



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

ADMINISTRATIVNÍ BUDOVA

OFFICE BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S PROJECT

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vojtěch Výborný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL STRUHALA Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N0732A260018 Environmentálně vyspělé budovy
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav pozemního stavitelství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Vojtěch Výborný
Název	Administrativní budova
Vedoucí práce	Ing. Karel Struhala, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

(1) Platné právní předpisy související s tématem práce, zejména Stavební zákon č. 183/2006 Sb. a zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií; (2) platné technické předpisy a normy ČSN EN ISO; (3) Katalogy stavebních materiálů, konstrukčních systémů a stavebních výrobků; (4) Odborná literatura.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zadání: Zpracování určené části projektové dokumentace administrativní budovy s téměř nulovou spotřebou energie ve stupni pro vydání stavebního povolení, včetně navazující volitelné části.

Cíle: Návrh dispozičního řešení budovy, vhodné konstrukční soustavy a nosného systému na základě zvolených materiálů a prvků, vyřešení osazení budovy do terénu a návaznosti na okolní zástavbu. Koncepční řešení technických systémů budovy a klasifikace její energetické náročnosti. Vypracování volitelné části vztahující se k řešené budově.

(I) Část architektonicko-stavební řešení (podíl 35 %) bude obsahovat: průvodní zprávu, souhrnnou technickou zprávu, koordinační situaci (1:200), požárně bezpečnostní řešení stavby a výkresy (1:100, příp. 1:50): základů, půdorysů podlaží, konstrukce zastřešení, svislých řezů a technických pohledů, sestavy dílců, popř. výkres tvaru stropní konstrukce vybraného podlaží. Součástí dokumentace bude dále stavebně fyzikální posouzení budovy i jednotlivých konstrukcí a průkaz energetické náročnosti (bez posouzení proveditelnosti alternativních systémů a doporučených opatření).

(II) Část technika prostředí staveb (podíl 35 %) bude obsahovat koncepční studie relevantních systémů technického zařízení budovy s vazbou na výrobu a užití energie a hospodaření s vodou, schéma zapojení energetických zdrojů, výpočet výkonových parametrů, zjednodušené schéma řízení a dispoziční umístění zdrojů.

(III) Volitelná část (podíl 30 %) bude pomocí metody posuzování životních cyklů hodnotit a optimalizovat environmentální dopady zadané části navrhované budovy.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Karel Struhala, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

V mé diplomové práci, jsem se zabýval návrhem administrativní budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Práce se skládá ze tří částí. V první části, jsem navrhl stavebně-konstrukční řešení stavby. Jedná se o třípodlažní objekt s částečně podsklepeným prvním podzemním podlažím. Nosné stěny jsou částečně tvořeny ze železobetonu a částečně z cihelných bloků. Vodorovné, nosné konstrukce jsou tvořeny železobetonovými deskami. Všechny střechy v tomto objektu, jsou navrženy jako ploché střechy. V druhé části jsem navrhl veškeré TZB systémy. V poslední části, jsem porovnával tři typy střešních, fotovoltaických elektráren a hodnotil jejich environmentální dopady. První typ fotovoltaické elektrárny byl tvořen monokrystalickými panely, druhý typ polykrystalickými panely a třetí opět monokrystalickými panely, ovšem se zabudovaným bateriovým úložištěm. Vyhodnocení environmentálních dopadů jsem provedl v softwaru Open LCA. Veškeré postupy byly provedeny dle platných vyhlášek a norem.

KLÍČOVÁ SLOVA

administrativní budova, inteligentní budova, třípodlažní objekt, monolitické železobetonové nosné stěny, nosné stěny z cihelných bloků, plochá střecha, terasa, inteligentní TZB systémy, fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický panel, monokrystal, polykrystal, obnovitelné zdroje energie, životní cyklus fotovoltaické elektrárny

ABSTRACT

This master's project deals with design of an office building nearly zero energy standard. My master's project consists of three parts. In the first one I work on technical design of the office building. It is a three-storey building with partial basement. Vertical load-bearing system is partially made from monolithic concrete walls and partially from clay blocks walls. The horizontal load-bearing structures are made of monolithic concrete slab. All roofs are designed as flat roofs. In second part I design all technical equipment in this building. In the last part I compare three types of roof, photovoltaic power plants and evaluate their environmental impact. First type of PV power plant is made by monocrystalline solar cell, second one by polycrystalline solar cell and last one by monocrystalline solar cell with battery system. Environmental impact of these systems is evaluated in Open LCA software. All structures comply with the valid standards and regulations.

KEYWORDS

office building, smart building, three-floor, monolithic concrete load-bearing system, clay blocks load-bearing system, flat roof, terrace, smart technical equipment, photovoltaic power plant, photovoltaic PV cell, monocrystalline, polycrystalline, renewable energy, life cycle assesment of photovoltaic power plant

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Vojtěch Výborný *Administrativní budova*. Brno, 2022. 37 s., 80 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. Karel Struhala, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Administrativní budova* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 5. 1. 2022

Bc. Vojtěch Výborný
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Administrativní budova* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 5. 1. 2022

Bc. Vojtěch Výborný
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Touto formou bych rád poděkoval především mému vedoucímu práce, kterým byl Ing. Karel Struhala, Ph.D., kdykoli mi v průběhu práce dokázal odborně, a přesto lidsky poradit. Další poděkování patří mému konzultantovi technických zařízení budov, kterým byl Ing. Pavel Uher, Ph.D. V neposlední řadě bych rád vyjádřil poděkování mým konzultantům přes fotovoltaické systémy, kterými byli doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D. a doc. Ing. Tomáš Kazda, Ph.D. Všem děkuji za profesionální přístup během konzultací a cenné rady, které mi vždy ochotně poskytli. Samozřejmě děkuji své přítelkyni, která mi byla oporou po celou dobu studia a také rodině, která mi vytvořila ty nejlepší podmínky pro studium. Závěrem bych chtěl ještě poděkovat všem kamarádům, které jsem často zanedbával a také všem spolužákům, které jsem během studia potkal.

CELKOVÝ OBSAH PRÁCE:

HLAVNÍ TEXTOVÁ ČÁST

1. ÚVOD
2. METODY
 - 2.1 PARAMETRY OBJEKTU
 - 2.1.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE O OBJEKTU
 - 2.1.2 PARAMETRY STŘECHY
 - 2.1.3 SPOTŘEBA OBJEKTU
 - 2.1.4 PLOCHA FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ (PANELŮ)
 - 2.2 VNĚJŠÍ SLUNEČNÍ VLIVY
 - 2.2.1 DOBA OSLUNĚNÍ OBJEKTU
 - 2.2.2 PROBLEMATIKA STÍNĚNÍ
 - 2.2.3 DATA OZÁŘENÍ A VÝPOČET ÚČINNOSTI
 - 2.2.4 VÝROBA FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU
 - 2.3 POUŽITÉ KOMPONENTY A JEJICH VLASTNOSTI
 - 2.3.1 MONOKRYSTALICKÉ PANELY
 - 2.3.2 POLYKRYSTALICKÉ PANELY
 - 2.3.3 BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ
 - 2.3.4 STŘÍDAČE/MĚNIČE
 - 2.3.5 OSTATNÍ KOMPONENTY
 - 2.4 METODIKA VÝPOČTU ŽIVOTNÍHO CYKLU
 - 2.4.1 DATABÁZE
 - 2.4.2 FUNKČNÍ JEDNOTKA
 - 2.4.3 SOFTWARE OPENLCA
3. VÝSLEDKY
4. ZÁVĚR
5. LITERATURA
 - 5.1 NORMY, VYHLÁŠKY A ZÁKONY
 - 5.2 CITACE

PŘÍLOHY

D.1 ARCHITEKTONICKO-STAVEBNÍ ŘEŠENÍ

D.1.1 ZPRÁVY

- | | | |
|-------|-------------------------------|---|
| D.1.1 | A – PRŮVODNÍ ZPRÁVA | - |
| D.1.1 | B – SOUHRNNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA | - |

D.1.2 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

- | | | |
|----------|--------------------------------|-------|
| D.1.2.01 | SITUAČNÍ VÝKRES ŠIRŠÍCH VZTAHŮ | - |
| D.1.2.02 | KOORDINAČNÍ SITUAČNÍ VÝKRES | 1:200 |

D.1.2.03	PŮDORYS 1.NP	1:100
D.1.2.04	PŮDORYS 2.NP	1:100
D.1.2.05	PŮDORYS 1.PP	1:100
D.1.2.06	PŮDORYS ZÁKLADŮ	1:100
D.1.2.07	PŮDORYS STŘECHY	1:100
D.1.2.08	ŘEZ A-A'	1:100
D.1.2.09	ŘEZ B-B'	1:100
D.1.2.10	POHLED OD SEVERU	1:100
D.1.2.11	POHLED OD ZÁPADU	1:100
D.1.2.12	POHLED OD JIHU	1:100
D.1.2.13	POHLED OD VÝCHODU	1:100
D.1.2.14	VÝKRES TVARU STROPU NAD 1.PP	1:100
D.1.2.15	SKLADBY KONSTRUKCÍ	-
D.1.3	POŽÁRNĚ-BEZPEČNOSTNÍ ŘEŠENÍ	
D.1.3.01	TECHNICKÁ ZPRÁVA	-
D.1.3.02	PROTOKOL Z PROGRAMU FIRENIX	-
D.1.3.03	SITUACE	1:200
D.1.3.04	PŮDORYS 1.PP	1:100
D.1.3.05	PŮDORYS 1.NP	1:100
D.1.3.06	PŮDORYS 2.NP	1:100
D.1.3.07	POHLED OD SEVERU	1:100
D.1.3.08	POHLED OD ZÁPADU	1:100
D.1.3.09	POHLED OD JIHU	1:100
D.1.3.10	POHLED OD VÝCHODU	1:100
D.1.4	STAVEBNÍ FYZIKA	
D.1.4.01	PENB	-
D.1.4.02	TEPELNÁ TECHNIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ	-
D.1.4.03	POSOUZENÍ OBJEKTU Z HLEDISKA AKUSTIKY A PROSLUNĚNÍ	-
D.1.4.04	TEPELNÁ STABILITA V MÍSTNOSTI V LETNÍM A ZIMNÍM OBDOBÍ	-
D.2	TECHNICKÉ ZAŘÍZENÍ BUDOV	
D.2.a.01	PŮDORYS 1.NP – SCHÉMA OSVĚTLENÍ	1:100
D.2.a.02	NÁVRH UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ - VÝPOČET	-
D.2.b.01	PŮDORYS 1.PP - SCHÉMA VZT	1:100
D.2.b.02	PŮDORYS 1.NP - SCHÉMA VZT	1:100
D.2.b.03	NÁVRH VZDUCHOTECHNIKY - VÝPOČET	-
D.2.c.01	PŮDORYS 1.PP – SCHÉMA CHLAZENÍ	1:100
D.2.c.02	PŮDORYS 1.NP – SCHÉMA CHLAZENÍ	1:100
D.2.c.03	PŮDORYS 2.NP – SCHÉMA CHLAZENÍ	1:100
D.2.c.04	PŮDORYS STŘECHY – SCHÉMA CHLAZENÍ	1:100
D.2.c.05	NÁVRH CHLAZENÍ - VÝPOČET	-

D.2.d.01	PŮDORYS ZÁKLADŮ – SCHÉMA VYUŽITÍ DEŠŤOVÉ VODY	1:100
D.2.d.02	PŮDORYS 1.PP – SCHÉMA VYUŽITÍ DEŠŤOVÉ VODY	1:100
D.2.d.03	PŮDORYS 1.NP – SCHÉMA VYUŽITÍ DEŠŤOVÉ VODY	1:100
D.2.d.04	PŮDORYS 2.NP – SCHÉMA VYUŽITÍ DEŠŤOVÉ VODY	1:100
D.2.d.05	PŮDORYS STŘECHY – SCHÉMA VYUŽITÍ DEŠŤOVÉ VODY	1:100
D.2.d.06	NÁVRH VYUŽITÍ DEŠŤOVÉ VODY – VÝPOČET	-
D.2.e.01	PŮDORYS 1.PP – SCHÉMA PLYNOVODU	1:100
D.2.f.01	PŮDORYS 1.PP – SCHÉMA POŽÁRNÍ VODY	1:100
D.2.f.02	PŮDORYS 1.NP – SCHÉMA POŽÁRNÍ VODY	1:100
D.2.f.03	PŮDORYS 2.NP – SCHÉMA POŽÁRNÍ VODY	1:100
D.2.g.01	PŮDORYS 1.PP – SCHÉMA VYTÁPĚNÍ	1:100
D.2.g.02	PŮDORYS 1.NP – SCHÉMA VYTÁPĚNÍ	1:100
D.2.g.03	PŮDORYS 2.NP – SCHÉMA VYTÁPĚNÍ	1:100
D.2.g.04	NÁVRH ZDROJE TEPLA – VÝPOČET	-
D.2.h.01	PŮDORYS ZÁKLADŮ – SCHÉMA KANALIZACE	1:100
D.2.h.02	PŮDORYS 1.PP – SCHÉMA KANALIZACE	1:100
D.2.h.03	PŮDORYS 1.NP – SCHÉMA KANALIZACE	1:100
D.2.h.04	PŮDORYS 2.NP – SCHÉMA KANALIZACE	1:100
D.2.h.05	PŮDORYS STŘECHY – SCHÉMA KANALIZACE	1:100
D.2.i.01	PŮDORYS 1.PP – SCHÉMA VODOVODU	1:100
D.2.i.02	PŮDORYS 1.NP – SCHÉMA VODOVODU	1:100
D.2.i.03	PŮDORYS 2.NP – SCHÉMA VODOVODU	1:100
D.2.j	SCHÉMA TZB VEDENÍ VE SVISLÝCH ŠACHTÁCH	1:20
D.2.k	GLOBÁLNÍ SCHÉMA	-

D.3 VOLITELNÁ ČÁST

D.3.01	SCHÉMA ROZMÍSTĚNÍ PANELŮ AEG – PŮDORYS STŘECHY	1:100
D.3.02	SCHÉMA ROZMÍSTĚNÍ PANELŮ CANADIEN SOLAR – PŮDORYS STŘECHY	1:100
D.3.03	SCHÉMA FV SYSTÉMU – PANELY AEG	-
D.3.04	SCHÉMA FV SYSTÉMU – PANELY CANADIEN SOLAR	-
D.3.05	SCHÉMA FV SYSTÉMU – PANELY AEG + BATERIE	-
D.3.06	MATERIÁLOVÉ ZASTOUPENÍ FV SYSTÉMU – PANELY AEG	-
D.3.07	MATERIÁLOVÉ ZASTOUPENÍ FV SYSTÉMU – PANELY CANADIEN SOLAR	-
D.3.08	MATERIÁLOVÉ ZASTOUPENÍ FV SYSTÉMU – PANELY AEG + BATERIE	-
D.3.09	VÝPOČET VÝROBY A SPOTŘEBY EL. ENERGIE DLE JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCŮ – PANELY AEG (MONOKRYSTAL)	-

D.3.10	VÝPOČET VÝROBY A SPOTŘEBY EL. ENERGIE DLE JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCŮ – PANELY CS (MONOKRYSTAL)	-
D.3.11	ŽIVOTNÍ CYKLUS FV ELEKTRÁRNY – SOFTWARE OPENLCA	-
D.3.12	TECHNICKÝ LIST – VZT JEDNOTKA – DUPLEX 8000 MULTI V	-
D.3.13	TECHNICKÝ LIST – MONOKRYSTALICKÉ PANELY AEG	-
D.3.14	TECHNICKÝ LIST – POLYKRYSTALICKÉ PANELY CS	-
D.3.15	TECHNICKÝ LIST – BATTERY BOX PREMIUM – HVM 16.6	-
D.3.16	TECHNICKÝ LIST – SOLÁRNÍ STŘÍDAČ FRONIUS	-

CELKOVÝ ÚVOD PRÁCE:

V mé diplomové práci, jsem se zabýval návrhem administrativní budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Práce se skládá ze tří částí.

V první části, jsem navrhl stavebně-konstrukční řešení stavby. Jedná se o třípodlažní objekt, který se nachází v mírně svažitém terénu. Je umístěn na okraji krajského města Hradec Králové, v obecní části Kukleny (kód KÚ 647209) v nadmořské výšce 235 m.n.m. První podzemní podlaží je částečně podsklepené. Nalezneme zde: výstavní sklad, servisní sklad, kolárnu, zázemí skladníka, kotelnu, technickou místnost a sociální zařízení pro dané podlaží. Pro velkorysejší architektonický vzhled, jsem zvolil koncepci objektu s ustupujícími podlažími, a proto je první nadzemní podlaží půdorysně menší a vzniká tak prostor pro venkovní terasu. V tomto podlaží je situována: zasedací místnost, kuchyňka, kanceláře – open space s příručním skladem, oddělené kanceláře a sociální zařízení pro dané podlaží. V tomto podlaží je umístěn i hlavní vstup do objektu a vede právě přes částečně zatravněnou terasu, vytvořenou ustupujícím podlažím. Nejvyšší podlaží, a to druhé nadzemní podlaží, má půdorysné rozměry opět o něco menší než první nadzemní podlaží, tím pádem opět vzniká prostor pro terasu, která je navržena jako pochozí plochá střecha, určená k relaxaci osob. Další místnosti v tomto podlaží jsou: menší zasedací místnost, opět kancelářské prostory a sociální zařízení pro dané podlaží. Nad druhým nadzemním podlažím nalezneme plochou střechu, na které jsou umístěny fotovoltaické panely. Celý objekt je vystavěn z kombinovaných, svislých, nosných prvků, což jsou obvodové stěny z keramických tvárnic tl. 300 mm a železobetonových obvodových stěn také tl. 300 mm. Vnitřní, nosné zdivo je tvořeno železobetonovými stěnami tl. 300 a 200 mm a keramickými stěnami tl. 200 a 115 mm. Příčky jsou tvořeny SDK stěnami tl. 100 mm. Podhledy v objektu jsou taktéž z SDK desek. Základ objektu tvoří železobetonová deska tl. 400 mm a podkladní betonová deska tl. 200 mm. Obvodové stěny jsou zatepleny částečně kontaktním zateplovacím systémem s tloušťkou tepelné izolace 270 mm a částečně provětrávanou fasádou s tloušťkou tepelné izolace 270 mm. Vodorovné nosné konstrukce jsou navrženy jako železobetonové desky tl. 250 mm, pouze stropní deska nad druhým nadzemním podlažím je tl. 350 mm. Tloušťka tepelné izolace potažmo celý objekt je navržen tak, aby vyhověl jako dům s téměř s nulovou potřebou

energie. Celková dodaná energie dle průkazu energetické náročnosti budovy činí 77,1 kWh/m²/rok. Celková energeticky vztažná plocha budovy je 1159,9 m². Celková plocha hodnocené obálky budovy je 1911,7 m². Objem budovy s upravovaným vnitřním prostředím je 4357,6 m³. Objemový faktor tvaru budovy je 0,44 m²/m³.

