



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROTECHNOLOGIE

Možnosti využití solárních tašek

Possibilities of using solar roof tiles

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

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

Dominik Sochulák
Praha 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sochulák** Jméno: **Dominik** Osobní číslo: **475830**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Možnosti využití solárních tašek

Název bakalářské práce anglicky:

Possibilities of using solar roof tiles

Pokyny pro vypracování:

- 1) Analyzujte současnou situaci na trhu FV modulů s kombinovanou funkcí zdroje a střešní krytiny - solárních tašek.
- 2) Na základě předchozího bodu kategorizujte dostupná řešení dle provedení do skupin. Pro každou skupinu zhodnoťte výhody a nevýhody.
- 3) Navrhněte optimalizovanou tašku a návrh zdůvodněte.
- 4) Pokud je to technologicky možné, realizujte navrženou tašku. V případě nedostupnosti technologie potřebné pro výrobu, proveďte výpočet teoretických vlastností navržené tašky.
- 5) Porovnejte vámi dosažené výsledky s dostupnými vzorky solárních tašek.

Seznam doporučené literatury:

- [1] STANĚK, Kamil. Fotovoltaika pro budovy. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012, 223 s. ISBN 978-80-247-4278-6.
[2] PV-CDROM [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/welcome-to-pvcdrom>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Pavel Hrzina, Ph.D., katedra elektrotechnologie FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **02.02.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

_____ podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Dominik Sochulák

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Pavlu Hrzinovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce a odborný dohled. Děkuji panu Mgr. Danielu Frejvaldovi z firmy Wienerberger za nápomocný přístup a ochotu, firmě Czech Energy Team za zapůjčení FV tašky a všem dodavatelům analyzovaných FV tašek za poskytnutí informací. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, přítelkyni a přátelům za trpělivost a podporu.

Poděkování patří i mému spolužákovi Petru Janouškovi, bez kterého bych se k této bakalářské práci pravděpodobně nedostal. Vždy mi byl schopen vysvětlit problematickou látku v průběhu bakalářského studia. Našeho přátelství si velmi vážím.

Abstrakt

Bakalářská práce se v teoretické části zabývá analýzou situace na trhu fotovoltaických střešních krytin a následnou kategorizací. Analýza zahrnuje porovnání střešních fotovoltaických krytin jednotlivých výrobců a uvedení použitých technologií. V praktické části je navrhnout prototyp střešní fotovoltaické krytiny a následné porovnání výsledků s dostupnými vzorky výrobců.

Klíčová slova

Fotovoltaická střešní taška, fotovoltaický modul, fotovoltaika, solární střešní taška, solární střecha, solární taška, Tondach, Wienerberger, FV, BIPV

Abstract

In the theoretical part the bachelor's thesis deals with the analysis of the situation on the market of photovoltaic roof tiles and their categorization. The analysis includes a comparison of roof photovoltaic tiles of individual manufacturers and an introduction to the used technologies. In the practical part it is designed a prototype of a roof photovoltaic tile and then it is compared with other available solar tiles.

Key words

Photovoltaic roof tile, photovoltaic module, photovoltaics, solar roof tile, solar roof, solar tile, Tondach, Wienerberger, PV, BIPV



Obsah

1. Úvod	11
2. Analýza současné situace na trhu	12
2.1. Lindab	14
2.2. SolteQ	15
2.3. Hanergy.....	16
2.4. Tesla.....	17
2.5. SUNSTYLE.....	18
2.6. Solarwatt.....	19
2.7. Metsolar.....	20
2.8. Gasser Ceramic	21
2.9. Paxos.....	22
2.10. Zhodnocení analýzy.....	23
3. Technologické vlastnosti	27
3.1. Technologie fotovoltaických článků	27
3.1.1. Monokrystalické křemíkové články	27
3.1.2. Polykrystalické křemíkové články.....	28
3.1.3. Amorfnní články.....	28
3.1.4. Nové materiály	28
3.2. Struktura FV krytin sklo-sklo.....	29
4. Kategorizování fotovoltaických střešních systémů	31
4.1. Fovovoltaická taška	31
4.2. Fovovoltaická kombinovaná střešní krytina	31
4.3. Integrované FV moduly	32
5. Návrh optimalizované střešní tašky	33
5.1. Nefovovoltaická střešní taška	34



5.2.	Fotovoltaická střešní taška	35
5.2.1.	Fotovoltaické články	37
5.2.2.	By-pass diody a junction box	39
5.2.3.	Fotovoltaické sklo	40
5.2.4.	Ostatní komponenty	40
5.2.5.	Výkresy pro výrobu	40
5.2.6.	Postup výroby	45
5.2.7.	Výsledný návrh	46
6.	Porovnání dosažených výsledků	50
7.	Závěr	51
8.	Literatura	52



Seznam obrázků

Obrázek 2.1-1: CIGS moduly integrované do střešního profilu [1]	14
Obrázek 2.2-1: FV tašky firmy SolteQ [3]	15
Obrázek 2.3-1: Vrstvy fotovoltaické střešní tašky Hanergy Hantile [4]	16
Obrázek 2.4-1, Obrázek 2.4-2: Solární tašky firmy Tesla [8]	17
Obrázek 2.5-1: Instalace solárních tašek firmy SUNSTYLE [12].....	18
Obrázek 2.6-1: FV moduly integrované ve střeše firmy Solarwatt [13].....	19
Obrázek 2.7-1: Střešní taška firmy Metsolar [14]	20
Obrázek 2.8-1, Obrázek 2.8-2: Střešní taška firmy Gasser Ceramic [15]	21
Obrázek 2.9-1: Solární taška firmy Paxos [16]	22
Obrázek 3.1-1: Monokrystalický článek [20].....	27
Obrázek 3.1-2: Polykrystalický článek [20].....	28
Obrázek 3.1-3: Organický článek [21]	29
Obrázek 3.2-1: Ukázka vlivu tlaku na moduly sklo-fólie a sklo-sklo [22]	30
Obrázek 3.2-2: Struktura sklo-sklo modulu [22]	30
Obrázek 5.1-1: Cena klasické střešní tašky Tondach Figaro 11 [23]	34
Obrázek 5.1-2: Široká nabídka speciálních variant tašky Figaro 11 [24].....	34
Obrázek 5.2-1: Figaro 11 - Glazura Amadeus černá [25]	35
Obrázek 5.2-2: Porovnání velikostí vyráběných monokrystalických FV článků [34].....	37
Obrázek 5.2-3: Možnosti rozložení FV článků - orientační výkres	38
Obrázek 5.2-4: Zjednodušený výkres tašky Figaro 11	41
Obrázek 5.2-5: Rovná plocha tašky	42
Obrázek 5.2-6: Umístění a rozměry EVA folie	42
Obrázek 5.2-7: Umístění a rozměry FV článků	43
Obrázek 5.2-8: Umístění a rozměry vedení FV článků	43
Obrázek 5.2-9: Umístění a rozměry skla	44
Obrázek 5.2-10: Umístění jboxu.....	44
Obrázek 5.2-11: Detail sériového propojení FV článků z přední i ze zadní strany [37]	45
Obrázek 5.2-12: Vlastní prototyp z přední strany	46
Obrázek 5.2-13: Vlastní prototyp z profilu	46
Obrázek 5.2-14: Vlastní prototyp z boční strany.....	46



