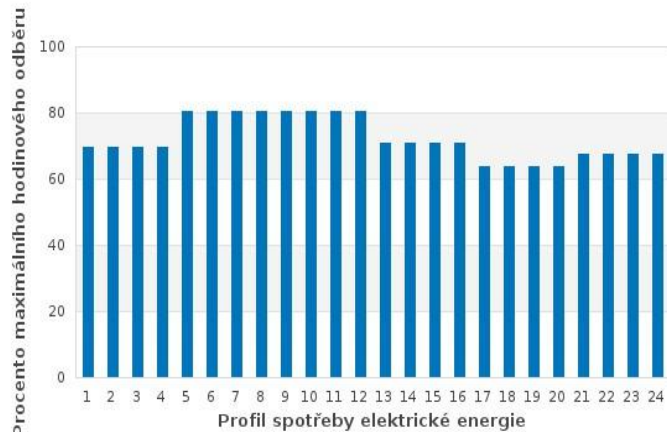
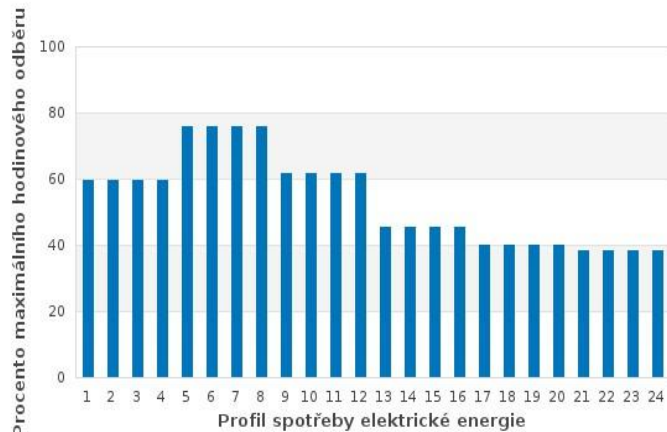
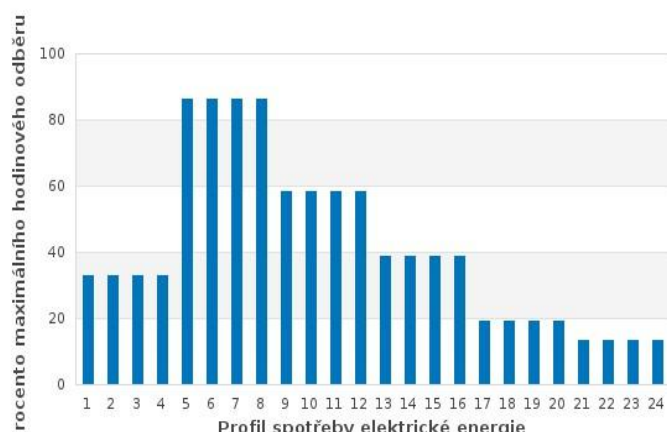
Název budovy:	Steinex
Ulice:	- -
PSČ:	-
Město:	Brno

Výpočetní nástroj:	DEKSOFT FVE 1.2.8
Výpočtové jádro:	EnergyPlus verze 8.5
Bližší informace na:	www.deksoft.eu

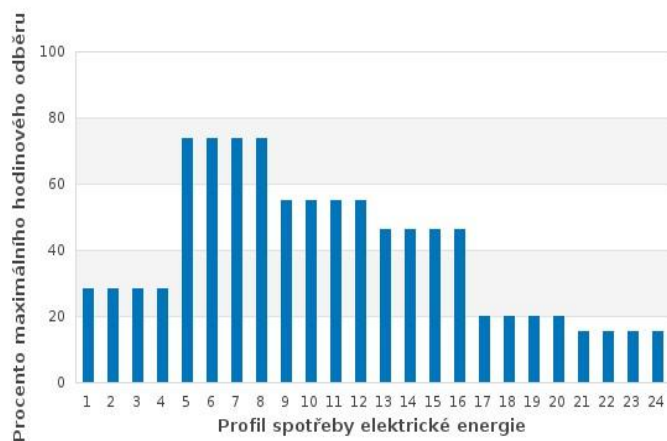
Typ zařízení	
Typ zařízení:	FVE s měničem