V druhé části jsem schematicky navrhl veškeré vedení TZB systémů a provedl návrh vybraných TZB systémů.

Tato část obsahuje:

- Schematický návrh umělého osvětlení pro tři vybrané místnosti
- Schematický návrh vzduchotechniky pro vybrané podlaží (1.NP) a návrh vzduchotechnické jednotky pro celý objekt
- Schematický návrh chlazení objektu a návrh chladicí jednotky pro celý objekt
- Schematický návrh využití dešťové vody a návrh akumulční nádrže
- Schematický návrh plynovodu
- Schematický návrh požární vody
- Schematický návrh vytápění a návrh zdroje tepla
- Schematický návrh kanalizace
- Schematický návrh vodovodu

Důležitou součástí je i výkres Globálního schématu, kde je shrnuté vzájemné propojení těchto systémů v objektu a jejich řízení. Podstatným dokumentem je PENB, který byl vyhotoven v softwaru od společnosti DEK. Průkaz tento objekt zařadil do klasifikační třídy A – mimořádně úsporné, s hodnotou 74,9 kWh/(m²*rok) a objekt proto splnil požadavky na budovu s téměř nulovou spotřebou energie, což bylo požadováno. Dalšími dokumenty týkající se této části jsou: Tepelná technika stavebních konstrukcí, Základní posouzení objektu z hlediska akustiky a proslunění, Tepelná stabilita v místnosti v letním a zimním období. Všechny tyto dokumenty jsou k nahlédnutí ve složce D.1.4 – Stavební fyzika.

V poslední části, jsem porovnával tři typy střešních, fotovoltaických elektráren a hodnotil jejich environmentální dopady. První typ fotovoltaické elektrárny byl tvořen monokrystalickými panely, druhý typ polykrystalickými panely a třetí opět monokrystalickými panely, ovšem se zabudovaným bateriovým úložištěm. Vyhodnocení environmentálních dopadů jsem provedl v softwaru Open LCA. Veškeré postupy byly provedeny dle platných vyhlášek a norem.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

HLAVNÍ TEXTOVÁ ČÁST

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S PROJECT

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vojtěch Výborný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL STRUHALA Ph.D.

BRNO 2022

Obsah

1. ÚVOD	15
2. METODY	16
2.1 PARAMETRY OBJEKTU	16
2.1.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE OBJEKTU	16
2.1.2 PARAMETRY STŘECHY	17
2.1.3 SPOTŘEBA OBJEKTU	18
2.1.4 POLOHA FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ (PANELŮ).....	18
2.2 VNĚJŠÍ SLUNEČNÍ VLIVY	20
2.2.1 DOBA OSLUNĚNÍ OBJEKTU.....	20
2.2.2 PROBLEMATIKA STÍNĚNÍ	21
2.2.3 DATA OZÁŘENÍ A VÝPOČET ÚČINNOSTI	22
2.2.4 VÝROBA FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU.....	27
2.3 POUŽITÉ KOMPONENTY A JEJICH VLASTNOSTI.....	29
2.3.1 MONOKRYSTALICKÉ PANELE	29
2.3.2 POLYKRYSTALICKÉ PANELE	29
2.3.3 BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ.....	30
2.3.4 STŘÍDAČE/MĚNIČE	31
2.3.5 OSTATNÍ KOMPONENTY.....	32
2.4 METODIKA VÝPOČTU ŽIVOTNÍHO CYKLU	33
2.4.1 DATABÁZE.....	33
2.4.2 FUNKČNÍ JEDNOTKA	35
2.4.3 SOFTWARE OPENLCA.....	35
3. VÝSLEDKY.....	42
4. ZÁVĚR.....	48
5. LITERATURA	49
5.1 NORMY, VYHLÁŠKY A ZÁKONY.....	49
5.2 CITACE	51

1. ÚVOD

Jako téma své třetí části diplomové práce, jsem si vybral posouzení a porovnání životního cyklu třech variant fotovoltaických elektráren a jejich environmentálních dopadů. Návrh fotovoltaických systémů jsem volil tak, abych obsáhl co nejpestřejší materiálové zastoupení. Všechny varianty jsou navrženy s běžně používanými komponenty, které lze v současné době využít, jsou běžně dostupné pro zákazníky a jejich technické listy a vlastnosti jsou volně dostupné a ověřitelné.

Ke zpracování diplomové práce, zabývající se problematikou fotovoltaických systémů a jejich environmentálních dopadů, mě vedlo povědomí o současné energetické krizi v České republice, potažmo na celém světě. Snažil jsem proniknout do dané problematiky a přiblížit čtenářům kladné i záporné stránky fotovoltaických systémů.

První varianta je navržena z fotovoltaických panelů, obsahujících monokrystalické, křemíkové články, bez možnosti ukládání vyrobené elektrické energie do baterie. Jako druhou variantu jsem se snažil najít odlišnou technologii, a proto jsem zvolil návrh z panelů, obsahující polykrystalické, křemíkové články a taktéž bez možnosti ukládání vyrobené energie do baterie. Třetí a poslední variantu, kterou jsem se rozhodl porovnat, bylo stejné materiálové řešení panelů, jako v první variantě (monokrystalické, křemíkové články) s tím rozdílem, že jsem do celého systému zakomponoval lithium-fosfátové bateriové úložiště, od kterého očekávám značné změny v environmentálních dopadech celého systému, oproti předchozím variantám, a to především kvůli materiálům obsažených v baterii.

Všechny tři typy fotovoltaických systémů jsou aplikovány na stejnou budovu, tím pádem i stejnou, plochou střechu se stále stejnými vnějšími vlivy (východ a západ slunce, povětrnostní i teplotní podmínky, lokalita, okolní zastínění a další). Pro jednotlivé varianty je ještě jeden velice důležitý parametr, který je stále totožný i neměnný, a to křivka spotřeby elektrické energie navrženého objektu.

Pro vyhodnocení svázaných emisí v obsažených materiálech, jsem zvolil software OpenLCA, který mi byl doporučen mým vedoucím práce. Výstupy ze softwaru OpenLCA jsem zpracoval do grafického znázornění a následně vyhodnotil rozdíly mezi jednotlivými navrženými variantami. Celou tuto práci, jsem se rozhodl vyhodnotit dle normy ČSN EN ISO 14040 - Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova.

V poslední fázi této práce jsem zvolil, dle mého, nejpříjemnější variantu z hlediska environmentálních dopadů a tu aplikoval na mnou navržený objekt.

Dle mého názoru, by bylo vhodné v této práci uvést celou podstatu fotovoltaiky a fotovoltaických systémů. Jedná se o princip fotovoltaického článku a tzv. fotovoltaický jev. Tento jev byl objeven v roce 1839 fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerelem, který přišel na to, že fotovoltaický článek je v podstatě polovodičová dioda. Jeho základem je křemíková deska s vodivostí typu P. Na ní se při výrobě vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N, obě vrstvy jsou odděleny tzv. P-N přechodem. Osvětlením článku slunečním zářením vznikne v polovodiči vnitřní fotoelektrický jev a v polovodiči se z krystalové mřížky začnou uvolňovat záporné elektrony. Na přechodu P-N se vytvoří elektrické napětí, které dosahuje u křemíkových článků velikosti zhruba 0,5 V. Energie dopadajícího světla se v článku mění na elektrickou energii. Připojíme-li k článku pomocí vodičů spotřebič, začnou se kladné a záporné náboje vyrovnávat a obvodem začne procházet elektrický proud. [10]

Celou práci jsem rozdělil do následujících kapitol:

- Metody – parametry objektu, vnější sluneční vlivy, použité komponenty a jejich vlastnosti, metodika výpočtu životního cyklu
- Výsledky – představení dosažených výsledků a jejich vzájemné porovnání
- Závěr – shrnutí a komentář zjištěných výsledků
- Literatura – přehled materiálů, ze kterých jsem čerpal

2. METODY

2.1 PARAMETRY OBJEKTU

2.1.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE OBJEKTU

Mým úkolem, bylo navrhnout administrativní budovu pro středně velkou firmu, přibližně se dvaceti zaměstnanci. Navrhl jsem třípodlažní objekt, který se nachází v mírně svažitém terénu. Je umístěn na okraji krajského města Hradec Králové, v obecní části Kukleny (kód KÚ 647209) v nadmořské výšce 235 m.n.m. První podzemní podlaží je částečně podsklepené. Nalezneme zde: výstavní sklad, servisní sklad, kolárnu, zázemí skladníka, kotelnu, technickou místnost a sociální zařízení pro dané podlaží. Pro velkorysejší architektonický vzhled, jsem zvolil koncepci objektu s ustupujícími podlažími, a proto je první nadzemní podlaží půdorysně menší a vzniká tak prostor pro venkovní terasu. V tomto podlaží je situována: zasedací místnost,

kuchyňka, kanceláře – open space s příručním skladem, oddělené kanceláře a sociální zařízení pro dané podlaží. V tomto podlaží je umístěn i hlavní vstup do objektu a vede právě přes částečně zatravněnou terasu, vytvořenou ustupujícím podlažím. Nejvyšší podlaží, a to druhé nadzemní podlaží, má půdorysné rozměry opět o něco menší než první nadzemní podlaží, tím pádem opět vzniká prostor pro terasu, která je navržena jako pochozí plochá střecha, určená k relaxaci osob. Další místnosti v tomto podlaží jsou: menší zasedací místnost, opět kancelářské prostory a sociální zařízení pro dané podlaží. Nad druhým nadzemním podlažím nalezneme plochou střechu, na které jsou umístěny fotovoltaické panely. Celý objekt je vystavěn z kombinovaných, svislých, nosných prvků, což jsou obvodové stěny z keramických tvárníc tl. 300 mm a železobetonových obvodových stěn také tl. 300 mm. Vnitřní, nosné zdivo je tvořeno železobetonovými stěnami tl. 300 a 200 mm a keramickými stěnami tl. 200 a 115 mm. Příčky jsou tvořeny SDK stěnami tl. 100 mm. Podhledy v objektu jsou taktéž z SDK desek. Základ objektu tvoří železobetonová deska tl. 400 mm a podkladní betonová deska tl. 200 mm. Obvodové stěny jsou zatepleny částečně kontaktním zateplovacím systémem s tloušťkou tepelné izolace 270 mm a částečně provětrávanou fasádou s tloušťkou tepelné izolace 270 mm. Vodorovné nosné konstrukce jsou navrženy jako železobetonové desky tl. 250 mm, pouze stropní deska nad druhým nadzemním podlaží je tl. 350 mm. Tloušťka tepelné izolace potažmo celý objekt je navržen tak, aby vyhověl jako dům s téměř s nulovou potřebou energie. Celková dodaná energie dle průkazu energetické náročnosti budovy (soubor D.1.4.01 – PENB) činí 77,1 kWh/m²/rok.

2.1.2 PARAMETRY STŘECHY

Velice důležitým prvkem celého objektu je střecha, na které jsou umístěny fotovoltaické moduly - panely. Jedná se o plochou střechu s rozměry 28,04 m x 8,89 m (včetně atik) a plochou 202,96 m². Skladba ploché střechy, je co nejvíce přizpůsobena aplikaci fotovoltaického systému pro usnadnění montáže a následných oprav fotovoltaického systému (Tab.1). Pro vyšší zatížení střechy je navržena železobetonová stropní deska tl. 350 mm a jako povrchová vrstva je folie pevného typu: DEKPLAN 76 z PVC-P. Celkový výkres této střechy je k nahlédnutí ve složce D.1.2 Výkresová dokumentace, výkres D.1.2.07 – Půdorys ploché střechy.

Tab.1 skladba ploché střechy:

R01	PLOCHÁ STŘECHA		
	DEKPROOF 01-A		
vrstva	popis vrstvy	typ nebo název vrstvy, poznámky	tloušťka (mm)
EXTERIÉR			
1	Hydroizolace	DEKPLAN 76 folie z PVC-P, mechanicky kotveno	1,5
2	Separční vrstva	FILTEK 300 netkaná textilie	-
3	Tepelná izolace (spádová vrstva)	EPS 150	250
4	Tepelná izolace	EPS 150	50 - 114
5	Parotěs, vzduchotěs, provizorní hydroiz.	GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL, asf. Pás	4
6	Přípravný nátěr podkladu	DEKPRIMER asfaltová emulze	-
	Skladba podlahy		305,5 - 379,5
7	Nosná konstrukce stropu	ŽB obousměrně pnutá deska	350
	Kce stropu		350
8	Vzduchová mezera	Mezera pro vedení VZT	470
9	Akustická izolace	Minerální vata např. ISOVER AKU	30
10	Nosná konstrukce SDK podhledu	Pozinkované CD profily	10
11	SDK kazety Gyptone	Typ desky dle účelu místnosti	10
	Podhled		520
INTERIÉR - SUTERÉN			
CELKOVÁ TLOUŠŤKA			1175,5 - 1249,5

2.1.3 SPOTŘEBA OBJEKTU

V předchozím čtení této práce, již o důležitosti spotřeby objektu byla řeč. Chtěl bych teď přiblížit, proč je tomu tak. Znalost minimálně orientační křivky spotřeby daného objektu, je jedním ze základních kamenů, pro návrh celého systému. Z tohoto důvodu bylo podstatné, si takovou křivku vytvořit i pro navrhovaný objekt. Takováto křivka spotřeby, byla vytvořena pro každý jednotlivý měsíc, jelikož se křivka dle měsíce liší. Vytvořil jsem si proto výčet všech elektrických zařízení, pro které bude nutné elektrickou energii dodat. Jedná se o patnáct různých položek, pro které bylo nutné dohledat jejich příkon a rozdělit jej, dle hodin a jejich uvažovaného použití. Tímto způsobem vznikla křivka spotřeba objektu, rozdělená po jednotlivých hodinách.

2.1.4 POLOHA FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ (PANELŮ)

Jedním z hlavních aspektů, při návrhu fotovoltaických systémů je určení jejich orientace ke světovým stranám s ohledem na orientaci budovy. Je důležité si uvědomit, že vhodné natočení fotovoltaických modulů, může tvořit opravdu značné rozdíly při výrobě elektrické energie, respektive může ovlivnit dobu, po kterou na panel dopadají sluneční paprsky a panel je schopný přetvářet tuto dopadající energii na energii elektrickou. V drtivé většině případů, je hned tou první myšlenkou orientace panelu na jižní stranu. Je dobré si ale uvědomit, že ne vždy je toto řešení vhodné, dokonce často i nemožné. Problematika tohoto návrhu často spočívá v definování křivky spotřeby elektrické energie celého objektu. K hlubšímu rozboru vhodného natočení, se vrátíme v bodě 2.2.1 Doba oslunění objektu.

Dalším podstatným aspektem při návrhu, je samotný náklon panelu. Při návrhu se snažíme docílit optimálního náklonu někde v rozmezí 0° až 90° . U šikmých střech je řešení sklonu panelu z velké části odlišné a v mé práci popisuji umístění panelů pouze na plochou střechu. Řešení této otázky opět není zcela jednoduché. Většina výrobců panelů udává rozmezí, které doporučuje pro instalaci jejich výrobků. Toto doporučení je samozřejmě důležité dodržovat, jelikož to jsou hodnoty, na které jsou panely testovány. Tímto doporučením se výběr náklonu ne zcela vyřeší, ale spíše zúží výběr. Jak tedy panely správně naklonit? Jedna správná odpověď na toto neexistuje. Návrh náklonu se vždy musí řešit s přihlédnutím k omezujícím parametrům střechy a okolních vlivů.

Pokud budou panely v příliš svislé poloze (např. 60° a více), panel sice dokáže „pochytat“ více paprsků v ranních či večerních hodinách, kde je slunce nízko nad horizontem, ale bohužel přicházíme o značné množství dopadající energie kolem pravého poledne, kdy je slunce nejvýše. Výhodou tohoto náklonu může například to, že vyšší náklon více chrání panel samotný před deštěm, sněhem či kroupami. Dopadající kapky či kroupy se šikmé, skleněné ploše snadněji svezou a tím alespoň částečně eliminujeme riziko poškození horní vrstvy panelu. Nevýhodou svislého náklonu je ovšem to, že je nutnost rozmístění panelů dále od sebe, a to kvůli úhlu dopadajících paprsků. Zkrátka, čím větší úhel od vodorovné roviny střechy zvolíme, tím delší stín bude panel vrhat na následující panel v ranních a večerních hodinách. Pokud budou panely nakloněny spíše s menším úhlem od vodorovné roviny střechy (např. do 30°), má i tato varianta své výhody i nevýhody. Čím nižší úhel zvolíme, tím méně paprsků na panel dopadne v ranních a večerních hodinách. V pravé poledne, je panel ovšem v téměř kolmé poloze k dopadajícím paprskům, což znamená že je panel schopný přeměnit maximální množství dopadajících paprsků. Nevýhodou tohoto náklonu je ovšem již dříve zmíněná problematika vlivů počasí. Dopadající déšť, sníh či kroupy dopadají téměř na vodorovnou plochu, a proto je šance poškození vrchní, skleněné vrstvy poměrně vyšší než v předchozí variantě. Při návrhu je proto podstatné se řídit doporučeními výrobce a návrh s ním konzultovat. Neméně důležitá je i konzultace s investorem, nastínit mu klady i zápory obou návrhů a společně dojít ke zdárnému návrhu.