Obrázek 5.2-15: Detail zapojení v jboxu.....	47
Obrázek 5.2-16: Detail jboxu.....	47
Obrázek 5.2-17: Ukázka spojení FV tašek metodou ve vazbě ze zadní strany.....	48
Obrázek 5.2-18: Ukázka spojení FV tašek metodou ve vazbě ze přední strany.....	48
Obrázek 5.2-19: Jednotlivé vrstvy FV tašky z levé strany.....	49
Obrázek 5.2-20: Jednotlivé vrstvy FV tašky z pravé strany	49

Seznam tabulek

Tabulka 2-1: Tabulka vrstev FV tašky Hanergy.....	16
Tabulka 2-2: Tabulka základních údajů FV krytin a FV modulů seřazených podle bodů.	26
Tabulka 5-1: Porovnání cen nefotovoltaické střešní krytiny.....	33
Tabulka 5-2: Kusovník potřebných komponentů k vytvoření prototypu.....	36
Tabulka 5-3: Přibližná cena za jeden prototyp a za metr čtvereční FV tašek.	36
Tabulka 6-1: Porovnání výsledků s dostupnými taškami.	50

Seznam grafů

Graf 2-1: Graf s bodovým hodnocením FV střešních krytin.....	24
Graf 2-2: Graf cen FV krytiny.....	24
Graf 2-3: Graf výkonů převedených na metr čtvereční FV krytin.	25

Seznam rovnic

Rovnice 2-1: Rovnice pro výpočet bodů hodnocení.	23
Rovnice 5-1: Dimenzování proudu	39



1. Úvod

Trh s fotovoltaickou (zkráceně FV) střešní krytinou nabízí velkou škálu možností a řešení integrované fotovoltaiky přímo ve střeše. Každý dodavatel této technologie řekne, že zásadním problémem a důvodem, proč integrovaná fotovoltaika není ve všech střeších, je cena. Pro zákazníky, kteří již střechu mají a jen chtějí fotovoltaiku se taková FV krytina nevyplatí. Lepší řešení je pořízení FV modulů. Pro zákazníky, kteří střechu rekonstruují nebo staví novou, může být FV krytina finančně zajímavá. Výrobci se stále snaží vymyslet efektivnější a levnější řešení této technologie. Může se tak stát, že se zákazníkovi dobře zvolená FV střešní krytina sama za pár let zaplatí. Kromě těchto výhod FV střešní krytina působí nenápadně, jako klasická a v některých městských oblastech nenarušuje místní architekturu. Pro řadu zákazníku může být právě onen vzhled klíčový.

Motivací k tomuto tématu byla americká firma Tesla, zabývající se FV taškami. Bohužel, přes velkou poptávku z řad zákazníku, se zatím firma potýká s různými technologickými problémy. Proto jsem se rozhodl na problematiku FV krytin více zaměřit a třeba objevit mezeru na trhu.

V bakalářské práci budou analyzovány možné varianty FV krytin, dostupné převážně na evropském trhu. Dostupná řešení budou porovnány, zhodnoceny výhody a nevýhody a porovnáno řešení FV střešní krytiny, oproti klasické střešní krytině s FV moduly. V praktické části bakalářské práce se pokusím navrhnout originální a optimální řešení FV střešní krytiny. Je samozřejmé, že se nedá jedním řešením vyřešit potřeby všech zákazníků, ale dá se navrhnout smysluplný směr, kterým by vývoj technologie mohl směřovat. Návrh FV tašky bude proveden ve spolupráci s firmou Wienerberger, výrobcem střešních tašek Tondach.



2. Analýza současné situace na trhu

Před analýzou trhu by bylo dobré si ujasnit používané pojmy.

Definice pojmů FV krytina a FV modul

Pojem solární taška je použit jen v názvu bakalářské práce z důvodu, že se jedná o běžný termín, často používaný mezi lidmi a může usnadnit vyhledávání této problematiky. V bakalářské práci budu používat obecně pojem „fotovoltaická střešní krytina“ zkráceně „FV krytina“ z důvodu toho, že FV krytinou může být například plech s FV článkem, nebo integrovaný FV modul. Pro tyto typy řešení by nebylo vhodné používat pojem solární taška i když v principu slouží ke stejnému účelu. Kategorie jednotlivých FV krytin budou vysvětleny v kapitole 4, kde budu kategorizovat dostupná řešení.

Jako FV modul je označován panel (deska) pro výrobu elektrické energie ze slunečního záření. FV modul sám o sobě neslouží jako střešní krytina a pro tyto účely musí být modifikován. Modifikovaný FV modul sloužící i jako střešní krytina je v kapitole 4 kategorizován jako integrovaný FV modul.

Také je dobré zmínit, že fotovoltaika je technologie pro přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Pojem „solární“ není jednoznačný, protože může sloužit i k výrobě tepelné energie.

Zpět k analýze

Analýza trhu spočívala především ve vyhledávání firem nabízejících FV krytiny. Následně jsem zjišťoval základní údaje, které považuji za důležité pro každého, kdo má o FV krytinu zájem a chce si vytvořit přehled o dostupných technologiích a finančních parametrech. Výrobci a dodavatelé FV krytin jsou převážně zahraniční. Zaměřil jsem se na evropský trh, ale zmínil jsem i některé výrobce z USA nebo Číny. Výrobce a dodavatele nabízejících FV krytiny, je velké množství. Uvedl jsem firmy, které mi přišly svou technologií zajímavé, nebo ty které byly otevřeny spolupráci a poskytly informace.