Měnič		
Název:	Měnič - zjednodušené	
Kód SVT:		
Způsob zadání:	Zjednodušené	
Účinnost měniče:	97	%

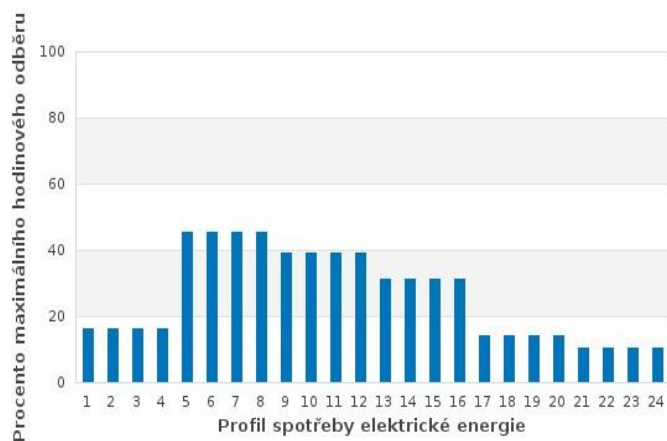
Parametry výpočtu		
Výpočet:	Celoroční	
Časový krok výpočtu	10 minut	
Počáteční měsíc výpočtu:	1	
Počáteční den měsíce výpočtu:	1	
Koncový měsíc výpočtu:	12	
Koncový den měsíce výpočtu:	31	
Počet let ve výpočtu:	1	
Ohmické ztráty v rozvodech:	1	%
Klimatická data pro výpočet:	Vlastní soubor klimatických dat	
Způsob stanovení geometrie:	Zjednodušený	
Způsob řízení výroby FVE:	Maximální produkce	
Pozn.: Výpočet je proveden bez vlivu zastínění fotovoltaických panelů.		