Rád bych zde uvedl ještě jedno úskalí, které při návrhu fotovoltaických panelů hrozí. Je velice podstatné nezapomínat na řešení „cest“ mezi jednotlivými panely, pro případnou opravu či výměnu. Je zřejmé, že by při návrhu mělo být uvažováno s tím, že každý panel může postihnout defekt, nebo defekt kterékoli jeho části. Proto bychom měli umožnit vhodným rozmístěním panelů přístup ke každému panelu, který na střechu chceme umístit. Přiznám se,

že jsem nedokázal dohledat konkrétní údaj, jak daleko by panely od sebe měli minimálně být umístěny, a proto jsem se při mém návrhu snažil postupovat s rozumnými hodnotami rozmístění. Bezpochyby tímto není myšleno pouze rozmístění panelů mezi sebou, ale s okolními konstrukcemi, jako je například atika objektu.

V tomto odstavci, bych rád popsal můj, konkrétní návrh fotovoltaických systémů a rozmístění panelů na střeše a tím trochu shrnul výše zmíněné body. Při mém prvním pokusu o rozmístění panelů na střechu, jsem se snažil o návrh panelů kolmo k jižní straně. Jelikož můj objekt nebo jeho obvodové stěny nejsou v kolmosti s jihem, musel jsem panely natočit o přibližně 15° , abych dosáhl kolmosti k jihu. Získal jsem počet panelů x . Poté jsem se pokusil neřešit čistě orientaci na jižní stranu, nýbrž pokusit se panely umístit rovnoběžně s atikou (cca s 15° odklonem od jihu směrem k východu), a získal jsem počet panelů y . V mém druhém případě (y), jsem na střechu umístil více fotovoltaických panelů, než v prvním případě (x), a proto jsem se rozhodl nedodržet orientaci čistě na jih. Sice jsem přišel o pár minut svitu od západu, ale naopak jsem získal větší plochu panelů pro přeměnu dopadající sluneční energie. Ve finále jsem tím získal více dopadající energie od východu (dopoledne), což je pro typ mého objektu vhodnější, než energie od západu (odpoledne). Předpokládá se totiž, že v administrativní budově je větší spotřeba elektrické energie v dopoledních hodinách než v odpoledních. Sklon panelů na střeše jsem zvolil 5° od vodorovné roviny střechy. Výhody tohoto návrhu jsem zmínil výše. Tento způsob návrhu byl konzultován a následně posvěcen mým konzultantem na fotovoltaické systémy. Výkresy, znázorňující rozmístění panelů v obou mých variantách, lze najít ve složce D.3, výkresy D.3.01 a D.3.02.

2.2 VNĚJŠÍ SLUNEČNÍ VLIVY

2.2.1 DOBA OSLUNĚNÍ OBJEKTU

Jedny z prvních, vstupních hodnot, které je zapotřebí získat, jsou údaje o době oslunění objektu. Konkrétně se jedná o data východu a západu slunce na daných souřadnicích v daný den. Pro získání těchto dat, jsem využil webovou stránku: meteogram.cz [1]. V úvodu této stránky se dá vybrat lokalita umístění objektu, v mém případě Hradec Králové. V dalším kroku se dá vyhledat konkrétní datum, pro který chceme východ či západ slunce zjistit. Vzal jsem si tedy všechny denní hodnoty oslunění z měsíce ledna a aritmetickým průměrem získal průměrnou dobu slunečního svitu za tento měsíc. Tento postup jsem opakoval pro každý měsíc v roce. Pro moji práci jsem si vybral denní data z posledního úplného roku, což byl rok 2020. Pro přesnější zjištění těchto dat, by bylo vhodné vzít více předchozích let, například 5 let (2016-2020) a jejich

data oslunění zprůměrovat. Tímto by se částečně eliminovaly odchylky, které se staly pouze v roce 2020. Já tak neučinil z časových důvodů a zaměřil se pouze na rok 2020. Tyto data, by na výsledné posouzení environmentálních dopadů, měli mít minimální vliv. Využití těchto dat v mé práci, je možné dohledat ve složce D.3, výkresech D.3.09 a D.3.10. (Obr.1)

Lokalita: Hradec Králové - Kukleny

Výpočet průměrného měsíčního ozáření v daný měsíc:

měsíc	počet dní v měsíci	průměrný východ slunce*	průměrný západ slunce*	poměrná doba slunečního svitu (-)	teoretická doba slunečního svitu (h)
leden	31	7:48	16:30	0,36	8,64
únor	28	7:11	17:16	0,42	10,08
březen	31	6:12	18:05	0,5	12
duben	30	5:08	18:54	0,57	13,68
květen	31	4:17	19:38	0,64	15,36
červen	30	3:55	20:07	0,67	16,08
červenec	31	4:11	19:59	0,66	15,84
srpen	31	4:51	19:15	0,6	14,4
září	30	5:35	18:13	0,53	12,72
říjen	31	6:23	17:10	0,45	10,8
listopad	30	7:13	16:20	0,38	9,12
prosinec	31	7:48	16:04	0,34	8,16

Obr.1: využití dat o oslunění objektu ze souboru F.08

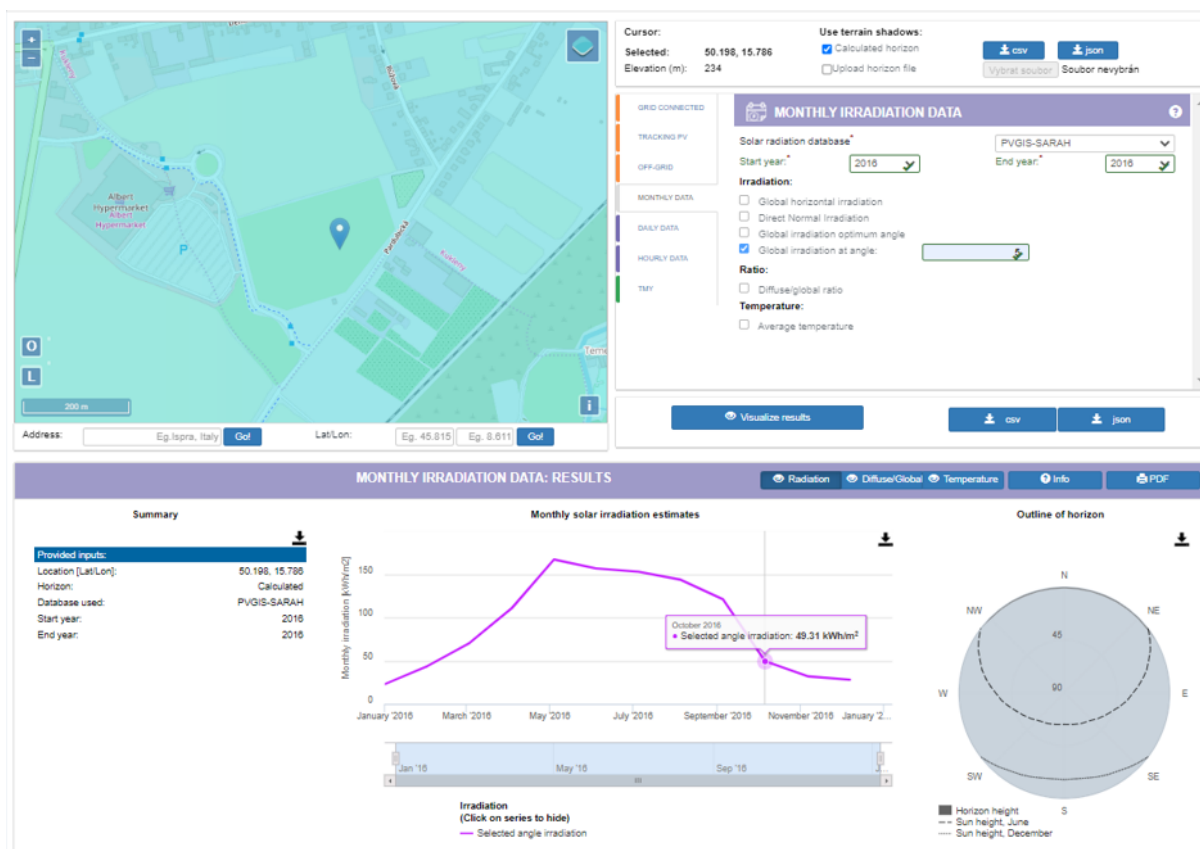
2.2.2 PROBLEMATIKA STÍNĚNÍ

Dalším důležitým aspektem při návrhu fotovoltaických systémů, je analýza prvků/objektů, které by mohly stínit fotovoltaickým panelům a tím snižovat jejich výrobu elektrické energie. Tomuto jevu není vždy zcela možné se vyhnout, proto je nutné ho, co nejvíce eliminovat. Mnou navržený objekt je samostatně stojící budova na okraji města, v okolí tedy nejsou další výškové budovy, které by objektu mohly stínit. Díky lokalitě výstavby, kterou je Hradec Králové, nejsou v blízkém okolí žádné hory, či vyšší kopce, a proto nehrozí ani značné zastínění horizontem. V okolí objektu nejsou žádné vzrostlé stromy, které by dosahovaly výše, než je úroveň atiky (8,9m nad úroveň upraveného terénu). Můžeme se proto zaměřit na stínící prvky, umístěné přímo na střeše. Troufám si tvrdit, že téměř na každé střeše se vyskytuje něco, co bude fotovoltaickému systému stínit. Zkrátka objekty nejsou stavěny primárně pro umístění fotovoltaických systémů, ale jsou pouze přidruženým systémem, který můžeme na budovu aplikovat. Primárním cílem výstavby objektu je její funkčnost, a proto je zde mnoho systémů, či konstrukcí, bez kterých se neobejdeme. V mém případě se jedná hned o několik takových prvků. Prvním z nich je atika, která je nedílnou součástí ploché střechy. Mezi další prvky bych zařadil komín, chladicí jednotka, výlez na střechu, meteostanice, anténa, odvětrání kanalizace

pomocí komínku nebo bleskosvod. Každý z těchto prvků je potenciální hrozbou stínění. V mé práci jsem uvažoval se situací, že tyto prvky na střeše zkrátka jsou a já se pokusím návrh uzpůsobit tak, aby fotovoltaickému systému vadily, co možná nejméně. Jsem si plně vědom toho, že některé prvky, v některých denních hodinách budou stínit a objekt tím bude přicházet o možnost vyšší výroby elektrické energie. Tato problematika lze relativně snadno vyřešit takzvanými výkonovými optimizéry, umístěnými na částečně zastíněných panelech. Já jsem tento problém hlouběji neřešil a optimizéry nenavrhoval, jelikož to není předmětem mé práce.

2.2.3 DATA OZÁŘENÍ A VÝPOČET ÚČINNOSTI

V tomto bodě bych rád přiblížil práci s daty ozáření. Ke zjištění těchto dat jsem využil webovou stránku: re.jrc.ec.europa.eu [2]. Z této adresy jsem získal data ozáření pro řešenou lokalitu – Hradec Králové (Kukleny). A co vlastně taková data ozáření znamenají? V mém případě se jedná o průměrné měsíční množství dopadající sluneční energie v dané lokalitě v kWh/m² (Obr.2). Zjednodušeně řečeno se jedná o údaj, jak moc v dané lokalitě v daný měsíc slunce svítí a s jakou silou. Pro zjištění těchto dat je nutné zadat rok, pro který chceme data získat, v mém případě jsem zvolil poslední rok, který webová stránka nabízí, tzn. rok 2016. Dalšími údaji, které po nás stránka vyžaduje, jsou stupně natočení panelu. V mém práci jsem použil náklon 5°. Na přiloženém obrázku níže můžeme vidět křivku hodnot, která je znázorněna růžovou barvou. Přesné hodnoty z obrázku bohužel nejsou možné ověřit, jelikož se zobrazí až při najetí kurzorem myši na danou křivku v daný měsíc. Pro ukázkou, jsem v měsíci říjnu, odečetl hodnotu 49,31kWh/m². Stejným způsobem jsem odečetl i další teploty.



Obr.2: křivka ozáření v dané lokalitě z re.jrc.ec.europa.eu

Využití těchto získaných dat, je podstatné pro výpočet Výkonu slunečního záření v daný měsíc – střední hodnota (G_m) (Tab.2). Vztah pro výpočet těchto hodnot je uveden na obrázku níže, společně s konkrétním postupem v mé práci.

Tab.2.: postup výpočtu střední hodnoty výkonu slunečního záření - G_m

Lokalita: Hradec Králové - Kukleny							
Výpočet průměrného měsíčního ozáření v daný měsíc:							
měsíc	počet dní v měsíci	průměrný východ slunce*	průměrný západ slunce*	poměrná doba slunečního svitu (-)	teoretická doba slunečního svitu (h)	Měsíční solární ozáření (kWh/m²) **	G _m (W/m²)
leden	31	7:48	16:30	0,36	8,64	23	176
únor	28	7:11	17:16	0,42	10,08	43,67	282
březen	31	6:12	18:05	0,5	12	70,41	312
duben	30	5:08	18:54	0,57	13,68	110,48	418
květen	31	4:17	19:38	0,64	15,36	167	522
červen	30	3:55	20:07	0,67	16,08	156,59	475
červenec	31	4:11	19:59	0,66	15,84	152,8	458
srpen	31	4:51	19:15	0,6	14,4	128,58	439
září	30	5:35	18:13	0,53	12,72	101,03	425
říjen	31	6:23	17:10	0,45	10,8	49,31	257
listopad	30	7:13	16:20	0,38	9,12	32,11	230
prosinec	31	7:48	16:04	0,34	8,16	25,1	214

MĚSÍČNÍ SOLÁRNÍ OZÁŘENÍ · 1000

POČET DNÍ V MĚSÍCI

TEORETICKÁ DOBA SLUN. SVITU – 4

· 1,1

4h = 2 hodiny ráno a 2 hodiny večer se zanedbatelným slunečním svitem

1,1 = 10% přirážka - den s jasnou oblohou

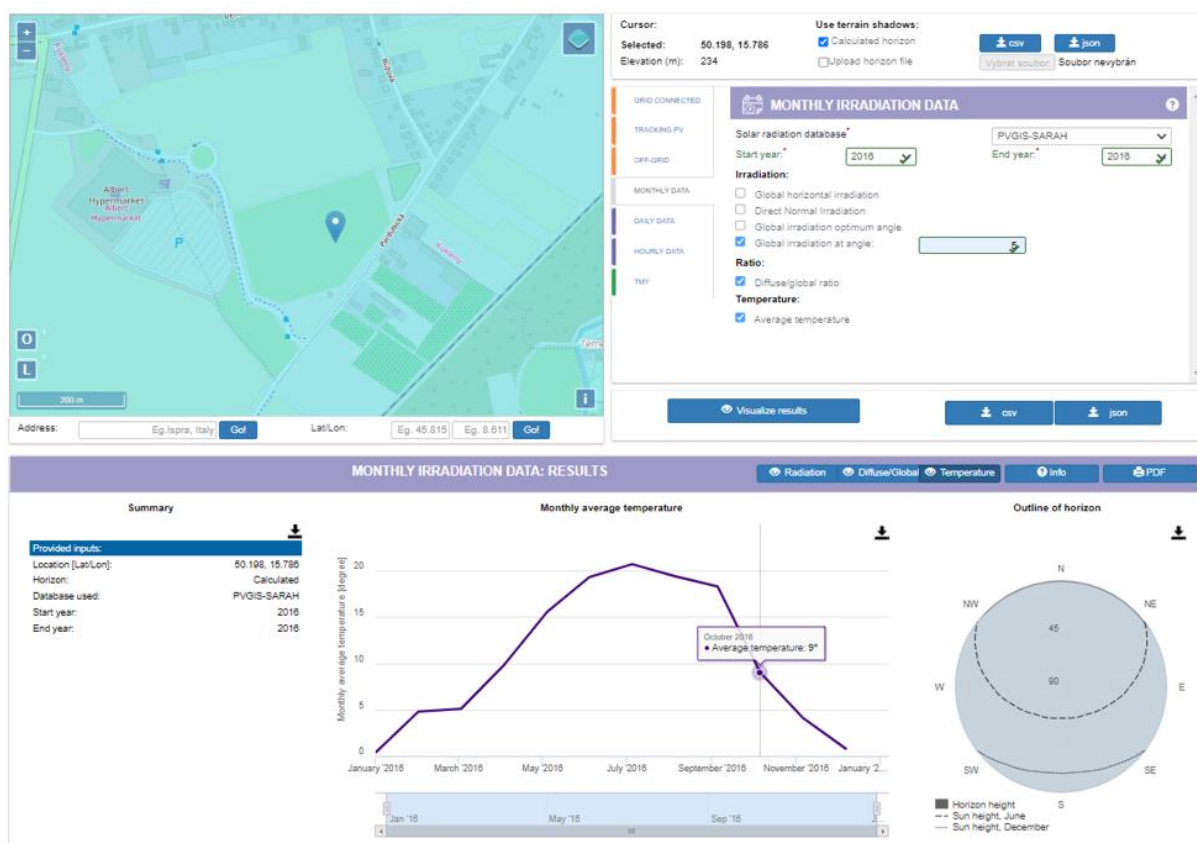
G_m...výkon slunečního záření v daný měsíc (střední hodnota)

Výkon slunečního záření dle měsíce

Měsíc	G _m (W/m²)
1	176
2	282
3	312
4	418
5	522
6	475
7	458
8	439
9	425
10	257
11	230
12	214

Z grafu v Tab.2 můžeme vidět, že nejnižší hodnota výkonu slunečního záření byla v měsíci lednu a to 176 W/m², naopak nejvyšší hodnota byla v květnu a to 522 W/m². Celková suma výkonu slunečního záření byla v pozorovaný rok 4209 W/m².