Co se týče České republiky, není zde trh s FV krytinami příliš rozvinut. V současné době je na českém trhu jen hrstka firem nabízející FV krytiny. Důležité je zmínit, že zde budu



Dominik Sochulák

hodnotit a porovnávat FV krytiny, a ne služby jednotlivých firem. Výběr firmy nabízející kvalitní služby je neméně důležitý krok, který je ovšem nad rámec této bakalářské práce.

Ceny uvedené v analýzách jsou orientační. Byly zjišťovány od výrobců i dodavatelů. Dva různí dodavatelé stejné technologie, mohou nabízet krytiny za jiné částky. U výrobce většinou cena záleží na odebíraném množství.

Následující analýza se týká firem:

1. Lindab – Švédsko (s českým zastoupením)
2. SolteQ – Německo
3. Hanergy – Čína
4. Tesla – USA
5. SUNSTYLE – Švýcarsko
6. Solarwatt – Německo
7. Metsolar – Litva
8. Gasser Ceramic – Švýcarsko
9. Paxos – Německo



2.1. Lindab

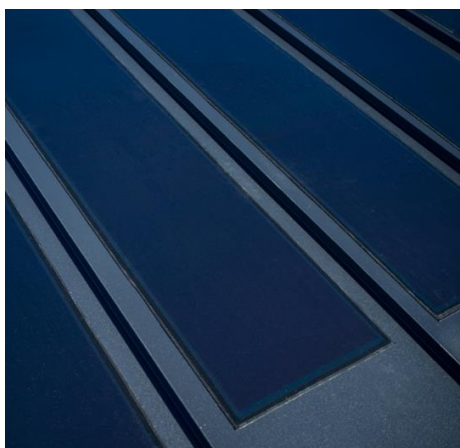
Firmou nabízející vlastní FV krytinu je Lindab – Švédský výrobce stavebních komponentů se zastoupením v ČR. Mimo jiné, vyrábí lehké plechové střešní krytiny, do kterých ve výrobě integruje CIGS moduly o tloušťce 2 mm. FV krytina se nazývá Lindab Solar Roof. Záleží na zákazníkovi, jak velký výkon chce na střechu instalovat, zbytek střechy může být z klasických střešních plechů, které jsou lehce dostupné a levné. Krytina je tedy složena jen ze dvou základních součástí: střešní plechové krytiny a flexibilního FV CIGS modulu. Jelikož se nejedná vyloženě o fotovoltaickou tašku, Lindab Solar Roof bude v bakalářské práci kategorizován jako kombinovaná FV krytina.

Základní údaje [1]:

- Cena za 1 ks: 7617 Kč bez DPH
- Cena za m²: 5993 Kč bez DPH
- Výkon na m²: 95 Wp
- Výkon 1ks: 120 Wp
- Hmotnost: 7kg/m² (2kg CIGS modul, 5kg plechová střecha)
- Rozměry 1 ks: 3,1m x 0,41m

Výhodou tohoto řešení je nenápadný design, nízká hmotnost a kompatibilita fotovoltaické a nefotovoltaické krytiny.

Nevýhodou může být nižší výkon na metr čtvereční, tudíž větší spotřeba FV materiálu k dosažení požadovaného výkonu. Dále nutnost instalace pod hřebenem střechy – nutný vznik sběrné lišty.



Obrázek 2.1-1: CIGS moduly integrované do střešního profilu [1]



2.2. SolteQ

Německá firma SolteQ nabízí FV krytiny rozsáhlých variant, barev, tvarů a velikostí. Dokonce jsou některé i částečně kompatibilní s pálenými taškami Tegalit od Bramacu, nebo s pálenou taškou tzv. Bobrovkou [2]. Jelikož tato FV krytina svým vzhledem připomíná střešní tašku, bude v této bakalářské práci kategorizována jako fotovoltaická taška.

Základní údaje [3]:

- Cena za 1ks: různá, záleží na modelu
- Cena za m²: 9 900 Kč bez DPH
- Výkon na m²: 122 Wp až 202 Wp
- Výkon 1ks: různý, záleží na modelu
- Hmotnost: 16kg/m²
- Rozměry 1 ks: různé, záleží na modelu

Výhodou těchto tašek je vysoký výkon na metr čtvereční, který převyšuje i některé komerční FV moduly. Výkon záleží na modelu tašky a barevném provedení. Zpravidla nejvýkonnější je barevné provedení Antracit. Další výhodou je možnost volit různé barevné varianty.

Nevýhodou je vysoká cena. Existují firmy, například Bramac, které nabízejí tvarově podobné pálené tašky – ovšem kompatibilita údajně není stoprocentní.



Obrázek 2.2-1: FV tašky firmy SolteQ [3]

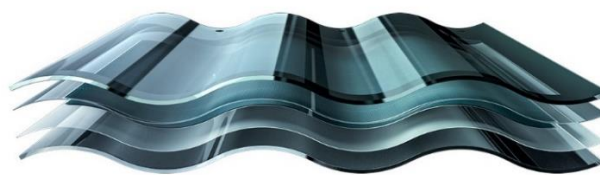


2.3. Hanergy

Česká společnost Czech Energy Team mi poskytla nejen informace, ale dokonce mi jednu FV tašku zapůjčila. Tašku vyrábí čínský výrobce Hanergy. Jedná se o jediný typ FV tašky, na který jsem narazil, který je charakteristický svým vlnitým provedením. Vlnité provedení je umožněno použitím CIGS článků, které jsou oproti křemíkovým flexibilní. Elektrické připojení tašek je realizováno běžně dostupnými konektory MC4. POE film zajišťuje ochranu fotovoltaických článků a mechanické spojení vrstev podobně jako EVA folie, běžně používaná u fotovoltaických modulů [4].