Profil spotřeby elektrické energie																																																				
Maximální odběr elektrické energie	107120	W																																																		
Způsob stanovení profilu odběru elektrické energie	Typický den (jeden v měsíci)																																																			
Leden																																																				
Procento maximálního hodinového odběru  Profil spotřeby elektrické energie <table><thead><tr><th>Hour</th><th>Percentage (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>70</td></tr><tr><td>2</td><td>70</td></tr><tr><td>3</td><td>70</td></tr><tr><td>4</td><td>70</td></tr><tr><td>5</td><td>80</td></tr><tr><td>6</td><td>80</td></tr><tr><td>7</td><td>80</td></tr><tr><td>8</td><td>80</td></tr><tr><td>9</td><td>80</td></tr><tr><td>10</td><td>80</td></tr><tr><td>11</td><td>80</td></tr><tr><td>12</td><td>80</td></tr><tr><td>13</td><td>70</td></tr><tr><td>14</td><td>70</td></tr><tr><td>15</td><td>70</td></tr><tr><td>16</td><td>70</td></tr><tr><td>17</td><td>65</td></tr><tr><td>18</td><td>65</td></tr><tr><td>19</td><td>65</td></tr><tr><td>20</td><td>65</td></tr><tr><td>21</td><td>68</td></tr><tr><td>22</td><td>68</td></tr><tr><td>23</td><td>68</td></tr><tr><td>24</td><td>68</td></tr></tbody></table>			Hour	Percentage (%)	1	70	2	70	3	70	4	70	5	80	6	80	7	80	8	80	9	80	10	80	11	80	12	80	13	70	14	70	15	70	16	70	17	65	18	65	19	65	20	65	21	68	22	68	23	68	24	68
Hour	Percentage (%)																																																			
1	70																																																			
2	70																																																			
3	70																																																			
4	70																																																			
5	80																																																			
6	80																																																			
7	80																																																			
8	80																																																			
9	80																																																			
10	80																																																			
11	80																																																			
12	80																																																			
13	70																																																			
14	70																																																			
15	70																																																			
16	70																																																			
17	65																																																			
18	65																																																			
19	65																																																			
20	65																																																			
21	68																																																			
22	68																																																			
23	68																																																			
24	68																																																			
Únor																																																				
Procento maximálního hodinového odběru  Profil spotřeby elektrické energie <table><thead><tr><th>Hour</th><th>Percentage (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>60</td></tr><tr><td>2</td><td>60</td></tr><tr><td>3</td><td>60</td></tr><tr><td>4</td><td>60</td></tr><tr><td>5</td><td>75</td></tr><tr><td>6</td><td>75</td></tr><tr><td>7</td><td>75</td></tr><tr><td>8</td><td>75</td></tr><tr><td>9</td><td>62</td></tr><tr><td>10</td><td>62</td></tr><tr><td>11</td><td>62</td></tr><tr><td>12</td><td>62</td></tr><tr><td>13</td><td>45</td></tr><tr><td>14</td><td>45</td></tr><tr><td>15</td><td>45</td></tr><tr><td>16</td><td>45</td></tr><tr><td>17</td><td>40</td></tr><tr><td>18</td><td>40</td></tr><tr><td>19</td><td>40</td></tr><tr><td>20</td><td>40</td></tr><tr><td>21</td><td>38</td></tr><tr><td>22</td><td>38</td></tr><tr><td>23</td><td>38</td></tr><tr><td>24</td><td>38</td></tr></tbody></table>			Hour	Percentage (%)	1	60	2	60	3	60	4	60	5	75	6	75	7	75	8	75	9	62	10	62	11	62	12	62	13	45	14	45	15	45	16	45	17	40	18	40	19	40	20	40	21	38	22	38	23	38	24	38
Hour	Percentage (%)																																																			
1	60																																																			
2	60																																																			
3	60																																																			
4	60																																																			
5	75																																																			
6	75																																																			
7	75																																																			
8	75																																																			
9	62																																																			
10	62																																																			
11	62																																																			
12	62																																																			
13	45																																																			
14	45																																																			
15	45																																																			
16	45																																																			
17	40																																																			
18	40																																																			
19	40																																																			
20	40																																																			
21	38																																																			
22	38																																																			
23	38																																																			
24	38																																																			
Březen																																																				
Procento maximálního hodinového odběru  Profil spotřeby elektrické energie <table><thead><tr><th>Hour</th><th>Percentage (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>32</td></tr><tr><td>2</td><td>32</td></tr><tr><td>3</td><td>32</td></tr><tr><td>4</td><td>32</td></tr><tr><td>5</td><td>85</td></tr><tr><td>6</td><td>85</td></tr><tr><td>7</td><td>85</td></tr><tr><td>8</td><td>85</td></tr><tr><td>9</td><td>58</td></tr><tr><td>10</td><td>58</td></tr><tr><td>11</td><td>58</td></tr><tr><td>12</td><td>58</td></tr><tr><td>13</td><td>38</td></tr><tr><td>14</td><td>38</td></tr><tr><td>15</td><td>38</td></tr><tr><td>16</td><td>38</td></tr><tr><td>17</td><td>18</td></tr><tr><td>18</td><td>18</td></tr><tr><td>19</td><td>18</td></tr><tr><td>20</td><td>18</td></tr><tr><td>21</td><td>12</td></tr><tr><td>22</td><td>12</td></tr><tr><td>23</td><td>12</td></tr><tr><td>24</td><td>12</td></tr></tbody></table>			Hour	Percentage (%)	1	32	2	32	3	32	4	32	5	85	6	85	7	85	8	85	9	58	10	58	11	58	12	58	13	38	14	38	15	38	16	38	17	18	18	18	19	18	20	18	21	12	22	12	23	12	24	12
Hour	Percentage (%)																																																			
1	32																																																			
2	32																																																			
3	32																																																			
4	32																																																			
5	85																																																			
6	85																																																			
7	85																																																			
8	85																																																			
9	58																																																			
10	58																																																			
11	58																																																			
12	58																																																			
13	38																																																			
14	38																																																			
15	38																																																			
16	38																																																			
17	18																																																			
18	18																																																			
19	18																																																			
20	18																																																			
21	12																																																			
22	12																																																			
23	12																																																			
24	12																																																			