Ze stejné webové stránky jsem získal ještě další velice důležitý údaj. Mám tím na mysli hodnoty průměrné teploty vzduchu v daný měsíc v dané lokalitě (Obr.3). Postup je zcela totožný, jako při předchozím řešení. Pro ukázkou, jsem v měsíci říjnu, odečetl teplotu 9°C. Stejným způsobem jsem odečetl i další teploty.



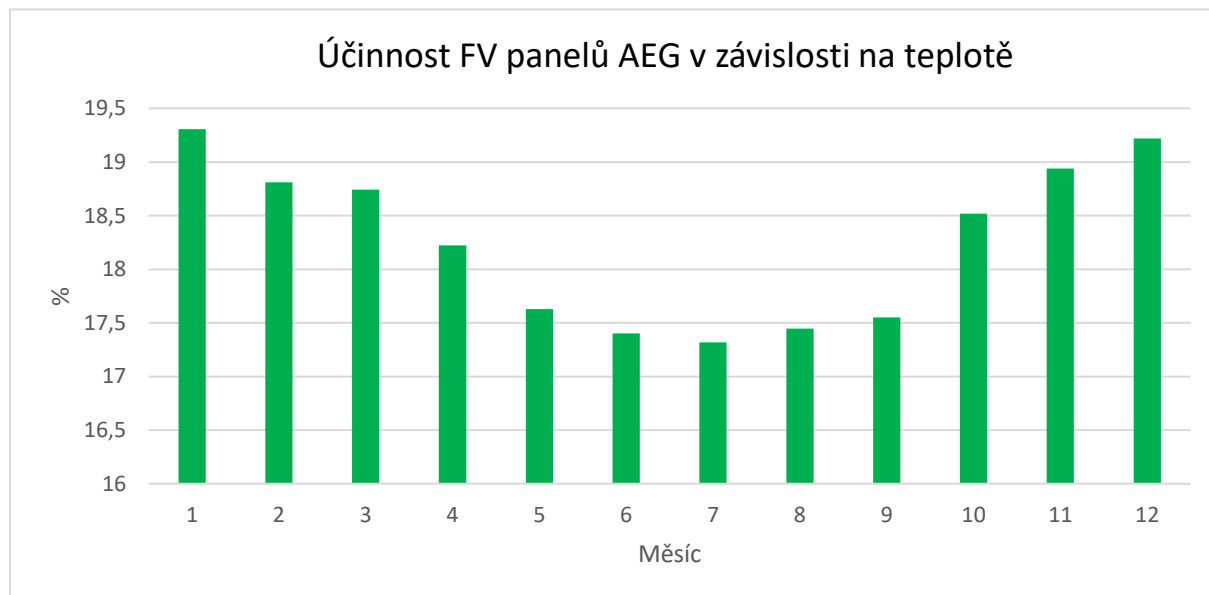
Obr.3: křivka průměrných, měsíčních teplot v dané lokalitě z re.jrc.ec.europa.eu

V tuto chvíli, by bylo vhodné zmínit, proč je řešení průměrné teploty v dané lokalitě důležité a je nutné s ní ve výpočtech uvažovat. Jedná se o další vlastnost fotovoltaických panelů, kterou je jejich výkonová stálost s vlivem teploty. V podstatě se jedná o fakt, kdy čím vyšší teplota panelu je, tím klesá jeho účinnost přetvoření sluneční energie na elektrickou energii. A samozřejmě opačně, čím nižší teplota panelu je, tím se účinnost zvyšuje. Je proto opravdu důležité řešit přehřívání panelů, které se týká především montáží na šikmé střechy, nebo jako součást fasády. Panely umístěné na šikmé střeše často nemají dostatečný prostor mezi samotným panelem a krytinou střechy. Tím vzniká přehřívání panelu a nepatrně klesá jeho účinnost. Ovšem v součtu těchto poklesů účinností u větších ploch, může dojít již ke značnému poklesu ve výkonu. Mnou navržené systémy jsou instalovány na ploché střechy, kde panely neleží přímo na náslapné vrstvě, a proto zde vzniká dostatečné odvětrání. Nicméně jsem i tento aspekt fotovoltaického systému zvažil a do výpočtů zakomponoval, abych se dostal na, co možná nejhorší možný stav, který lze nasimulovat. Uvažuji proto s tím, že mnou vypočtené účinnosti jsou v některých měsících nižší (horší), než údaje od výrobce (Tab.3). Vzorec pro výpočet těchto účinností je uveden v obrázku níže (Tab.4). Výpočet je proveden i s redukčními součiniteli (ztráty vedení, atd.).

Tab.3.: postup výpočtu účinnosti panelů AEG (monokrystalické) – n_{FV}

Účinnost FV panelů v závislosti na teplotě s redukčními součiniteli ze ztráty vedením:								
měsíc	G _m (W/m²)	G _m /G _{ref} (-)	ln(G _m /G _{ref}) (-)	k (-)	te (°C)	hrnatá závorka	účinnost panelů AEG (%)	účinnost panelů AEG s redukčními souč. (0,9 a 0,92) (%)
leden	176	0,17589	-1,738	-0,023	0,4	1,093674096	23,31713173	19,30658508
únor	282	0,282172	-1,265	-0,0316	4,8	1,065512575	22,71672811	18,80945087
březen	312	0,312302	-1,164	-0,0344	5,1	1,061697415	22,63538888	18,742102
duben	418	0,418485	-0,871	-0,0459	9,8	1,032224168	22,00701927	18,22181196
květen	522	0,521638	-0,651	-0,0615	15,5	0,998601793	21,29019024	17,62827752
červen	475	0,475301	-0,744	-0,0538	19,3	0,985719092	21,01553105	17,40085971
červenec	458	0,457934	-0,781	-0,0512	20,7	0,980997302	20,91486248	17,31750613
srpen	439	0,438703	-0,824	-0,0485	19,4	0,988309811	21,07076517	17,44659356
září	425	0,42482	-0,856	-0,0467	18,3	0,99429951	21,19846555	17,55232948
říjen	257	0,25731	-1,357	-0,0295	9	1,049091461	22,36662996	18,5195696
listopad	230	0,229954	-1,470	-0,0272	4,1	1,072916869	22,87458764	18,94015857
prosinec	214	0,214097	-1,541	-0,026	0,8	1,088750031	23,21215067	19,21966075
G _{ref} =	1000	W/m²	G _{ref} ...referenční teplota článku 25 °C, záření v rovině G _{ref} = 1 kW/m², referenční sluneční spektrum AM = 1,5					
Δη _G =	4	%	Δη _G ...určeno dle tab. Č1 - typ fotovoltaických panelů					
η _{ref} =	20,5	%	η _{ref} ...referenční účinnost panelu AEG (z technického listu výrobce)					
NOCT =	44	°C	NOCT...jmenovitá provozní teplota článku (z technického listu výrobce)					
γ =	-0,34	%/K	γ...teplotní součinitel výkonu (z technického listu výrobce)					
k...součinitel snížení výkonu při menším ozáření								
redukční součinitel 0,9 = optické ztráty cca 10%								
redukční součinitel 0,92 = ztráty orientační (DC - 2%, měnič a sledovač výkonného max. - 5%, AC vedení - 1%) cca 8%								
Použité vzorce:								
$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left[1 + \frac{\gamma}{100} \cdot \left(t_{es} + \left(1 - \frac{n_{ref}/100}{0,95} \right) \cdot \frac{G_m}{G_{ref}} \cdot (NOCT - 20) - 25 \right) \right] \left(1 + k \ln \cdot \frac{G_m}{G_{ref}} \right)$								
$k = \frac{\Delta\eta_G}{\ln \frac{G_m}{G_{ref}}}$								

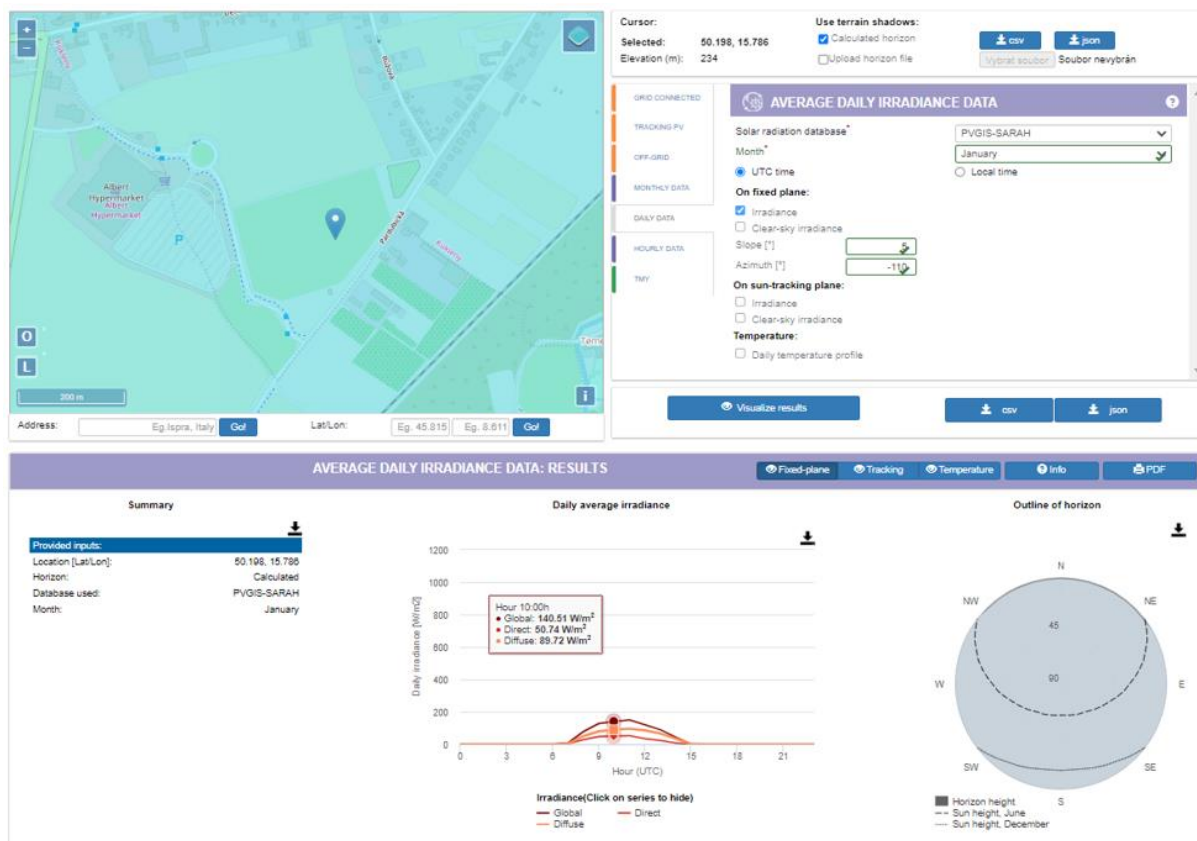
Tab.4: účinnost panelu v závislosti na průměrné teplotě v daný měsíc



V Tab.4 můžeme vidět průběh účinností monokrystalického panelu AEG v závislosti na teplotě. Nejvyšší účinnost byla v měsíci lednu, a to 19,3 %, naopak nejnižší účinnost má panel v měsíci červenci, a to 17,3 %. Průměrná účinnost panelu v závislosti na teplotě byla 18,3 %, což je o 2,2 % méně, než referenční účinnost panelu, kterou udává výrobce (20,5 %).

2.2.4 VÝROBA FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

K samotné výrobě fotovoltaického systému, se dostaneme přes denní data ozáření, opět již ze zmíněné webové stránky: re.jrc.ec.europa.eu [2].



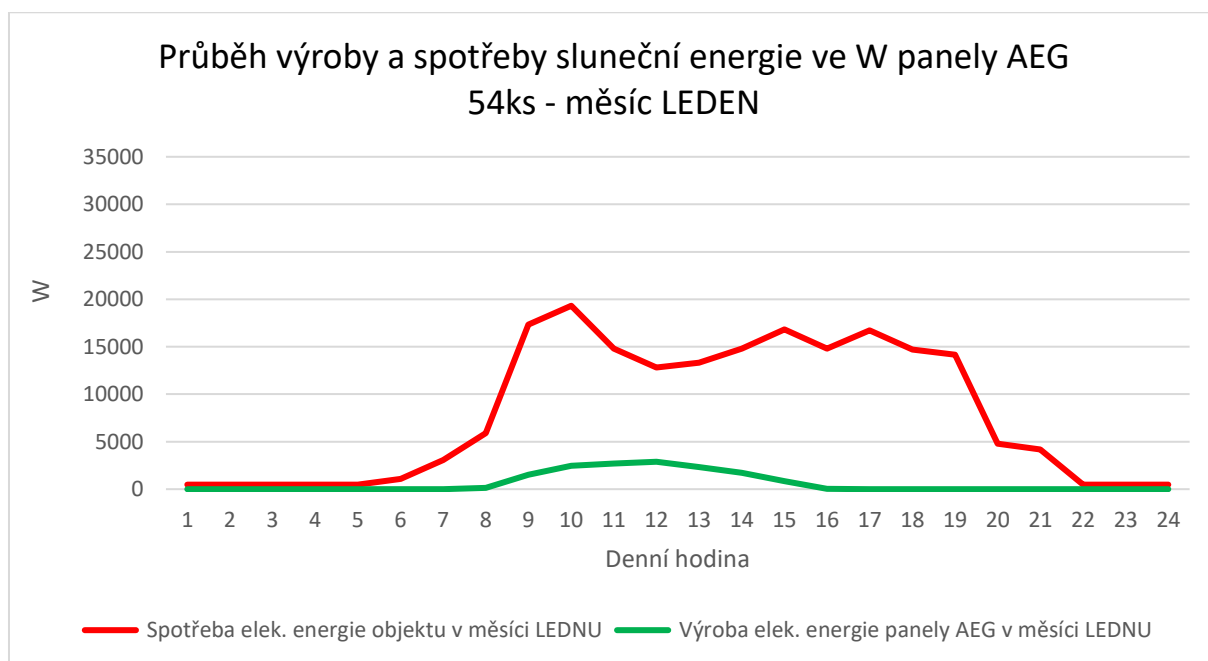
Obr.4: křivka denního ozáření v dané lokalitě z re.jrc.ec.europa.eu

Denní data ozáření lze získat podobným způsobem, jako při určení měsíčních dat ozáření (Obr.4). Opět je zde nutné zadání náklonu panelu, ovšem v tomto případě se data dělí i na základě měsíce. Pro ukázkou, jsem v 10h, odečetl hodnotu $140,51 \text{ W/m}^2$. Stejným způsobem jsem odečetl i další teploty. Tímto postupem byla vytvořena tabulka hodnot (H_m – denní data ozáření), která je v souborech F.08 a F.09. Tato zjištěná data následně použijeme pro výpočet vyrobené energie fotovoltaickým systémem během jednotlivých hodin (Obr.5). Jednotlivá hodinová data jsem následně vynásobil s celkovou plochou fotovoltaických panelů a již zmíněnou účinností panelů v daný měsíc. Více na obrázku níže.

Vyrobená energie navržené fotovoltaické elektrárny během jednotlivých hodin:					
počet panelů AEG dle výkresové dok.:	54	ks			
plošný rozměr panelu AEG:	1,85	m ²			
celková plocha panelů AEG na střeše - A _{FV} :	99,9	m ²			
účinnost panelů AEG s redukčními souč. (0,9 a 0,92) - n _{FV} :	19,31	%	19,31/100 =	0,1931	
Vzorec pro výpočet vyrobené energie FV systémem AEG:					
E _{FV} = 0,9 * n _{FV} * H _m * A _{FV} * (1 - p)		Poz.: Redukční součinitele 0,9 a 0,92 (1 - p) jsou zahrnuty v předchozím výpočtu celkové účinnosti panelu AEG.			
E _{FV} = n _{FV} * H _m * A _{FV}					
E _{FV} - denní produkce elektrické energie (W/den)					
n _{FV} - účinnost panelů AEG s redukčními souč. (0,9 a 0,92) (%)					
H _m - denní dávka dopadající sluneční energie (W/m ²)					

Obr.5: výpočet vyrobené energie fotovoltaickým systémem

Tímto postupem dostaneme grafické porovnání výroby elektrické energie fotovoltaickým systémem a spotřebu elektrické energie objektem, pro každý jednotlivý měsíc v roce (Obr.6). V níže uvedeném obrázku č.6 je znázorněn průběh hodnot v měsíci lednu, který jsem vybral pouze jako ukázkový měsíc. Stejně grafické průběhy v každý jednotlivý měsíc, jsem vyhotovil stejným postupem a jsou k nahlédnutí ve složce D.3, výkresech D.3.09 a D.3.10.



Obr.6: grafické znázornění výroby a spotřeby v měsíci lednu

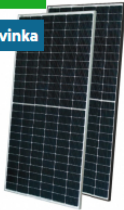
2.3 POUŽITÉ KOMPONENTY A JEJICH VLASTNOSTI

2.3.1 MONOKRYSTALICKÉ PANELY

Ve své práci, jsem pracoval se dvěma typy fotovoltaických panelů. V prvním případě, jsem ve spolupráci se svým konzultantem na fotovoltaiku vybral monokrystalické panely od firmy AEG, konkrétně se jedná o typ AS-M1203 (Obr.7). Jedná se o jednu z nejmodernějších technologií v tomto odvětví, o tzv. half-panel (half-cut články M6). Technický list tohoto produktu je k nahlédnutí ve složce D.3, výkres D.3.13. Výkon jednoho panelu je 380 Wp, hmotnost je přesně 20 kg a vyrábí se v rozměrech 1048 x 1765 mm. Jeho referenční účinnost (n_{ref}) v laboratorních podmínkách je 20,5 %.

Skladem

Novinka



AEG solární moduly kombinují nejmodernější technologii s vysokou spolehlivostí při výrobě a nabízejí vám produkt určený pro maximální výkony. Solární panel AEG je navržen tak, aby dosahoval maximálního výkonu a poskytoval dodatečné výnosy a zvýšení výkonu vaší elektrárny. Výrobní procesy solárních modulů AEG splňují přísná kritéria kvality, a tak poskytují zaručenou a dlouhodobou funkčnost panelu.