Taška se skládá z vrstev [4]:

1. vrstva: bílé zakřivené sklo
2. vrstva: film POE
3. vrstva: Miasole Flex Cell
4. vrstva: film POE
5. vrstva: zakřivené sklo



Obrázek 2.3-1: Vrstvy fotovoltaické střešní tašky Hanergy Hantile [4]

Tabulka 2-1: Tabulka vrstev FV tašky Hanergy

Základní údaje o tašce [4]:

- Cena za 1ks: 1760 Kč bez DPH
- Cena za m²: 6037 Kč bez DPH
- Výkon na m²: 105 W
- Výkon 1ks: 30 W
- Hmotnost: 34,3kg/m²
- Rozměry 1 ks: 0,7 m x 0,5 m

Výhodou může být vlnitý tvar – taška je svým tvarem od konkurentů zcela ojedinělá.

Nevýhodou je nižší výkon a vyšší hmotnost. Výrobce neuvádí existenci nefotovoltaické verze, ani není známa kompatibilita s pálenými taškami.



2.4. Tesla

Firma Topite.cz v současné době jedná s Teslou o použití jejich fotovoltaických střešních tašek. V rámci analýzy trhu je dobré takovou událost zmínit [5]. Systém Solar Roof od Tesly používá dva typy tašek: fotovoltaické a nefotovoltaické, které na první pohled vypadají stejně. Taška se skládá z několika vrstev, které se v základu neliší od ostatních FV tašek. Tesla však svoji verzi obohatila o pár patentů. Například první vrstva je texturované tvrzené sklo pro lepší antireflexní schopnost, pod ním je další sklo speciálně upravené tak, aby z určitého úhlu nepropouštělo světlo, to zajistí, že při pohledu na tašku z ulice, taška působí dojmem obyčejné nefotovoltaické tašky. Zároveň však sklo propouští světlo slunečního záření k FV článkům [6].

Základní údaje o tašce [7], [8]:

- Cena za 1ks: 2403 Kč bez DPH
- Cena za m²: 5500 Kč bez DPH
- Výkon na m²: 49 Wp
- Výkon 1ks: 24 Wp
- Hmotnost: nedostupné
- Rozměry 1 ks: 1,14 m x 0,43 m

Výhodou je vzhled, fotovoltaické tašky nejsou k rozeznání od nefotovoltaických.

Nevýhodou může být malý výkon. Ovšem je třeba se zamyslet, zdali je tato skutečnost rozhodující, jelikož většinou se na střechu rodinného domu vejde dostatek tašek pro zásobování elektrické energie. Tesla si účtuje částku za instalovaný výkon, ne za počet fotovoltaických tašek. Současným problémem je údajné zvyšování ceny konečného díla až o trojnásobek ceny, důvodem je různorodost střech a tím spojené problémy s pokládáním [9].



Obrázek 2.4-1, Obrázek 2.4-2: Solární tašky firmy Tesla [8]



2.5. SUNSTYLE

Švýcarská firma SUNSTYLE jejímž cílem bylo zachovat tradiční vzor střech v alpské oblasti, nabízí tři barevné varianty FV tašek. Do vrstvené tašky jsou integrované monokrystalické FV články zapuštěné v EVA folii (ethylenvinylacetát). Na přední straně jsou chráněny tvrzeným solárním sklem a na zadní straně vrstvou odolného plastu (Tedlar) nebo tvrzeného bezpečnostního skla. Zbarvení solárních tašek je provedeno pigmentováním barvy do vnitřní strany předního skla. Používaná barva je odolná vůči UV záření proto nedochází k vyblednutí barev [10].

Základní údaje o tašce [11]:

- Cena za 1ks: 4500 Kč bez DPH
- Cena za m²: 6000 Kč bez DPH
- Výkon na m²: 162 Wp
- Výkon 1ks: 108 Wp
- Hmotnost: 19.5 kg/m²
- Rozměry 1 ks: 0,87 m x 0,87 m

Výhodou je, že má taška SUNSTYLE nejlepší poměr cena/výkon v kategorii FV tašek.

Nevýhodou může být náročnější montáž zahrnující přišroubování modulů ke střešní konstrukci. Není známa kompatibilita s taškami nefotovoltaickými.



Obrázek 2.5-1: Instalace solárních tašek firmy SUNSTYLE [12]



2.6. Solarwatt

Zajímavý způsob přináší firma Solarwatt z Německa. Nabízí skleněné fotovoltaické moduly, připomínající klasické FV moduly. Pod moduly se instaluje membrána a hliníkové lišty. Na ně jsou namontovány FV moduly. Výsledkem je střešní krytina odolná proti povětrnostním vlivům, dešti a dobře větraná [13].

Základní údaje o FV modulu Solarwatt [13]:

- Cena za 1ks: 6708 Kč bez DPH
- Cena za m²: 4356 Kč bez DPH
- Výkon na m²: 183 Wp
- Výkon 1ks: 320 Wp
- Hmotnost: 15,6 kg/m²
- Rozměry 1 ks: 1,688 m x 1,035 m

Výhodou systému je cena/výkon v celkové skupině FV krytin. Další výhodou je nižší počet materiálu (modulů), který je potřeba na střechu dostat. Myslelo se i na odvětrávání tepla díky membránám.

Nevýhodou je nesnadný přechod mezi FV modulem a klasickou krytinou. Firma nabízí řešení, ale je nutná přítomnost kvalifikovaného řemeslníka, který přechod mezi FV modulem a klasickou krytinou vyřeší. FV modul sice slouží jako krytina, ale vzhledově je odlišný od ostatních klasických tašek. To může mít negativní dopad na design.



Obrázek 2.6-1: FV moduly integrované ve střeše firmy Solarwatt [13]



2.7. Metsolar

Společnost Metsolar z Litvy nabízí střešní řešení BiSolar. Střešní fotovoltaická taška je složená ze základní betonové tašky a na ní je na míru vyroben FV modul o výkonu 18 Wp. Firma není výrobcem FV krytiny, pouze FV modulů a toto řešení uvádí jako příklad uplatnění.

Základní údaje o tašce [14]:

- Cena: Výrobce neposkytl údaje o ceně
- Výkon na m²: 173 Wp
- Výkon 1ks: 18 Wp
- Hmotnost: 5,7 kg/ks
- Rozměry 1 ks: 0,104 m²

Výhodou této tašky je, že konektory nejsou vedeny skrz betonovou tašku, ale vedou až za ní, takže není narušena voděodolnost a izolace tašky. Další výhodou je kompatibilita s nesolárními taškami. Řešení je poměrně jednoduché a v případě variabilních rozměrů FV modulu, by řešení šlo použít na jakoukoliv střechu s rovnými taškami.