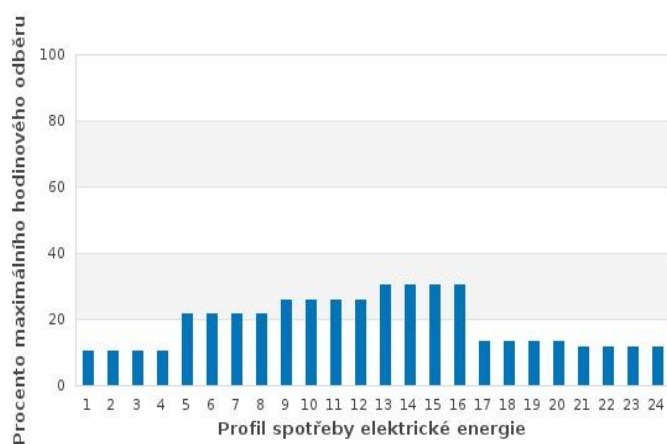
Duben



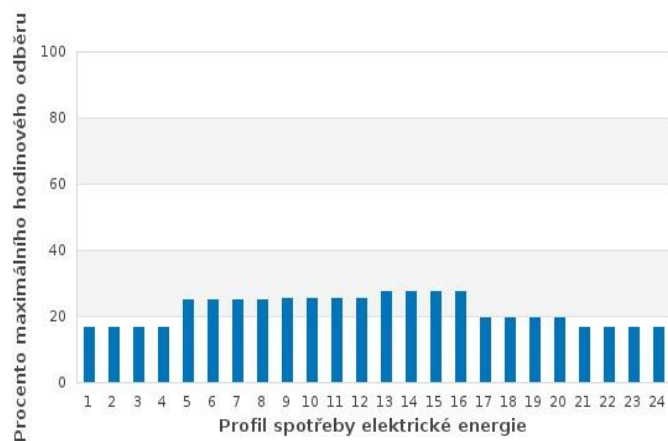
Květen



Červen



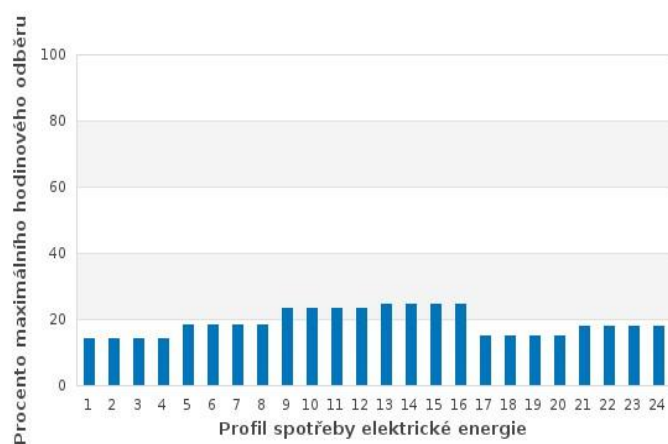
Červenec



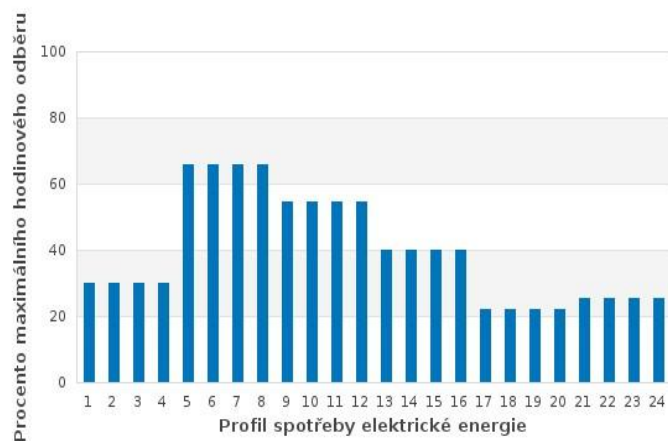
Srpen



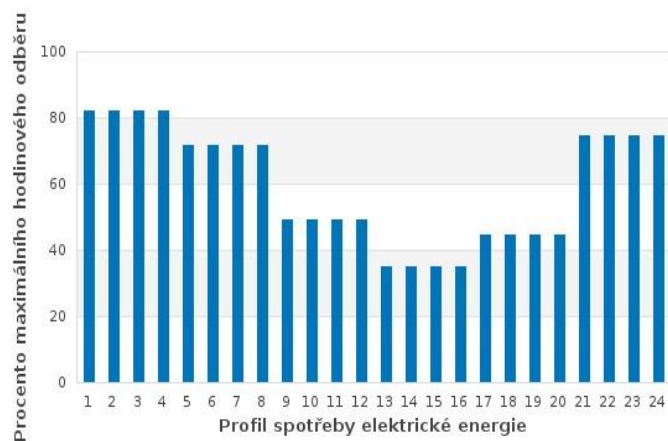
Září



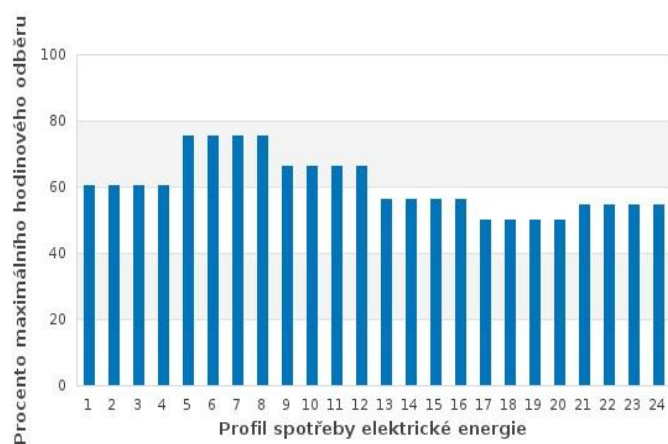
Říjen



Listopad



Prosinec



Fotovoltaické panely		
FVE-1:		
Orientace:	100	°
Sklon:	90	°
Délka:	13.2	m
Výška:	10	m
Počet paralelně zapojených řad modulů:	1	ks
Počet sériově zapojených modulů v jedné řadě	4752	ks
Celkový počet modulů:	4752	ks
Kód SVT:		
Způsob stanovení účinnosti panelu:	Zjednodušené	
Procento plochy aktivních článků z plochy panelu:	88	%
Účinnost fotovoltaických panelů:	20	%
Jmenovitý výkon modulu:	5	W
Celkový jmenovitý výkon:	19 008	W

Výsledky výpočtu		
Celková spotřeba elektrické energie	372 655,9	kWh
Celková využitelná produkce elektrické energie z FVE v budově	19 089,6	kWh
Celková produkce elektrické energie dodaná do distribuční soustavy	0,0	kWh
Celková produkce elektrické energie z FVE	19 089,6	kWh
Celkové množství elektrické energie odebrané z distribuční soustavy	353 566,3	kWh
Procento využití celkové produkce FVE pro krytí spotřeby v budově	100,0	%
Procento pokrytí vlastní spotřeby pomocí FVE	5,1	%

Graf způsobu pokrytí spotřeby elektrické energie v budově