Možnost prodloužení produktové záruky na 20, 25 let

Monokrystalický panel

Rám: **černá/bílá**

Velikost: **standard**

Výkon: **380 Wp**

Délka: **1765 mm**

Šířka: **1048 mm**

Váha: **20.00 kg**

Produktová záruka: **15 let**

Záruka výkonu: **84,8 % / 25 let**

SVT kód: **SVT25694**

Produktový list

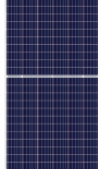
Certifikáty

Obr.7: technický štítek z webových stránek prodejce [3]

2.3.2 POLYKRISTALICKÉ PANELY

Jako další typ fotovoltaického panelu, jsem se svým konzultantem na fotovoltaiku vybral polykrystalické panely od firmy Canadien Solar, konkrétně se jedná o typ CS3W-420P (Obr.8). Taktéž se jedná o technologii half-panel (half-cut články M6). Technický list tohoto produktu je k nahlédnutí ve složce D.3, výkres D.3.14. Výkon jednoho panelu je 420 Wp, hmotnost je přesně 24,5 kg a vyrábí se v rozměrech 1048 x 2108 mm. Jeho referenční účinnost (n_{ref}) v laboratorních podmínkách je 19 %.

Na objednávku



Canadian Solar CS3W-420P

Nová řada s M6 články. Fotovoltaické panely Canadian Solar používají inovativní technologické postupy výroby solárních buněk zvyšující výkon a stabilitu panelu. Tento typ panelů Canadian Solar inovuje již 17 let neustálým zdokonalováním designu modulu skrze BOM testy kvality, automatizaci výrobního procesu a 100% EL testování.

Polykrystalický panel

Rám: **stříbrná/bílá**

Velikost: **velkoformátový**

Výkon: **420 Wp**

Délka: **2108 mm**

Šířka: **1048 mm**

Váha: **24.50 kg**

Produktová záruka: **12 let**

Záruka výkonu: **84.8% / 25 let**

SVT kód: **SVT25152**

Produktový list

Certifikáty

Obr.8: technický štítek z webových stránek prodejce [3]

29

2.3.3 BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ

Tento bod se týká pouze třetí varianty mého návrhu, kdy jsem do konceptu fotovoltaického systému s monokrystalickými panely AEG zkusil zakomponovat bateriové úložiště. Tato myšlenka pro mnou navržený objekt není zcela vhodná, a to především kvůli křivce spotřeby energie v objektu. Jelikož se jedná o administrativní budovu, předpokládá se, že nejvyšší denní spotřeba elektrické energie bude v rozmezí 8:00 – 16:00, kdy jsou všichni zaměstnanci přítomni, je v provozu nejvíce spotřebičů (kávovar, konvice, atd.), pracovních pomůcek (PC, tiskárny, atd.), či TZB systémů (vytápění, chlazení, VZT, atd.). Vyrobená energie při slunečním svitu, se proto rovnou spotřebovává a není žádoucí vyrobenou elektrickou energii ukládat do baterie. Energie se v navrženém objektu bude ukládat do baterie pouze v ranních či večerních hodinách, a to pouze v malém množství, kvůli nízkému osvitu v těchto částech dne. I přes tyto skutečnosti jsem do jedné z variant navrhl bateriové úložiště, především pro ověření environmentálních dopadů v podobě svázaných emisí.

Návrh kapacity baterie v mém případě je pouze ukázkový. Při návrhu kapacity baterie například do ostrovního systému, vstupují data nejen o výrobě elektrické energie, ale také o spotřebě dané energie objektem. V jednom z předchozích bodů (2.2.5) můžete vidět, že spotřeba objektu značně převyšuje výrobu fotovoltaickým systémem. Tudíž by výpočet baterie nedával smysl, respektive by nám ukázal, že baterie v tomto systému není zapotřebí. Výběr baterie proto proběhl odborným odhadem mého konzultanta na fotovoltaiku, vzhledem k velikosti objektu, jeho spotřeba a výroby fotovoltaickým systémem.

Vybraný produkt s názvem Battery box premium - HVM 16.6 [15] (Obr.9), je bateriové úložiště složené z 6 jednotlivých bateriových boxů (jednotek), každé s výkonem 2,76kWh, tzn. s celkovým výkonem 16,56kWh. Jedná se technologii na bázi fosforečnanu lithno-železitého (LFP). Rozměry battery boxu jsou 1644 x 585 x 298 mm (v x š x h) a jeho hmotnost je 243 kg. Kompletní technický list tohoto produktu je k nahlédnutí ve složce D.3, výkres D.3.15.



Obr.9: battery box premium – HVM 16.6 [15]

2.3.4 STŘÍDAČE/MĚNIČE

Nedílnou součástí fotovoltaických systémů jsou i hybridní AC/DC střídače. Já jsem do své práce vybral dva střídače, každý pro jednu variantu fotovoltaické elektrárny, a to vždy dle velikosti instalovaného výkonu. V první variantě s monokrystalickými panely jsem vybral Solární střídač Fronius SYMO 17.5-3-M s maximálním výstupem 26,3 kWp. Do druhé varianty s polykrystalickými panely jsem vybral Solární střídač Fronius SYMO 12.5-3-M [12] s maximálním výstupem 18,8 kWp (Obr.10). V obou případech je splněna maximální hodnota vstupu instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny v kWp. Kompletní technický list těchto produktů je k nahlédnutí ve složce D.3, výkres D.3.16.



Obr.10: hybridní AC/DC střídač Fronius SYMO 12.5-3-M [12]

2.3.5 OSTATNÍ KOMPONENTY

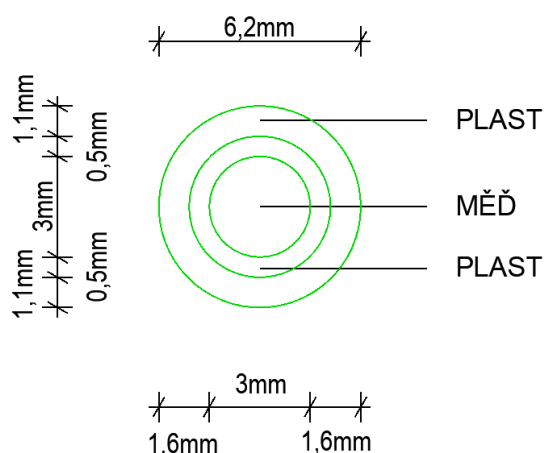
Mezi ostatními komponenty bych rád uvedl všechny zbylé prvky fotovoltaického systému, se kterými jsem v následujícím výpočtu uvažoval a jejich materiálové zastoupení jsem zahrnul.

Jako kotvící/nosný prvek panelů na ploché střeše jsem využil systému Phaseun 390856 mono axial two [11] (Obr.11). Jedná se o nosný systém z hliníku, s možností náklonu panelu od 5° do 90° .



Obr.11: kotvící systém Phaseun 390856 mono axial [11]

Mezi další uvažované prvky patří kabeláž. Kabeláž lze rozřadit do typu AC kabeláž a DC kabeláž. Dle doporučení mého konzultanta na fotovoltaiku, jsem oba druhy kabelového vedení uvažoval s průměrem 6 mm. Vodič v tomto kabelu je z mědi a krytí kabelu je dvojité z polyethylenu [14] (Obr.12).



Obr.12: detailní rozkreslení průřezu kabelu [14]

Posledním uvažovaným komponentem je rozvaděč. Skříň rozvaděče je uvažována ocelová o rozměrech 300 x 600 x 150 mm (š x v x d). V něm bude osm proudových chráničů, potřebná kabeláž a kotvící prvky z oceli.

Dohledání některých konkrétních údajů k jednotlivým prvkům fotovoltaického systému, není vždy úplně jednoduché. U technických parametrů daného komponentu, ve většině případů není problém. Problém nastává ve chvíli, kdy jsem ke svým výpočtům potřeboval získat data, která výrobce neuvádí ve svých technických listech výrobků. Často se jedná o „know how“ dané firmy či výrobku a pokud by takovouto informaci zveřejnili, jejich výrobek by přišel o jedinečnost. Některé informace se mi podařilo skrze emailové komunikace s výrobcem získat, bohužel se mi to ale nepodařilo ve všech případech. Proto jsme byli nuceni s mým konzultantem přes fotovoltiku několikrát využít odborného odhadu a například z celkové hmotnosti výrobku určit, potřebné dílčí hmotnosti jednotlivých materiálů. Tento způsob zjištění dat samozřejmě není ideální, v některých případech bohužel nebylo jiné cesty. Faktem je ovšem to, že veškeré tyto odborné odhady, byly aplikovány ve všech třech variantách návrhu, tím pádem je případná chyba odhadu ve všech variantách stejná a výsledky by to nemělo závažným způsobem ovlivnit.

2.4 METODIKA VÝPOČTU ŽIVOTNÍHO CYKLU

2.4.1 DATABÁZE

Pro vyhledání předdefinovaných procesů a toků jsem využil dvě různé volně stažitelné databáze. První z nich s názvem: elcd_3_2_greendelta_v2_18, druhá z názvem: needs_18. Obě zmíněné databáze jsou po registraci volně ke stažení na webových stránkách openlca.org (4).

Tvorba správného modulu životního cyklu je první a také velice důležitou fází celého postupu. Ve finální fázi je ovšem ještě jeden krok, který důležité pečlivě zvážit. Tento krok se týká výběru správné výpočetní domény. Já jsem pro své vyhodnocení zvolil výpočetní doménu s názvem: EPD (2018), která splňuje náležitosti platné normy ČSN EN 15804 +A1 (730912) (Obr.16).

General information: EPD (2018)

▼ General information

Name: EPD (2018)

Description: This method is the successor of EPD (2013) and is intended for the creation of Environmental Product Declarations (EPDs), as published on the website of the Swedish Environmental Management Council (SEMC). For more information see also General programme instructions for the international EPD System 3.0 of 11 December 2017. The latest update to the recommendations included in this method is from 2018-06-08 (adding Water Scarcity Footprint). Contact info: <http://www.environdec.com/>. In the standard EPDs one only has to report on the following impact categories: (1) Acidification potential ('Acidification (fate not incl.)'); (2) Eutrophication potential (in SimaPro 'Eutrophication'); (3) Global warming potential ('Global warming (GWP100a)'); (4) Photochemical oxidant creation potential ('Photochemical oxidation'); (5) Abiotic resource depletion, elements ('Abiotic depletion, elements'); (6) Abiotic resource depletion, fossil fuels ('Abiotic depletion, fossil fuels'); (7) Water Scarcity Footprint ('Water scarcity'). Additional indicators:

Version: 00.00.000

UUID: b9801f4d-8a69-3ce9-8fc3-07fc67b5b80b

Last change:

▼ Impact categories

Name	Description	Reference unit
Abiotic depletion, elements		kg Sb eq
Abiotic depletion, fossil fuels		MJ
Acidification (fate not incl.)		kg SO2 eq
Eutrophication		kg PO4--- eq
Global warming (GWP100a)		kg CO2 eq
Ozone layer depletion (ODP) (optional)		kg CFC-11 eq
Photochemical oxidation		kg NMVOC
Water scarcity		m3 eq

Obr.16: informační legenda k výpočetní doméně EPD (2018)

Výpočetní doména EPD (2018) vyhodnocuje osm různých environmentálních dopadů. Výčet těchto dopadů je zobrazen na obrázku výše s jejich jednotkami.

Překlad názvů environmentálních dopadů:

Abiotic depletion, elements = Potenciální vyčerpání nefosilních zdrojů (minerály, kovy,...),
jednotky: kg Sb eq

Abiotic depletion, fossil fuels = Potenciální vyčerpání fosilních zdrojů (uhlí, uhlík, ropa,...),
jednotky: MJ

Acidification (fate not incl.) = Potenciální okyselení půdy a vody,
jednotky: kg SO2 eq

Eutrophication = Potenciální nepřirozená eutrofizace - znečištění vod nutričními prvky,
jednotky: kg PO4 eq

Global warming (GWP100a) = Potenciální globální oteplování - únik skleníkových plynů,
jednotky: kg CO2 eq

Ozone layer depletion (ODP) (optional) = Potenciální narušování ozonové vrstvy ve stratosféře,
jednotky: kg CFC-11 eq

Photochemical oxidation = Potenciální fotochemická oxidace plynů v atmosféře,
jednotky: kg NMVOC

Water scarcity = Potenciální nedostatek vody v daném regionu,
jednotky: m3 eq

[16] (Obr.16)

Software OpenLCA pro provedení výpočetních úkonů vytvoří soubor excel, ve kterém jsou spočteny přesné hodnoty environmentálních dopadů v jednotlivých kategoriích. Zpracované hodnoty do tabulkové podoby s vytvořenými grafy pro větší přehlednost si představíme v následujícím bodě.

2.4.2 FUNKČNÍ JEDNOTKA

Jako funkční jednotku pro porovnání zjištěných výsledků, jsem si zvolil poměr mezi Roční celkovou výrobou fotovoltaické elektrárny a Environmentálními dopady vyhodnocených programem OpenLCA.

Roční celková výroba fotovoltaických elektráren:

- Fotovoltaické elektrárny s monokrystalickými panely AEG – 54 ks bez bateriového úložiště = 20,107 MW.
- Fotovoltaické elektrárny s polykrystalickými panely Canadien Solar – 36 ks bez bateriového úložiště = 15,237 MW.
- Fotovoltaické elektrárny s monokrystalickými panely AEG – 54 ks s bateriovým úložištěm = 20,107 MW.

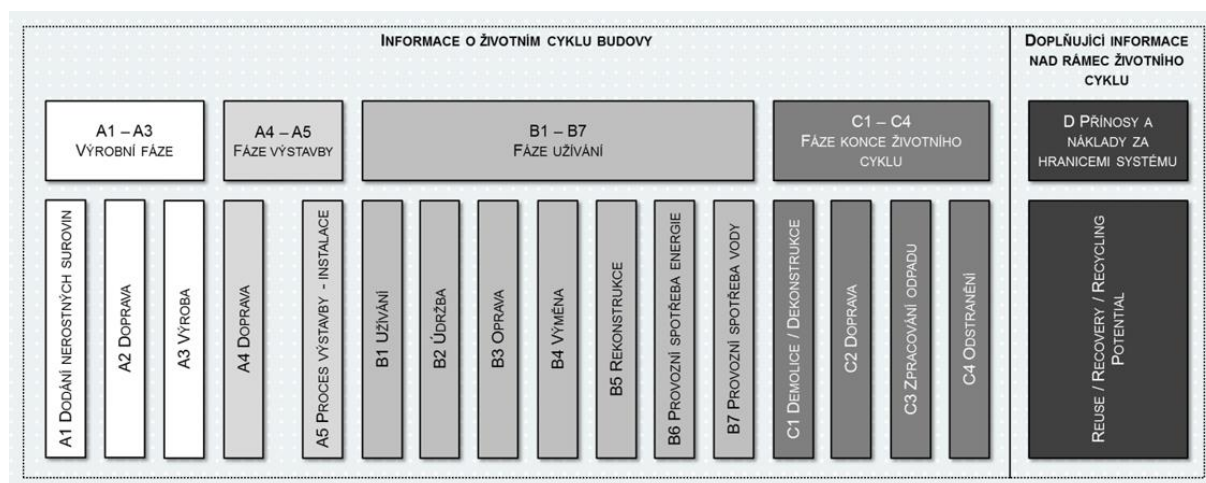
Environmentální dopady vyhodnocené programem OpenLCA viz Obr.16.

2.4.3 SOFTWARE OPENLCA

Pro zpracování mé finální fáze jsem si zvolil software OpenLCA 1.10.3. Jedná se o volně dostupný software pro vyhodnocení udržitelnosti a životního cyklu. Tento program je schopný definovat všechny environmentální dopady použitých materiálů, s ohledem na jejich množství či lokaci. Do tohoto softwaru lze nahrát několik různých vyhledávacích databází, které spolu lze i kombinovat. Tyto databáze obsahují procesy (processes) a toky (flows), díky kterým lze vytvářet myšlenkové mapy a vzájemně je propojovat. Jednotlivé procesy i toky je možné si vytvořit vlastní a následně pomocí flow je propojit s materiály, které do dané fáze vstupují a vystupují. Základem tedy je tvorba pomyslné životní „cesty“ od výroby posuzovaného objektu, až po jeho zánik (from cradle to grave). Pod zmíněným slovem „objekt“ si lze představit více různých prvků. Můžeme posuzovat objekt jako celek, jeho dílčí části (např. podlahy či stěny) nebo třeba jednotlivý výrobek. V mém případě v programu posuzuji tři různé druhy

fotovoltaických elektráren. Základním vstupem pro tvorbu takového životního cyklu je samotná definice jednotlivých částí životního cyklu.

Dle životního cyklu produktu z normy ČSN EN 15804 +A1 (730912) (Obr.17) – Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů, jsem sestavil pomyslnou časovou osu, kterou fotovoltaické elektrárny procházejí:



Obr.17: fáze životního cyklu dle ČSN EN 15804 +A1

A1 – Dodání nerostných surovin – Dopady spojené s těžbou nerostných surovin.

A2 – Doprava – Dopady spojené s dopravou nerostných surovin do výroby.

A3 – Výroba – Dopady spojené s výrobou daného produktu.

A4 – Doprava – Dopady spojené s dopravou produktu na místo zabudování.

A5 – Proces výstavby – instalace – Dopady spojené se zabudováním produktu do celku v místě užívání.

B1 – Užívání – Dopady spojené s užíváním produktu.

B2 – Údržba – Dopady spojené s údržbou produktu.

B3 – Oprava - Dopady spojené s nutnými opravami produktu.

B4 – Výměna - Dopady spojené s výměnou některých částí produktu.

B5 – Rekonstrukce - Dopady spojené s rekonstrukcí produktu.