Nevýhodou může být spojení betonové tašky s fotovoltaickým modulem – technologické řešení spoje firma neuvádí. Další nevýhodou je větší hmotnost oproti ostatním FV krytinám – hmotnostně tato taška odpovídá klasické pálené tašce.



Obrázek 2.7-1: Střešní taška firmy Metsolar [14]



2.8. Gasser Ceramic

Švýcarská společnost nabízí dvě řešení FV tašek. Solární systém PAN 32 a FIT 54. FV taška je kompatibilní s nefotovoltaickými taškami společnosti. Skládá se ze dvou skleněných vrstev, mezi kterými jsou monokrystalické články s EVA folií a celý komplet je zapouzdřen černým hliníkovým rámem. Tašky lze od místních dodavatelů zakoupit i v ČR.

Základní údaje o tašce FIT 52 [15]:

- Cena za 1ks: 2900 Kč bez DPH
- Cena za m²: 8700 Kč bez DPH
- Výkon na m²: 162 Wp
- Výkon 1ks: 54 Wp
- Hmotnost: 6,7 kg/ks
- Rozměry 1 ks: 0,892 m x 0,38 m
- Účinnost: 22,2 %

Výhodou solárních tašek je bezproblémová kompatibilita s nesolárními taškami a kvalitní zpracování.

Nevýhodou je, že nesolární tašky vyráběné touto společností jsou výrazně dražší než klasické pálené tašky jiných výrobců.



Obrázek 2.8-1, Obrázek 2.8-2: Střešní taška firmy Gasser Ceramic [15]



2.9. Paxos

Německá firma Paxos nabízí solární tašku o výkonu 14,5 W s monokrystalickými PERC články. Taška se skládá ze skleněného fotovoltaického modulu a hliníkového krytu. Skleněný modul není ke krytu připevněn na pevně, ale modul se dá v krytu posouvat, což usnadňuje zapojování tašek a pohyb pracovníků po střeše. Konstruktivní řešení krytu vytváří vzduchový kanál, kde se ohřátý vzduch ze článků odvádí konvekční až k vrcholu střechy, kde tepelné čerpadlo vzduch-voda využije odpadní teplo a použije ho k vytápění domácnosti [16].

Základní údaje o tašce [16]:

- Cena za 1ks: 1000 Kč bez DPH
- Cena za m²: 6176 Kč bez DPH
- Výkon na m²: 145 W
- Výkon 1ks: 14,5 W
- Hmotnost: 2,6 kg/ks
- Rozměry 1 ks: 489,1 x 331,5 x 31,3 mm

Výhodou těchto tašek je snadná instalace a snadná výměna. Posuvný FV modul umožňuje snadný a bezpečný pohyb pracovníka po střeše a jednoduché zapojení tašky ze přední strany. Další výhodou je chlazení konvekční. Odpadní teplo lze využít.

Nevýhodou je komplikovanější konstrukce hliníkového rámu.



Obrázek 2.9-1: Solární taška firmy Paxos [16]



2.10. Zhodnocení analýzy

Na trhu se v dnešní době objevují řešení FV tašek, které svým výkonem konkurují klasickým fotovoltaickým modulům. Hlavním důvodem, proč se zákazník stále může rozhodnout si fotovoltaickou střešní krytinu nepořizovat, je cena. Ta je zatím 3x – 4x vyšší než u FV modulů. Musíme si uvědomit, že při pořízení FV krytiny nám odpadá nákup klasické střešní krytiny, kterému se u FV modulů nevyhneme. Pořízení FV krytiny má větší smysl v případě stavby nové střechy. Pokud bychom chtěli náš dům obohatit o fotovoltaický systém a naše stávající střecha by nepotřebovala rekonstrukci, pak by měly smysl spíše fotovoltaické moduly. Dalším faktorem však může být zákazníkův vkus, kdy může upřednostnit design před finanční efektivitou. Vyhodnocení nejlepší varianty FV krytiny je subjektivní, každý může vyžadovat jiný design a mít jiné požadavky.

Do následujícího zhodnocení analýzy jsou zahrnuty i dva klasické FV moduly (označeno jako MODUL), jeden monokrystalický a jeden polykrystalický, běžně dostupné na e-shopu solar-eshop.cz [17]. Jejich parametry ve vyhodnocení slouží pro porovnání.

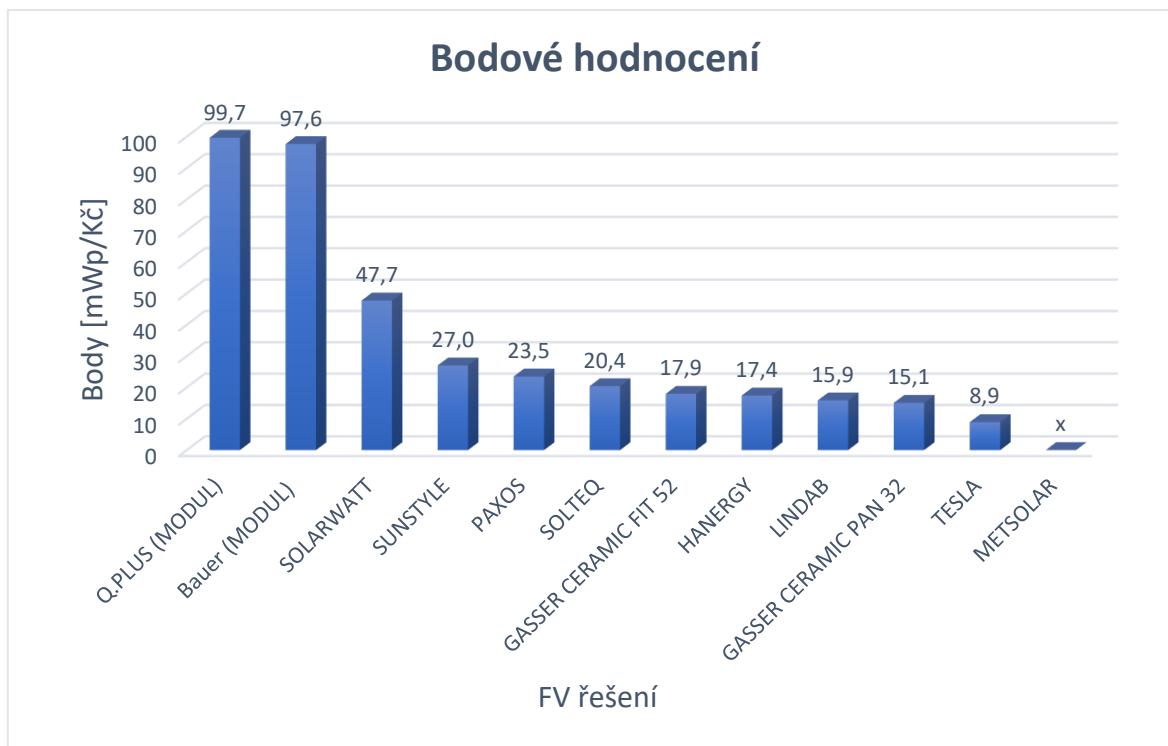
Z průzkumu trhu FV krytin v poměru výkon/cena jednoznačně vyhrály FV moduly integrované do střešní krytiny firmy Solarwatt. FV tašky vychází v tomto poměru nejlépe pro Sunstyle a Paxos. Nejhůře v tomto průzkumu dopadla paradoxně nejvíce medializovaná Tesla.