B6 – Provozní spotřeba energie – Dopady spojené s dodáním energie na provoz produktu.

B7 – Provozní spotřeba vody - Dopady spojené s dodáním vody na provoz produktu.

C1 – Demolice/dekonstrukce – Dopady spojené s demolicí produktu po ukončení jeho využívání.

C2 – Doprava – Dopady spojené s dopravou produktu z místa užívání k jeho dalšímu zpracování.

C3 – Zpracování odpadu - Dopady spojené s recyklací produktu nebo jeho částí.

C4 – Odstranění – Dopady spojené se skládkováním produktu nebo jeho částí.

D – Přínosy a náklady za hranicemi systému – Přínosy produktu během jeho užívání.

Pro aplikaci těchto normových fází, jsem si jednotlivé body přejmenoval s ohledem na jejich funkci v životním cyklu fotovoltaické elektrárny:

A1 – Dodání nerostných surovin - S touto fází jsem ve své diplomové práci neuvažoval, jelikož hodnoty, které jsem dokázal získat, byly hodnoty spojené až s fází A3.

A2 – Doprava surovin - S touto fází jsem ve své diplomové práci neuvažoval, jelikož hodnoty, které jsem dokázal získat, byly hodnoty spojené až s fází A3.

A3a – Výroba fotovoltaických panelů – Množství dodaných materiálů v této fázi, je možné k nahlédnutí v souborech D.3.06, D.3.07 a D.3.08.

A3b – Výroba ostatních komponent – Množství dodaných materiálů v této fázi, je možné k nahlédnutí v souborech D.3.06, D.3.07 a D.3.08.

A4a – Doprava z Asie – Ve své práci jsem uvažoval se vzdáleností 12000 km lodní dopravou a 1100 km kamionovou dopravou (lodní doprava Šanghaj – Janov, kamionová Janov – Hradec Králové).

A4b – Doprava z Evropy – Ve své práci jsem uvažoval se vzdáleností 380 km kamionovou dopravou (Wels - Hradec Králové).

A5 – Proces výstavby, instalace - Množství dodaných materiálů v této fázi, je možné k nahlédnutí v souborech D.3.06, D.3.07 a D.3.08.

B1 – Užívání fotovoltaické elektrárny – S touto fází jsem ve své práci neuvažoval, jelikož fotovoltaická elektrárna má zanedbatelné environmentální dopady během užívání.

B2 – Údržba fotovoltaické elektrárny - S touto fází jsem ve své práci neuvažoval, jelikož fotovoltaická elektrárna má zanedbatelné environmentální dopady během údržby.

B3 – Oprava fotovoltaické elektrárny - S touto fází jsem ve své práci neuvažoval, jelikož fotovoltaická elektrárna má zanedbatelné environmentální dopady během oprav.

B4 – Výměna nefunkčních komponentů – Životnost objektu jsem uvažoval 50 let. Životnost panelů jsem uvažoval 30 let, což znamená, že celková plocha fotovoltaických panelů se bude muset 1x měnit během celkové životnosti. U ostatních komponent (střídač, baterie), jsem uvažoval životnost 15 let, proto jsem uvažoval jejich výměnu 3x během tohoto období.

Celkové dodané množství materiálů z fází A3a, A3b a A5, jsem tedy vynásobil počtem jejich výměn (panely 1x, ostatní 3x).

B5 – Rekonstrukce – S touto fází jsem neuvažoval, jelikož tyto dopady jsou již zahrnuty ve fázi B4.

B6 – Provozní spotřeba energie – V této fázi jsem uvažoval dodanou elektrickou energii pro chod celého systému (střídač, baterie).

B7 – Provozní spotřeba vody – S touto fází jsem neuvažoval, jelikož voda není pro chod fotovoltaického systému zapotřebí.

C1 – Demolice/dekonstrukce – S touto fází jsem neuvažoval, jelikož demolice nebude mít žádné environmentální dopady.

C2 – Doprava – Celkové množství spotřebovaných materiálů, které je nutné odvézt k likvidaci či rekonstrukci. Uvažoval jsem se vzdáleností 500 km (Hradec Králové – Mnichov).

C3 – Zpracování odpadu (recyklace) – Celkové množství recyklovatelných materiálů (sklo, kovy, biodegradační materiály)

C4 – Odstranění (skládkování) Celkové množství materiálu určeného ke skládkování (plast).

D1 – Přínosy elektrárny – Tuto fázi mám v modelu (Obr.13) propojenou s fází B6, kde se řeší energetické vazby. Po provedení výpočtu mi ovšem software započítal množství vyrobené energie fotovoltaickým systémem a značně znehodnotil výsledky (dopady uvedl s opačným znaménkem a některé ostatní dopady tak zcela anuloval). Proto jsem se rozhodl vyrobenou energii do výpočtů neuvádět.

Všechny výše vypsané body (A1 až D1) jsem si vytvořil, jako prázdné procesy. Do nich jsem vložil sousedící procesy (např. do procesu B2 jsem vložil předchozí proces B1, jako vstup a následující proces B3, jako výstupní proces). Díky tomuto je možné procesy vzájemně propojit a určit tak směr životního cyklu (Obr.13). Tímto ovšem vznikla pouze prázdná cesta životního cyklu fotovoltaické elektrárny, do které zatím nic nevstupuje. V dalším kroku je nutné, doplnit další procesy, tentokrát procesy připravené programem OpenLCA s předdefinovanými daty dopadů. Pro svůj návrh jsem použil tyto předdefinované dopady:

Aluminium sheet – hliník

Copper sheet – měď

Silicon – křemík

Polypropylene – plast

Steel section – ocel

Continuous filament glass – sklo

Electricity mix CZ – český elektrický mix

Electricity mix GER – německý elektrický mix

Waste incineration of ferro metals – recyklace kovů

Waste incineration of glass – recyklace skla

Waste incineration of biodegradation materials – recyklace přírodních materiálů

Landfill of plastic waste – skládkování plastu

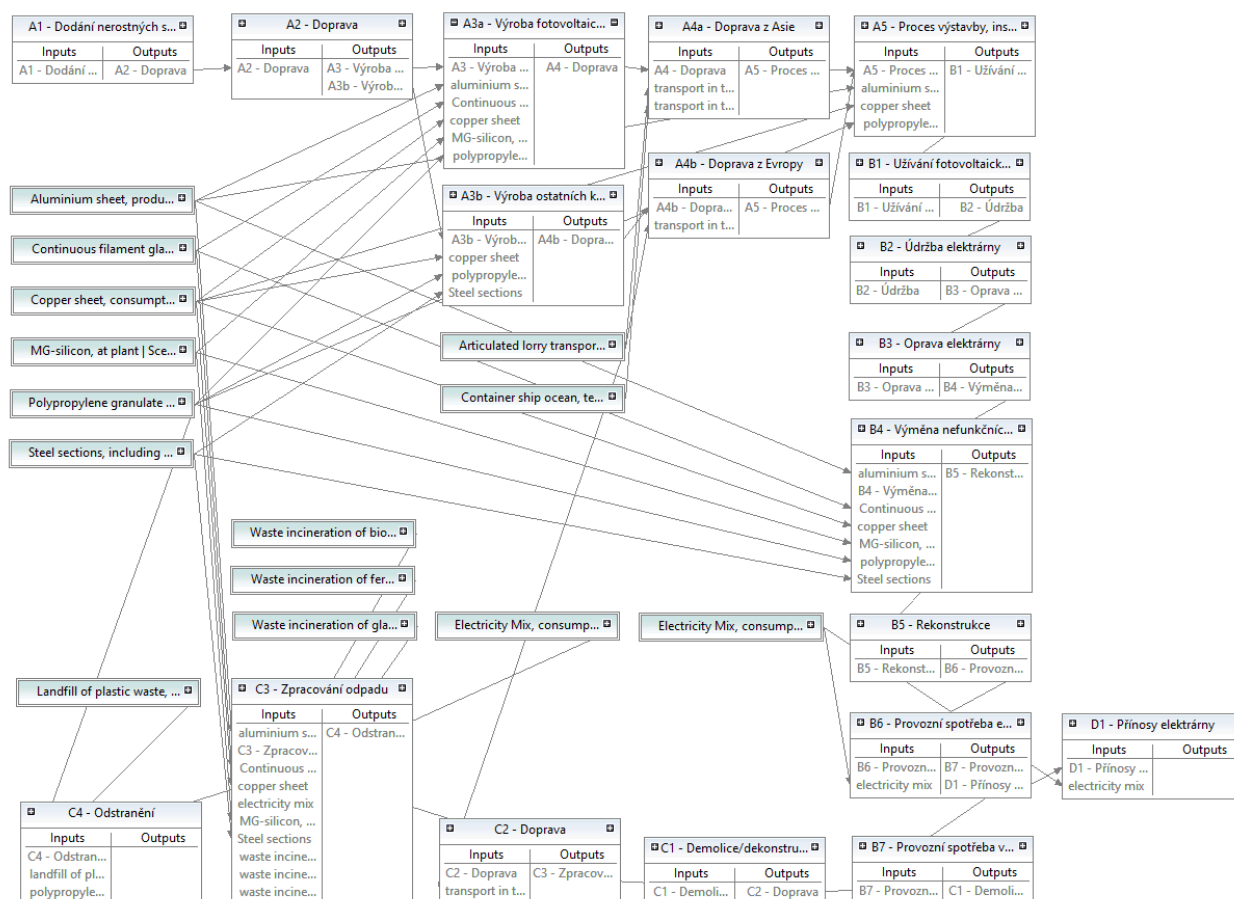
Container ship ocean transport – Lodní doprava

Articulated lorry transport – Nákladní automobilová doprava

Propojení těchto dopadů je vidět v modelu níže (Obr.13) a inventarizační výčet všech materiálů ve složce D.3, výkresech D.3.06, D.3.07, D.3.08.

Následně jsem všechny předdefinované dopady propojil s nově vytvořenými procesy, dle toho, kam jednotlivé položky patří a kde se v průběhu životního cyklu vyskytnou (Obr.15). Tímto krokem jsem vytvořil model životního cyklu, který ovšem stále nebyl výpočetně v pořádku. V tu chvíli jsem sice věděl, které materiály nám vstupují, do kterého procesu a co se s nimi děje, nevěděl jsem ještě ale, jaké přesné množství daného materiálu nám do životního cyklu vstupuje (Obr.14). Pro zadání množství vstupujících materiálů bylo nutné si rozkliknout námi vytvořený proces, například proces A3a – Výroba fotovoltaického panelu, a zde se objeví, které materiály do něho vstupují. U všech vstupních materiálů byla hodnota 0 a tuto hodnotu bylo nutné změnit, dle mého předchozího zjištění údajů, jsem zadal hodnoty k příslušnému materiálu a tímto celý postup ukončil a připravil k výpočtu.

Postup, který jsem právě popsal, byl postup při zadání životního cyklu fotovoltaické elektrárny s monokrystalickými panely AEG. V dalších variantě s polykrystalickými panely Canadien Solar, byly nově vytvořené procesy stejné, jako při variantě předchozí a předdefinované procesy taktéž. Měnilo se pouze množství dodaných surovin. Ve třetí variantě s monokrystalickými panely AEG a baterií, přibýly nově vytvořené procesy: A3c – Výroba baterie a A4c – Doprava po ČR. Z předdefinovaných procesů se ještě objevily materiály související s výrobou baterie a to jsou: Anode production, graphite – uhlík, Cathode production – lithium, Phosphane – fosfor, Oxygen – kyslík, Electrolyte – elektrolyt. Celý postup ve všech třech variantách byl jinak identický. Všechny tři kompletní modely životního cyklu, je možné najít ve složce D.3, výkrese D.3.11.



Obr.13: model životního cyklu z programu OpenLCA pro FV elektrárny s monokrystalickými panely AEG, propojení jednotlivých nově vytvořených procesů s předdefinovanými procesy pomocí toků

C

1.23

Obr.14: jeden z nově vytvořených procesů A3a, se vstupními toky a jejich množstvím, které je možné k nahlédnutí ve výkrese D.3.06

Obr.15: statistické znázornění modelu životního cyklu, přehledné zobrazení počtu procesů, počtu propojení pomocí toků, počet vzájemného propojení jednotlivých proces

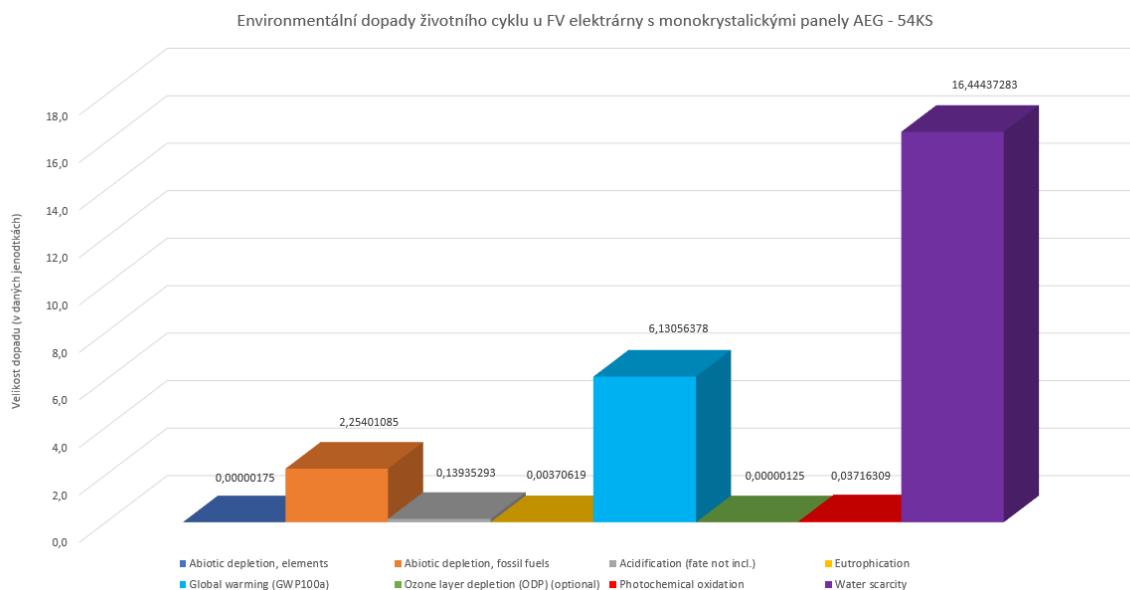
3. VÝSLEDKY

Po exportu vypočtených dat z programu OpenLCA, jsem zpracoval tři tabulky hodnot environmentálních dopadů a grafický výstup, pro každou posuzovanou variantu zvlášť a závěrem jednu hromadnou tabulku s grafickým výstupem, pro porovnání zjištěných výsledků (Tab.5, Tab.7, Tab.9).

Tab.5 - Shrnutí výsledků environmentálních dopadů fotovoltaické elektrárny s monokrystalickými panely AEG – 54 KS:

Hodnoty environmentálních dopadů fotovoltaického systému dle obsažených materiálů - monokrystalické panely AEG - 54KS	Abiotic depletion, elements	Abiotic depletion, fossil fuels	Acidification (fate not incl.)	Eutrophication	Global warming (GWP100a)	Ozone layer depletion (ODP)	Photochemical oxidation	Water scarcity
HLINÍK (ALUMINIUM)	1,9861E-07	0	0,014517626	0,000726717	3,427005481	3,79852E-07	0,006694614	0,297070658
SKLO (GLASS)	1,84458E-07	0	0,001849087	0,000526711	1,01434579	9,83351E-08	0,003029393	0,608888969
MĚĎ (COPPER)	1,19177E-06	0	0,000123901	1,3462E-05	0,031150869	8,8345E-08	0,000103643	0,015006244
KŘEMÍK (SILICON)	7,04445E-08	2,254010846	0,000997059	7,47652E-05	0,189228406	1,05652E-08	0,000690506	14,91379578
POLYPROPYLEN (POLYPROPYLENE)	5,47689E-09	0	0,000806659	0,000129362	0,263243179	0	0,000987816	0,194211654
OCEL (STEEL)	-1,85562E-09	0	4,01982E-07	3,88893E-08	0,000134456	5,20723E-12	3,3708E-07	7,25476E-06
ELEKTRICKÝ MIX ČR (ELECTRICITY MIX CZ)	3,12E-08	0	0,115323772	0,001688038	1,01294796	6,77E-07	0,021065224	0,415346765
ELEKTRICKÝ MIX NĚMECKO (ELECTRICITY MIX DEUTSCHLAND)	2,26E-12	0	8,36E-06	1,22E-07	7,34E-05	4,90E-11	1,53E-06	3,01E-05
AUTOMOBILOVÁ DOPRAVA (LORRY TRANSPORT)	2,18184E-09	0	0,000325155	5,61666E-05	0,054882149	1,10918E-10	0,000455239	0,000210467
LODNI DOPRAVA (CONTAINER TRANSPORT)	5,53926E-09	0	0,005399914	0,000492884	0,157261268	2,5913E-10	0,00413413	0,000504364
RECYKLYCE BIODEGRADABILNÍCH MATERIÁLŮ (WASTE INCINERATION)	1,79615E-11	0	-9,3551E-08	-1,4522E-08	-8,05811E-06	-5,19679E-13	-1,05706E-07	-2,29245E-05
RECYKLYCE KOVŮ (WASTE INCINERATION OF METALS)	5,87586E-08	0	2,90152E-06	2,34514E-07	0,000815488	-3,9464E-11	2,56874E-06	-0,000244232
RECYKLYCE SKLA (WASTE INCINERATION OF GLASS)	2,01097E-09	0	-6,6768E-07	-1,19403E-07	-0,000182821	-9,72996E-12	-9,10291E-07	-0,000411909
SKLÁDKOVÁNÍ PLASTU (LANDFILL OF PLASTIC WASTE)	-2,56302E-11	0	-1,14125E-06	-2,17671E-06	-0,000333806	-1,3884E-11	-8,93637E-07	-2,03596E-05
KYSLÍK (OXYGEN)	0	0	0	0	0	0	0	0
UHLIK - ANODA (CARBON - ANODE)	0	0	0	0	0	0	0	0
LITHIUM - KATODA (LITHIUM - CATHODE)	0	0	0	0	0	0	0	0
ELEKTROLYT (ELECTROLYTE)	0	0	0	0	0	0	0	0
FOSFOR (PHOSPHANE)	0	0	0	0	0	0	0	0
SUMA	0,00000175	2,25401085	0,13935293	0,00370619	6,13056378	0,00000125	0,03716309	16,44437283
Jednotka	kg Sb eq	MJ	kg SO2 eq	kg PO4--- eq	kg CO2 eq	kg CFC-11 eq	kg NMVOC	m3 eq

Tab.6: zpracovaná data environmentálních dopadů z programu OpenLCA do grafu



Ze vzniklého grafu je patrné, že v této variantě fotovoltaické elektrárny, jsou dopady č.1 (tmavě modrý), č.3 (šedý), č.4 (žlutý), č.6 (zelený) a č.7 (červený) tak minimální, že je možné je téměř neřešit (Tab.6). Zvýšené hodnoty můžeme pozorovat u dopadů č.2 - Vyčerpání fosilních zdrojů (oranžová) a č.5 – Globální oteplování - únik skleníkových plynů (modrá). Materiálem, který nám v této variantě nejvíce ovlivňuje globální oteplování, je hliník. Nicméně největší environmentální dopad této varianty fotovoltaické elektrárny, je dopad č.8 - Nedostatek

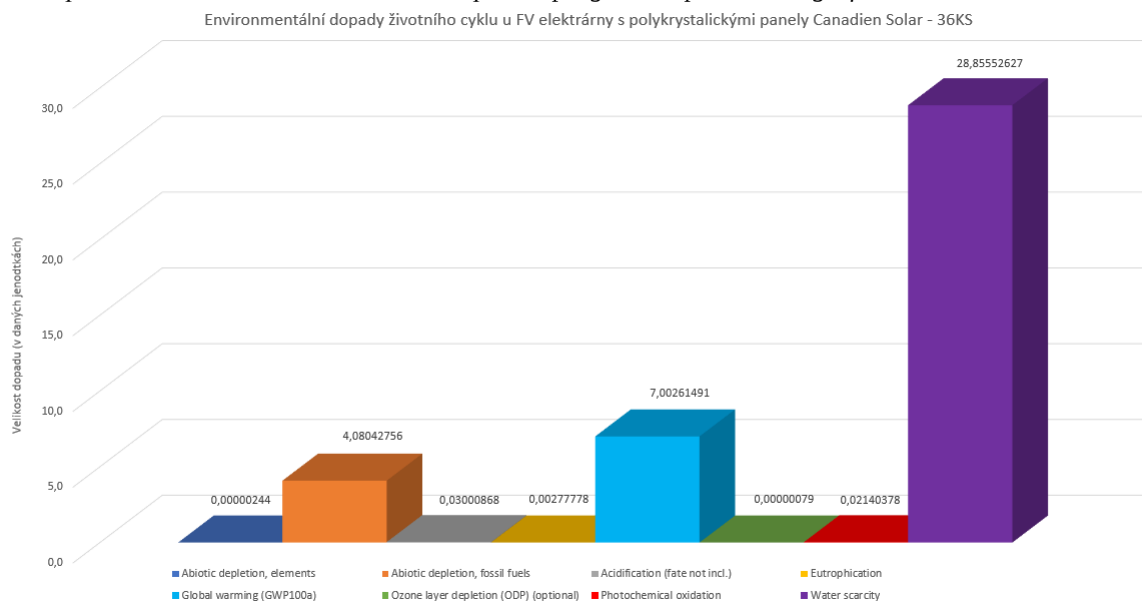
vody v daném regionu (fialová). Největší podíl na tomto dopadu má těžba křemíku a to až 90 % hodnoty celého dopadu. Nejvyšší naměřená hodnota dopadu se projevila v dopadu č.8 a to 16,44437283 m³ eq.

Tato varianta dokazuje, že z hlediska environmentálních dopadů, by bylo vhodné pokusit se nahradit komponenty z hliníku, za komponenty z jiného materiálu s nižšími dopady na jeho těžbu a výrobu. K největším změnám dopadu, by ovšem došlo při nahrazení křemíku v daném systému. To by ovšem znamenalo kompletně novou technologii fotovoltaických systémů, využívající materiál s podobnými vlastnostmi, jako má křemík, ale je méně náročný na těžbu a opracování.

Tab.7 - Shrnutí výsledků environmentálních dopadů fotovoltaické elektrárny s polykrystalickými panely Canadien Solar

Hodnoty environmentálních dopadů fotovoltaického systému dle obsažených materiálů - polykrystalické panely CS - 36KS	Abiotic depletion, elements	Abiotic depletion, fossil fuels	Acidification (fate not incl.)	Eutrophication	Global warming (GWP100a)	Ozone layer depletion (ODP)	Photochemical oxidation	Water scarcity
HLINÍK (ALUMINIUM)	2,36064E-07	0	0,017255327	0,000863759	4,073262488	4,51484E-07	0,007957069	0,353091576
SKLO (GLASS)	3,33741E-07	0	0,003345571	0,000952984	1,835265744	1,77919E-07	0,005481111	1,101668758
MĚĎ (COPPER)	1,87254E-06	0	0,000194677	2,1152E-05	0,048945304	1,38811E-07	0,000162847	0,023578321
KŘEMÍK (SILICON)	1,27525E-07	4,080427561	0,001804972	0,000135347	0,306353562	1,91261E-08	0,00125002	26,99838976
POLYPROPYLEN (POLYPROPYLENE)	1,06403E-08	0	0,001567152	0,00025132	0,511420534	0	0,001919097	0,377308267
OCEL (STEEL)	-1,60082E-07	0	3,46785E-05	3,35494E-06	0,01159935	4,49221E-10	2,90795E-05	0,00062586
ELEKTRICKÝ MIX ČR (ELECTRICITY MIX CZ)	2,18339E-11	0	8,07816E-05	1,18243E-06	0,003511452	4,73907E-10	1,47557E-05	0,000290941
ELEKTRICKÝ MIX NĚMECKO (ELECTRICITY MIX DEUTSCHLAND)	1,58401E-15	0	1,62089E-10	1,3569E-11	9,60613E-08	1,68709E-14	9,87144E-11	9,6143E-09
AUTOMOBILOVÁ DOPRAVA (LORRY TRANSPORT)	2,18275E-09	0	0,000325291	5,61902E-05	0,054905148	1,10965E-10	0,00045543	0,000210555
LODÍ DOPRAVA (CONTAINER TRANSPORT)	5,53926E-09	0	0,005399914	0,000492884	0,157261268	2,5913E-10	0,00413413	0,000504364
RECYKLACE BIODEGRADACÍ MATEŘIÁLŮ (WASTE INCINERATION)	3,34258E-12	0	-1,74095E-08	-2,70249E-09	-1,49959E-06	-9,67107E-14	-1,96716E-08	-4,26618E-06
RECYKLACE KOVŮ (WASTE INCINERATION OF METALS)	1,37741E-08	0	6,80167E-07	5,49742E-08	0,000191165	-9,25106E-12	6,02157E-07	-5,72523E-05
RECYKLACE SKLA (WASTE INCINERATION OF GLASS)	3,74031E-10	0	-1,24185E-07	-2,22083E-08	-3,40038E-05	-1,80973E-12	-1,6931E-07	-7,66131E-05
SKLÁDKOVÁNÍ PLASTU (LANDFIELD OF PLASTIC WASTE)	-5,04469E-12	0	-2,24627E-07	-4,28432E-07	-6,57015E-05	-2,73272E-12	-1,75891E-07	-4,00729E-06
KYSÍK (OXYGEN)	0	0	0	0	0	0	0	0
UHLÍK - ANODA (CARBON - ANODE)	0	0	0	0	0	0	0	0
UTHIUM - KATODA (LITHIUM - CATHODE)	0	0	0	0	0	0	0	0
ELEKTROLYT (ELECTROLYTE)	0	0	0	0	0	0	0	0
FOSFOR (PHOSPHANE)	0	0	0	0	0	0	0	0
SUMA	0,00000244	4,08042756	0,03000868	0,00277778	7,00261491	0,00000079	0,02140378	28,85552627
Jednotka	kg Sb eq	MJ	kg SO2 eq	kg PO4--- eq	kg CO2 eq	kg CFC-11 eq	kg NMVOC	m3 eq

Tab.8: zpracovaná data environmentálních dopadů z programu OpenLCA do grafu



Ve druhé variantě fotovoltaické elektrárny s polykrystalickými panely Canadien Solar, jsem dosáhl velice podobných výsledků, jako při první variantě s monokrystalickými panely AEG (Tab.8). Ze vzniklého grafu je patrné, že v této variantě fotovoltaické elektrárny, jsou dopady č.1 (tmavě modrý), č.3 (šedý), č.4 (žlutý), č.6 (zelený) a č.7 (červený) tak minimální, že je opět možné je téměř neřešit. Zvýšené hodnoty můžeme pozorovat u dopadů č.2 - Vyčerpání fosilních zdrojů (oranžová) a č.5 – Globální oteplování - únik skleníkových plynů (modrá). Materiálem, který nám v této variantě nejvíce ovlivňuje globální oteplování, je taktéž hliník. Nicméně největší environmentální dopad této varianty fotovoltaické elektrárny, je dopad č.8 - Nedostatek vody v daném regionu (fialová). Největší podíl na tomto dopadu má těžba křemíku a to až 93 % hodnoty celého dopadu. Nejvyšší naměřená hodnota dopadu se projevila v dopadu č.8 a to $28,85552627 \text{ m}^3 \text{ eq}$.

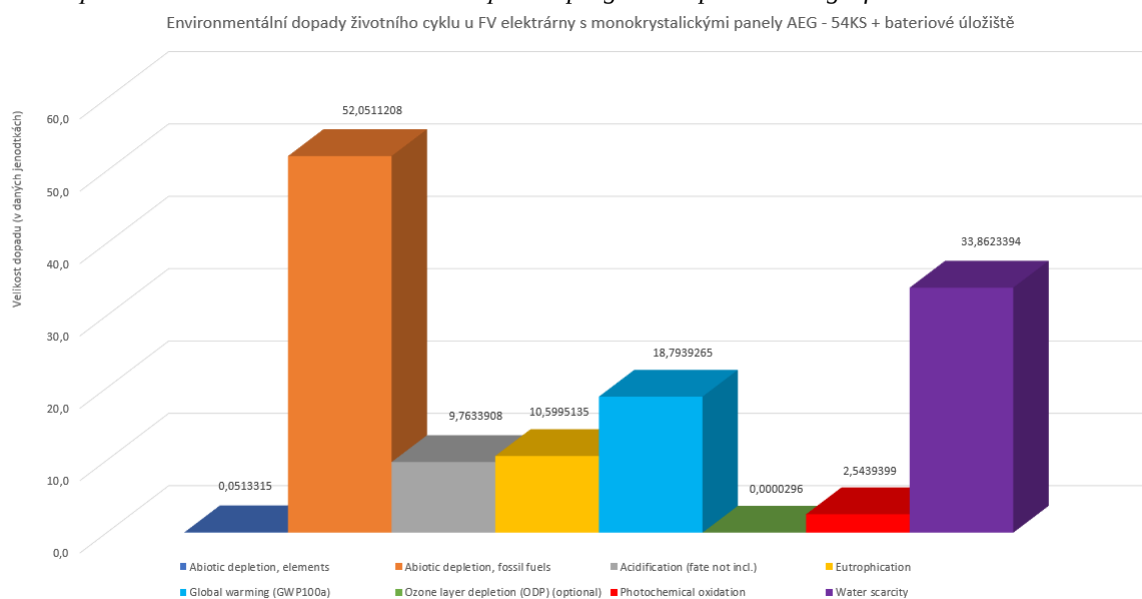
Výsledky této varianty evokují podobné závěry, jak tomu bylo u předchozí, a to snahu o snížení využití hliníku a křemíku v těchto systémech.

Co je ovšem jiné, než v přechozí variantě je velikost daných dopadů. Ve všech třech zvýšených dopadech (č.2, č.5, č.8) jsou hodnoty dopadu vyšší než v předchozí variantě. Zatímco dopad č.5 - Globální oteplování - únik skleníkových plynů (modrá), se zvýšila pouze nepatrně. Dopad č.2 - Vyčerpání fosilních zdrojů (oranžová) a č.8 - Nedostatek vody v daném regionu (fialová), se zvýšily téměř o dvojnásobek oproti předchozí variantě. Je nutné zde podotknout, že v první variantě s nižšími dopady, bylo na střechu aplikováno 54 kusů panelů, zatímco v druhé variantě pouze 36 kusů panelů. Samozřejmě zde jsou rozdíly v rozměrech obou druhů panelů, což může výsledky zkreslovat. Ovšem celková plocha panelů mluví jasně. Fotovoltaická elektrárna s monokrystalickými panely má celkovou plochu panelů $99,9 \text{ m}^2$, elektrárny s polykrystalickými panely má plochu panelů pouze $79,56 \text{ m}^2$. Toto zjištění vede k relativně zajímavému závěru, že čím menší fotovoltaická elektrárny (plocha panelů), neznamená úměrně nižší environmentální dopady. V porovnání těchto dvou variant, jsme si dokázali, že velikost elektrárny není rozhodující pro environmentální dopady.

Tab.9 - Shrnutí výsledků environmentálních dopadů fotovoltaické elektrárny s monokrystalickými panely AEG – 54 KS + bateriové úložiště:

Hodnoty environmentálních dopadů fotovoltaického systému dle obsazených materiálů - monokrystalické panely AEG - 54KS + baterie	Abiotic depletion, elements	Abiotic depletion, fossil fuels	Acidification (fate not incl.)	Eutrophication	Global warming (GWP100a)	Ozone layer depletion (ODP)	Photochemical oxidation	Water scarcity
HLINÍK (ALUMINIUM)	2,58015E-07	0	0,018859848	0,000944078	4,45202282	4,93466E-07	0,008696973	0,385924492
SKLO (GLASS)	1,84458E-07	0	0,001849087	0,000526711	1,01434579	9,83351E-08	0,003029393	0,608888969
MEĎ (COPPER)	2,10978E-06	0	0,000219342	2,38318E-05	0,055146384	1,56397E-07	0,000183478	0,026565555
KŘEMÍK (SILICON)	7,04445E-08	2,254010846	0,000997059	7,47652E-05	0,169228406	1,05652E-08	0,000690506	14,91379578
POLYPROPYLEN (POLYPROPYLENE)	6,33895E-09	0	0,000933627	0,000149723	0,304677655	0	0,001143298	0,224780568
OCEL (STEEL)	-5,69621E-09	0	1,23396E-06	1,19379E-07	0,000412739	1,59846E-11	1,03473E-06	2,227E-05
ELEKTRICKÝ MIX ČR (ELECTRICITY MIX CZ)	3,11701E-08	0	0,115323772	0,001688038	5,01294796	6,7655E-07	0,021065224	0,415346765
ELEKTRICKÝ MIX NĚMECKO (ELECTRICITY MIX DEUTSCHLAND)	2,59798E-12	0	9,61208E-06	1,40696E-07	0,000417822	5,63895E-11	1,75576E-06	3,46186E-05
AUTOMOBILOVÁ DOPRAVA (LORRY TRANSPORT)	2,18184E-09	0	0,000325155	5,61666E-05	0,054882149	1,10918E-10	0,000455239	0,000210467
LODNÍ DOPRAVA (CONTAINER TRANSPORT)	5,53926E-09	0	0,005399914	0,000492884	0,157261268	2,5913E-10	0,00413413	0,000504364
RECYKLACE BIODEGRADACÍCH MATERIÁLŮ (WASTE INCINERATION)	1,79615E-11	0	-9,3551E-08	-1,4522E-08	-8,05811E-06	-5,19679E-13	-1,05706E-07	-2,29245E-05
RECYKLACE KOVŮ (WASTE INCINERATION OF METALS)	5,87586E-08	0	2,90152E-06	2,34514E-07	0,000815488	-3,9464E-11	2,56874E-06	-0,000244232
RECYKLACE SKLA (WASTE INCINERATION OF GLASS)	2,01097E-09	0	-6,6768E-07	-1,19403E-07	-0,000182821	-9,72996E-12	-9,10291E-07	-0,000411909
SKLÁDKOVÁNÍ PLASTU (LANDFILL OF PLASTIC WASTE)	-2,56302E-11	0	-1,14125E-06	-2,17671E-06	-0,000333806	-1,3884E-11	-8,93637E-07	-2,03596E-05
KYSLÍK (OXYGEN)	4,91147E-08	0	0,0145642	0,000527139	2,090599	5,07017E-07	0,0048076	0,258055
UHLÍK - ANODA (CARBON - ANODE)	0,0493653	20,10869	8,6459	7,745053	2,101748565	8,06021E-06	1,863052	8,17177
LITHIUM - KATODA (LITHIUM - CATHODE)	0,00015453	1,7136	0,076959	0,1588752	0,260413497	8,5374E-07	0,039168	0,65178
ELEKTROLYT (ELECTROLYTE)	0,000632388	2,87202	0,115968	0,2793198	0,385795638	7,81878E-06	0,0598866	1,77576
FOSFOR (PHOSPHANE)	0,00117648	25,1028	0,76608	2,411784	2,73373596	1,08756E-05	0,537624	6,4296
SUMA	0,05133147	52,05112085	9,763390849	10,59951352	18,79392646	2,9551E-05	2,543939891	33,86233942
Jednotka	kg Sb eq	MJ	kg SO2 eq	kg PO4--- eq	kg CO2 eq	kg CFC-11 eq	kg NMVOC	m3 eq