Bodové vyhodnocení v grafu 2-1 bylo provedeno následujícím vzorcem:

$$BODY = \frac{VÝKON \cdot 1000}{CENA} \quad \sim \quad \frac{mWp}{Kč}$$

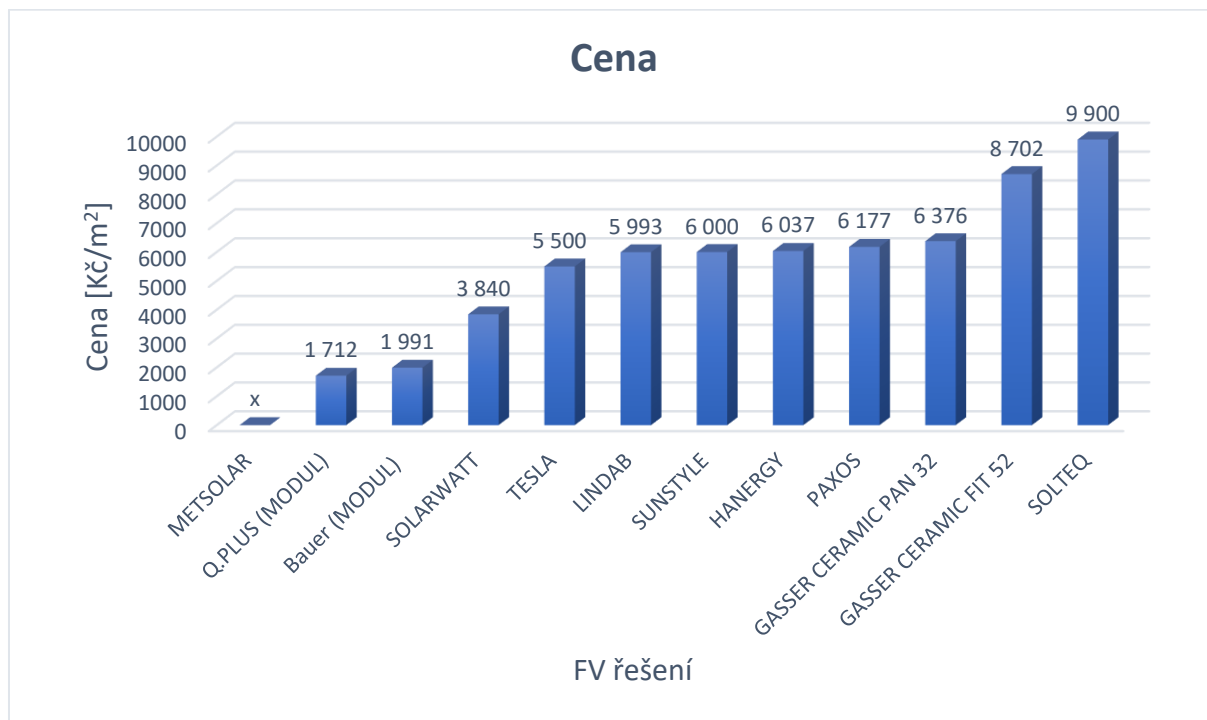
Rovnice 2-1: Rovnice pro výpočet bodů hodnocení.

Výkon a cena jsou přepočteny na metry čtvereční. Ceny jsou orientační a bez DPH. Miliwatt-peak byl použit kvůli přehlednosti bodového hodnocení. Kdyby miliwatt-peak nebyl použit, bodové hodnocení by bylo v řádech desetin a tisícín.



Graf 2-1: Graf s bodovým hodnocením FV střešních krytin

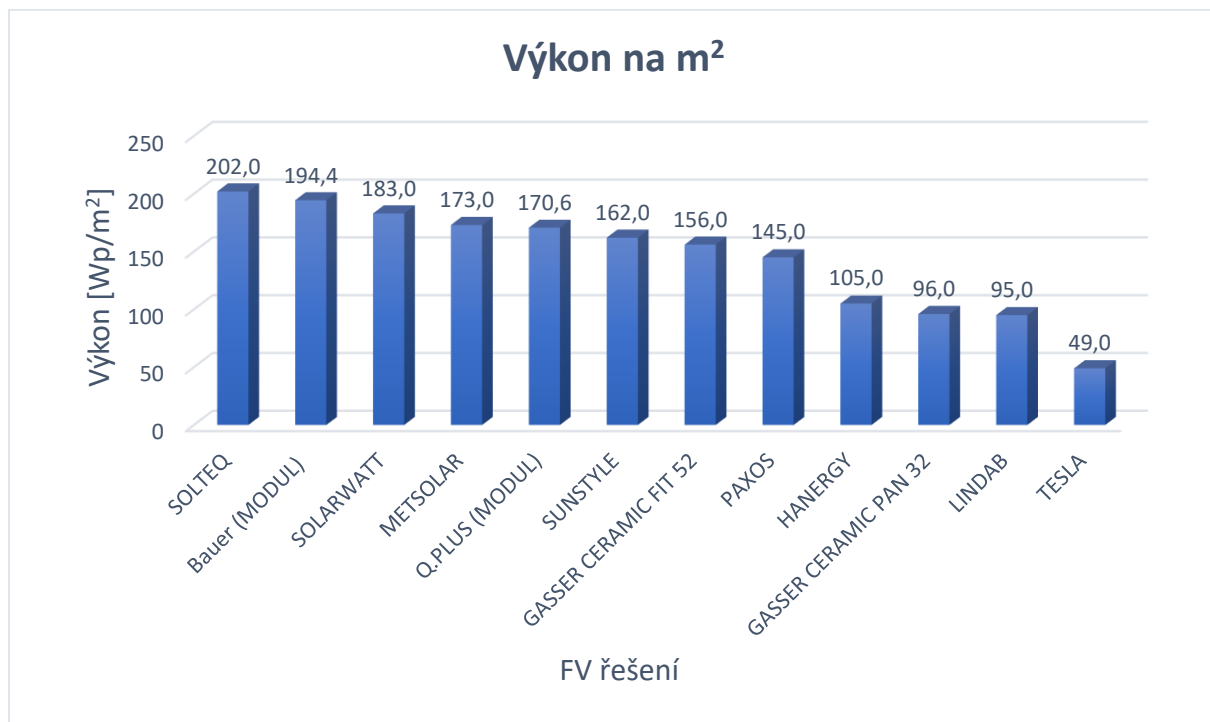
Pokud bychom se zajímali jen o cenu FV krytiny mezi nejlevnější patří Solarwatt a Tesla. Naopak nejdražší jsou FV krytiny od firem SolteQ a Gasser Ceramic.



Graf 2-2: Graf cen FV krytiny



Zajímavé je porovnání výkonů na metr čtvereční jednotlivých variant. Výsledek vyvrací článek o nevýhodách FV tašek na webu Wikipedia, kde je mezi hlavní nevýhody uveden nižší výkon FV tašek [18]. Výkony FV tašek na metr čtvereční, totiž v některých případech převyšují výkony běžně dostupných FV modulů.



Graf 2-3: Graf výkonů převedených na metr čtvereční FV krytin



Dominik Sochulák

V následující tabulce 2-2 jsou zhodnoceny základní údaje o FV krytinách a FV modulech. Tabulky byly vytvořeny z hodnot dostupných v datasheetech firem a od dodavatelů nebo výrobců. V prvních dvou řádcích jsou pro srovnání uvedeny běžně dostupné FV moduly – monokrystalický a polykrystalický. Druhy FV krytin budou vysvětleny v kapitole 4.

	Výrobce	Cena za instalovaný Wp [Kč]	Cena za m ² [Kč]	Výkon za m ² [Wp]	Hmotnost na m ² [Kg]	Druh	Body
FV modul	Q.PLUS (MODUL)	10,0	1712,0	170,6	11,0	POLY	99,7
	Bauer (MODUL)	10,2	1991,0	194,4	11,3	MONO	97,6
FV moduly s funkcí zdroje a střešní krytiny	SOLARWATT	21,0	3839,5	183	15,6	INTEGROVANÝ MODUL	47,7
	SUNSTYLE	37,0	6000,0	162,0	19,5	FV TAŠKA	27,0
	PAXOS	42,6	6177,0	145,0	16,0	FV TAŠKA	23,5
	SOLTEQ	49,0	9900,0	202,0	16,0	FV TAŠKA	20,4
	GASSER CERAMIC FIT 52	55,8	8702,0	156,0	20,0	FV TAŠKA	17,9
	HANERGY	57,5	6037,0	105,0	34,3	FV TAŠKA	17,4
	LINDAB	63,1	5993,0	95,0	7,0	KOMBI	15,9
	GASSER CERAMIC PAN 32	66,4	6376,0	96,0	10,0	FV TAŠKA	15,1
	TESLA	112,2	5500,0	49,0	16,4	FV TAŠKA	8,9
	METSOLAR	X	X	173,0	54,8	KOMBI	X

Tabulka 2-2: Tabulka základních údajů FV krytin a FV modulů seřazených podle bodů

Ceny jsou uvedeny bez DPH.



3. Technologické vlastnosti

Technologické vlastnosti FV krytin se moc neliší od technologických vlastností FV modulů. Zpravidla se jedná o spojení několika vrstev, které ve výsledku tvoří FV krytinu. Technologické vlastnosti by se daly rozdělit na technologii fotovoltaického článku a na strukturu FV krytiny. Co se týče druhu fotovoltaického článku, můžeme u FV krytin narazit na stejné typy článků jako u FV modulů. Co se týče struktury, u FV krytin se často používá struktura sklo-sklo z důvodu větší pevnosti a životnosti.

3.1. Technologie fotovoltaických článků

FV články se dají rozdělit na tři základní druhy:

- a) krystalické: monokrystalické, polykrystalické
- b) tenkovrstvé: amorfní, CIGS
- c) nové materiály

U FV krytin se setkáváme především s monokrystalickými, polykrystalickými a tenkovrstvými CIGS, proto budou dále rozebrány.

3.1.1. Monokrystalické křemíkové články

Monokrystalický článek tvoří křemíková podložka, která vzniká nařezáním křemíkového krystalu (ingotu) na plátky. Monokrystal se vyrábí tažením roztaveného křemíku, známá používaná metoda je Czochralského metoda. Monokrystal se pak seřízne na čtvercový průřez – pro větší využití materiálu se neřeže přesně do tvaru čtverce, ale vzniká osmistranný útvar. Poté je rozřezán na jednotlivé desky o tloušťce cca 150 μm . Na desky se napaří tenká vrstva dotovaná difuzí fosforu. Po umístění zadní kontaktní vrstvy a antireflexní vrstvy jsou články kompletní. Účinnost tohoto článku se pohybuje od 14 do 21 % [19] [20].