Tab.10: zpracovaná data environmentálních dopadů z programu OpenLCA do grafu



Ve třetí variantě fotovoltaické elektrárny s monokrystalickými panely AEG a bateriovým úložištěm, je možnost zanedbat pouze dva environmentální dopady a to č.1 (tmavě modrý) a č.6 (zelený) (Tab.10). U všech ostatních dopadů, můžeme pozorovat značný nárůst daného dopadu. Zatímco nejvyšší dopad z přechodných variant, č.8 - Nedostatek vody v daném regionu (fialová), vzrostl pouze o několik jednotek, než v předchozích variantách, můžeme tedy konstatovat, že zakomponování baterie do systému, má jenom nepatrný dopad v oblasti nedostatku vody v regionu. Dopad, který se oproti předchozím variantám téměř zdvojnásobil, byl dopad č.5 - Globální oteplování - únik skleníkových plynů (modrá), na tento dopad mají největší vliv materiály: hliník, kyslík a uhlík. Značně tento dopad navyšuje i dodání energie z Elektrického mixu ČR. Nejvyšší hodnotou dopadu, se nově stal dopad č. 2 - Vyčerpání fosilních zdrojů (oranžová), která dosáhla hodnoty 52,0511208 MJ. Tento jev

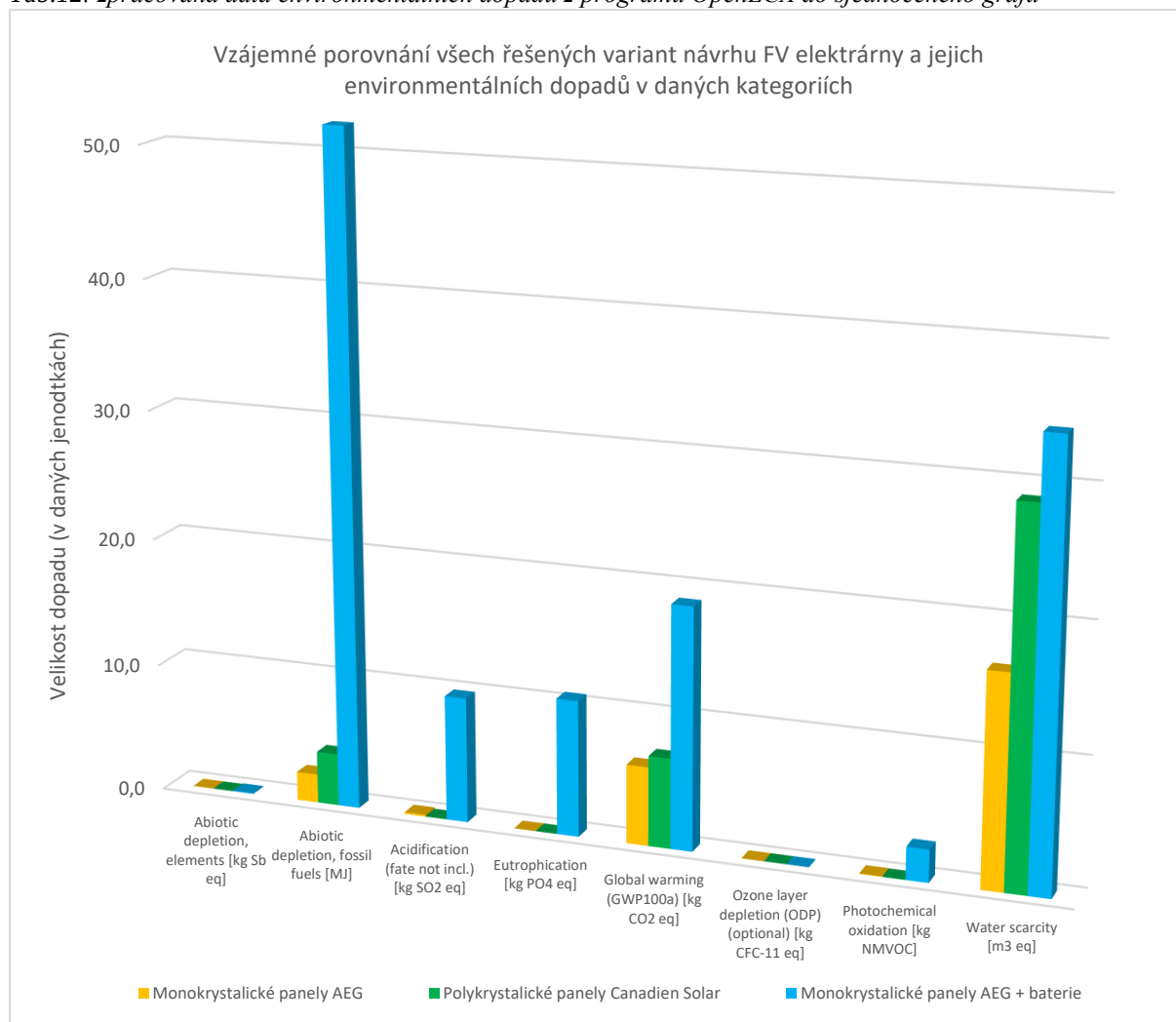
připisují především zakomponování nových materiálů, které se v předchozích dvou variantách vůbec nevyskytovaly, a to fosfor a uhlík. Dopad č.2 získal sice pomyslný titul „největší dopad“, ale jsou tu další dva dopady, které by zasloužily spíše titul „skokan dopadu“. Mluvím tu o dopadu č.3 – Okyselení půdy a vody (šedá) a č.4 – Nepřirozená eutrofizace - znečištění vod nutričními prvky (žlutá). Dopad č.3 vzrostl v této variantě oproti variantě s monokrystalickými panely bez baterie přibližně 70 x. Dopad č.4 vzrostl v této variantě dokonce 3860 x oproti stejné variantě bez baterie.

S jistotou tedy mohu konstatovat, že zabudování baterie do fotovoltaického systému má opravdu značný vliv na environmentální dopady celého systému. Nejvýraznější změny jsem pozoroval v dopadu zohledňující nepřirozenou eutrofizaci vod nutričními prvky, okyselení půdy a vody a vyčerpání fosilních zdrojů. Rozhodně by stálo za zvážení, využití jiné technologie bateriového úložiště, například baterii na bázi olova, zda by jeho dopady nebyly nižší, než v mé variantě s lithium-fosfátovou baterií. Celý tento postup by se mohl stejným způsobem aplikovat pro systém s touto baterií a výsledky vzájemně porovnály. Bohužel z časových důvodů, již na tento postup v mé práci nedojde, i když by mě porovnání velice zajímalo.

Tab.11 - Shrnutí výsledků environmentálních dopadů všech řešených fotovoltaických elektráren:

	Monokrystalické panely AEG	Polykrystalické panely Canadian Solar	Monokrystalické panely AEG + baterie	
Abiotic depletion, elements	0,00000175	0,00000244	0,05133147	kg Sb eq
Abiotic depletion, fossil fuels	2,25401085	4,08042756	52,05112085	MJ
Acidification (fate not incl.)	0,13935293	0,03000868	9,76339085	kg SO2 eq
Eutrophication	0,00370619	0,00277778	10,59951352	kg PO4--- eq
Global warming (GWP100a)	6,13056378	7,00261491	18,79392646	kg CO2 eq
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	0,00000125	0,00000079	0,00002955	kg CFC-11 eq
Photochemical oxidation	0,03716309	0,02140378	2,54393989	kg NMVOC
Water scarcity	16,44437283	28,85552627	33,86233942	m3 eq

Tab.12: zpracovaná data environmentálních dopadů z programu OpenLCA do sjednoceného grafu



V závěru mých výsledků jsem ještě porovnal jednotlivé, řešené varianty vzájemně (Tab.11, Tab.12). Kvůli některým dopadům, které „vyskočily“ opravdu vysoko, jsou dopady č.1 - Vyčerpání nefosilních zdrojů (minerály, kovy, atd.), č.6 - Narušování ozonové vrstvy ve stratosféře, a č.7 - Fotochemická oxidace plynů v atmosféře. Tímto lze říci, že fotovoltaické systémy a jejich výroba, ať s baterií či bez ní, nemají závažný dopad na atmosférický, plynný obal naší planety. Z grafu je evidentní, že suma všech řešených dopadů, je nejvyšší ve variantě s bateriovým úložištěm. Můžeme tedy uvést, že zabudování bateriového úložiště do systému fotovoltaických elektráren v objektu, vysoce zvýší environmentální dopady celého systému. Je proto na zvážení, zda využití těchto baterií, je vždy nutné pro každého investora. Z celkového grafu vyplývá ještě další zajímavý fakt. Využitím fotovoltaického systému, ať s baterií nebo bez ní, má vždy značný dopad na vodu na naší planetě. Pokud bychom sečetli všechny tři sloupce dopadů z každé varianty dohromady, zjistili bychom, že nejvíce nás fotovoltaické systémy trápí v dopadu č.8 - Nedostatek vody v daném regionu. Dopady č.3 - Okyselení půdy a vody, a č.4 -

Nepřirozená eutrofizace - znečištění vod nutričními prvky, jsou taktéž dopady, týkající se vody na naši planetě. Je velice důležité si uvědomit, že čistá voda je pro naši planetu, potažmo pro lidstvo velice důležitým, ne-li tím nejdůležitějším artiklem, co máme. Sám jsem velkým zastáncem využití obnovitelných zdrojů, musíme ovšem přihlížet i na negativní dopady těchto systémů.

Po porovnání výsledků jsem dospěl k závěru, že v rámci zvolené funkční jednotky, je nejlepší variantou fotovoltaický systém s monokrystalickými panely AEG – 54 ks bez bateriového úložiště. Tuto variantu jsem zároveň i aplikoval na mnou navržený objekt. Mnou zvolená varianta měla nižší environmentální dopady než zbylé varianty, a i instalovaný výkon této varianty byl vyšší než ve variantě s polykrystalickými panely.

V této diplomové části jsem dospěl k závěrům, že rozdíl mezi technologiemi panelů (monokrystal x polykrystal) v environmentálních dopadech je téměř nulový. Na webových stránkách sciencedirect.com [5][6] jsou uvedeny závěry, které se s mou diplomovou prací shodují. Druhým důležitým závěrem v mé práci je, že při zabudování bateriového úložiště do fotovoltaického systému, se rapidně zvýšil nárůst některých environmentálních dopadů, které se týkají především znečištění vody. Článek na webových stránkách nsenergybusiness.com [7] píše o podobných závěrech, na které jsem narazil i já, ve své práci. Tématem znečištění životního prostředí, především vod, kvůli těmto typům baterií se zabývá i článek na stránkách pubs.rsc.org [8].

4. ZÁVĚR

Ve své práci jsem porovnával environmentální dopady třech typů fotovoltaických elektráren. První z nich byl fotovoltaický systém s monokrystalickými panely bez bateriového úložiště. Jako druhý jsem řešil fotovoltaický systém s polykrystalickými panely bez bateriového úložiště. Jako třetí typ jsem zvolil fotovoltaický systém s monokrystalickými panely s bateriovým úložištěm. Pro vyhodnocení těchto dopadů jsem využil software OpenLCA, který mi dopady jednotlivých systémů rozdělil do osmi různých kategorií. Po zpracování těchto výsledků bylo zjištěno, že environmentální dopady fotovoltaických elektráren bez bateriového úložiště s různými druhy technologie panelů (monokrystal x polykrystal) jsou téměř identické. Výběr technologie fotovoltaických panelů, proto nemá na environmentální dopady téměř žádný vliv. Ve třetí variantě fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm, jsem zaznamenal rapidní nárůst některých environmentálních dopadů, které se týkají především znečištění vody. Touto

diplomovou prací bylo prokázáno, že nejvyšší dopad na životní prostředí má samotné bateriové úložiště. Proto by při samotném návrhu fotovoltaického systému měla být zohledněna jeho opravdová nutnost použití.

Závěrem bych ještě rád shrnul splnění požadavků zadání diplomové práce. Navrhl jsem objekt s téměř nulovou spotřebou energie (dle PENB), do kterého jsem následně navrhl TZB systémy s částečným využitím obnovitelných zdrojů energie. Pomocí metody posouzení životního cyklu jsem vyhodnotil environmentální dopady části navrhovaného objektu – fotovoltaické elektrárny a nejvhodnější variantu aplikoval na objekt. Veškeré postupy byly provedeny dle platných norem, vyhlášek a zákonů.

5. LITERATURA

Jako doplňující informace k práci, byly použity tyto zdroje: [9], [13], [17], [18], [19], [20].

5.1 NORMY, VYHLÁŠKY A ZÁKONY

- ČSN EN 15804 +A1 (730912) – Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů
- ČSN EN ISO 14040 (010940) - Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova
- ČSN EN 50583-1 (99816) – Fotovoltaika v budovách – Část 1: Systémy BIPV
- ČSN EN 50583-2 (99817) - Fotovoltaika v budovách - Část 2: Systémy BIPV
- ČSN EN 60086-4 ed. 3 (97660) – Primární baterie – Část 4: Bezpečnost lithiových baterií
- ČSN 73 1901-3 (731901) - Navrhování střech - Část 3: Střechy s povlakovými hydroizolacemi
- ČSN 73 0540-1. Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie
- ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
- ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- ČSN 73 0540-4. Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové hodnoty
- ČSN 73 0532. Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky
- ČSN 01 3420. Výkresy pozemních staveb – Kreslení výkresů stavební části
- ČSN 73 0802 ZMĚNA Z1. Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty

- ČSN 73 0810. Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení
- ČR. Vyhláška č.268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. In. č. 81/2009
- ČR. Vyhláška č. 20/2012 Sb., kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. In. č. 6/2012
- ČR. Vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb. In. č. 163/2006
- ČR. Vyhláška č. 62/2013 Sb., kterou se mění vyhláška č. 499/2006 Sb. O dokumentaci staveb. In. č. 28/2013
- ČR. Vyhláška č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území. In. č. 163/2006
- ČR. Vyhláška 431/2012 Sb., kterou se mění vyhláška č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území, ve znění pozdějších předpisů. In. č. 157/2012
- ČR. Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. In. č. 36/2013
- ČR. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In. č. 97/2011
- ČR. Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady. In. č. 145/2001
- ČR. Vyhláška č. 35/2014 Sb., kterou se mění vyhláška č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů. In. č. 14/2014
- ČR. Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a státě pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů). In. č. 145/2001
- ČR. Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu. In. č. 63/2006
- ČR. Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In. č. 71/2001
- ČR. Zákon č. 309/2006 Sb. o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. In. č. 96/2006
- ČR. Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií. In. č. 115/2000
- ČR. Zákon č. 133/1985 Sb. o požární ochraně. In. č. 34/1985. 1

5.2 CITACE

- [1] Meteogram [online]. Praha: meteogram, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/>
- [2] *Re.jrc.ec.europa.eu* [online]. EU: re.jrc.ec.europa.eu, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [3] *Solsol* [online]. Česká Republika: solsol, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.solsol.cz/aeg-m1203-h-380m6>
- [4] *OpenLCA nexus* [online]. Germany: OpenLCA, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://nexus.openlca.org/downloads>
- [5] MÜLLER, Amelie, Lorenz FRIEDRICH a Christian REICHEL. Solar Energy Materials and Solar Cells. *Science direct* [online]. Germany: Müller, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024821003202>
- [6] GERBINET, Saïcha. Renewable and Sustainable Energy Reviews: Life Cycle Analysis (LCA) of photovoltaic panels: A review. *Science direct* [online]. Belgium: Saïcha, 2014 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211400495X>
- [7] MURRAY, James. Is the Nobel Prize-winning lithium-ion battery really having a positive impact on the environment? *Nsenergybusiness.com* [online]. USA: NS energy, 2019, 2019-10-14 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.nsenergybusiness.com/features/lithium-ion-battery-environmental-impact/>
- [8] MROZIK, Wojciech. Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries. *Pubs.rsc.org* [online]. Poland: Review Article, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/ee/d1ee00691f>
- [9] ZHANG, Tiantian a Ruzhu WANG. Photovoltaic Effect. *Science direct* [online]. China: Science direct, 2019 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/photovoltaic-effect>
- [10] *Micronix* [online]. Česká Republika: Micronix, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.micronix.cz/solarix/zakladni-informace/fotovoltacky-jev>
- [11] *Conrad* [online]. Česká Republika: Conrad, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/phaesun-390856-mono-axial-two-drzak-solarnich-panelu-1193908>
- [12] *Solartec* [online]. Česká Republika: Solartec, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: https://shop.solartec.eu/solarni-stridac-fronius-symo-17-5-3-m-web/?gclid=CjwKCAiA4veMBhAMEiwAU4XRryg0oNVq1ugLzIw2DK1HqSqRNz2KlFaqU_z_mIIbhxF1pywMYVuZVBoCgdEQAvD_BwE
- [13] *ResearchGate* [online]. USA: ResearchGate, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/A-typical-c-Si-module-composition-215Wp-11_tbl1_277816096
- [14] *Hadex* [online]. Česká Republika: Hadex, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/n348-100-solarni-kabel-prekab-solar-xh-6mm2-1500v-cervený-balení->

100m/?gclid=Cj0KCQiAt8WOBhDbARIsANQLp97_P2CREKCwxA3VLziPFJZzaHcqT5RwDaJ9o2gS8MdMjoa9FUEzfYoaAn_nEALw_wcB

[15] *Iftech* [online]. Česká Republika: Iftech, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/skladovani-energie/2806-baterie-byd-b-box-premium-hvm-166.html>

[16] *Ecochain* [online]. Netherland: Ecochain, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://ecochain.com/knowledge/impact-categories-lca/>

[17] DESIDERI, Umberto a Francesco ASDRUBALI. *Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach*. 1. USA: Elsevier Science, 2018. ISBN 9780128128183.

[18] RALF, Haselhuhn. *Fotovoltaika - Budovy jako zdroj proudu*. 1. Germany: Hel, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

[19] SINGH, Anoop, Deepak PANT a Stig Irving OLSEN. *Life Cycle Assessment of Renewable Energy Sources*. 1. India: Springer London, 2013. ISBN 176367144.

[20] DEAMBI, Suneel. *Photovoltaic System Design*. 1. India: CRC Press, 2020. ISBN 9780367574635.