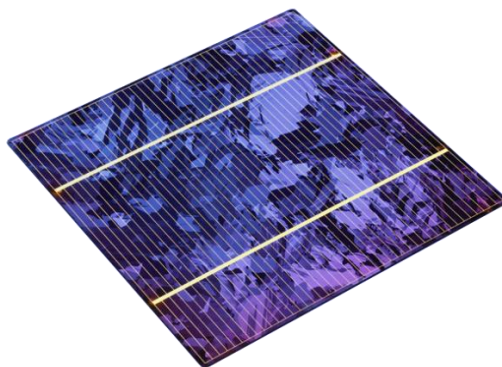


Obrázek 3.1-1: Monokrystalický článek [21]



3.1.2. Polykrystalické křemíkové články

Polykrystalické články jsou také tvořeny křemíkovou podložkou, ale s velkým počtem krystalů. Výroba polykrystalických článků je jednodušší než u monokrystalických. Obvykle je při výrobě použita metoda blokového lití, takže lze vyrobit článek libovolných rozměrů. Podložka má většinou čtvercovitý tvar a článek dosahuje účinnosti 12 až 15 %. Články dokážou lépe využít rozptýlené světlo a nejsou tak citlivé na jižní orientaci [19].



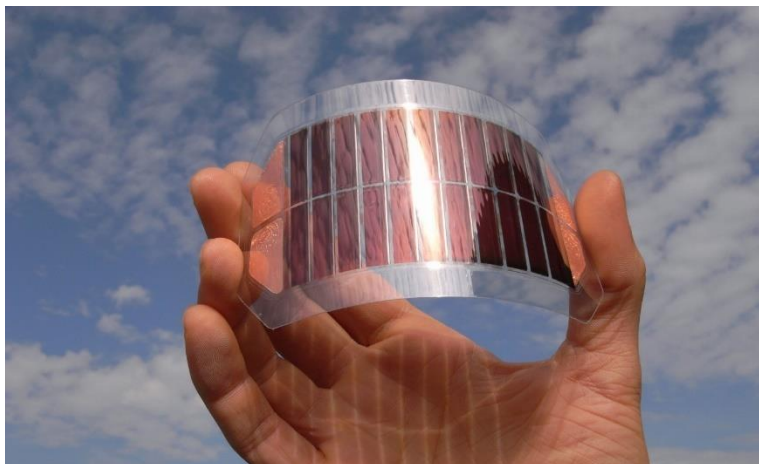
Obrázek 3.1-2: Polykrystalický článek [21]

3.1.3. Amorfni články

Na podkladový materiál je napařená tenká vrstva fotocitlivého materiálu. Účinnost amorfni článků se pohybuje od 8 do 12 % v závislosti na použitém materiálu pro napaření tenké vrstvy. Mezi hlavní materiály patří: Amorfni křemík (účinnost 6 - 9 %), kadmium-telurid (účinnost 9-11 %), CIS (měď-indium-diselenid) a CIGS (měď-indium-galium-diselenid) – účinnost 10 - 12 % [19]. CIGS se vyznačuje tím, že oproti křemíkovým článkům dokáže pracovat s širším světelným spektrem [1].

3.1.4. Nové materiály

Novým trendem je využívání organických materiálů na bázi uhlíku, místo křemíku. Takovým organickým materiálem mohou být například organické molekuly plastů, které vynikají pružností, nízkými náklady na výrobu a tloušťkou v řádu nanometrů. Organické články lze nanášet i na okna – mohou být průhledné. Podstatnou nevýhodou je zatím malá účinnost pohybující se v jednotkách procent. Výzkumy těchto článků však nejsou u konce a může se stát, že se jednou dočkáme plnohodnotného organického článku [19].



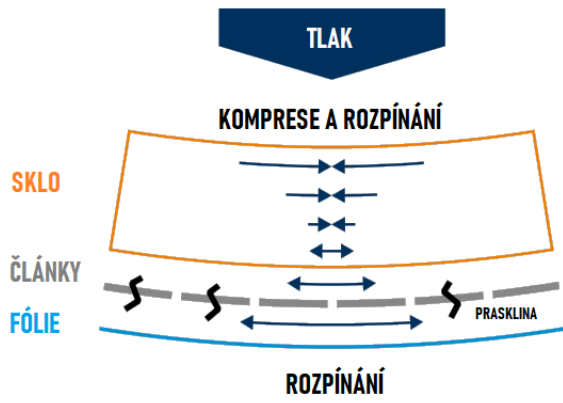
Obrázek 3.1-3: Organický článěk [22]

3.2. Struktura FV krytin sklo-sklo

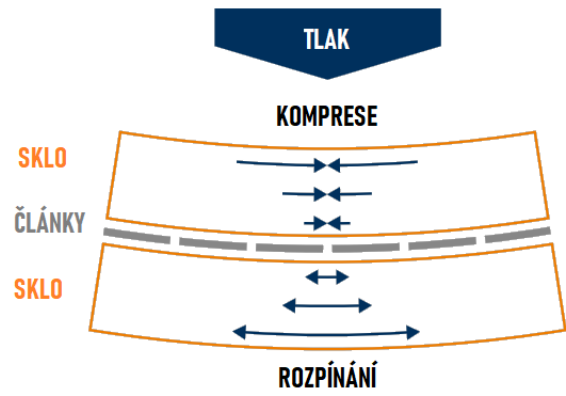
U FV krytin se často setkáváme se strukturou modulu sklo-sklo, nebo s využitím tenkovrstvých článků. Tenkovrstvé články byly již zmíněny v předchozí kapitole. Moduly sklo-sklo jsou starší technologií, v průběhu let se začaly více používat moduly se zadní polymerovou folií sklo-fólie. Důvodem nahrazování byla vyšší cena a větší hmotnost modulů sklo-sklo. Moduly sklo-sklo mají lepší odolnost a vyšší spolehlivost. Odolají vyšším teplotám, vlhkosti a mají lepší mechanickou stabilitu i životnost. Z obrázku 3.2-1 je patrné, že dochází u modulu sklo-fólie při tlaku k mikroprasklinám FV článku. Modul sklo-sklo tyto praskliny svojí strukturou eliminuje. Z výše uvedených důvodů jsou moduly sklo-sklo vhodnější pro aplikaci na střechy jako FV krytina [23]. Každá firma obohacuje tuto strukturu svými patenty nebo vylepšeními, kterými se snaží odlišit od konkurence. Většinou se jedná o obchodní tajemství. Obecná struktura FV modulu je na obrázku 3.2-2.



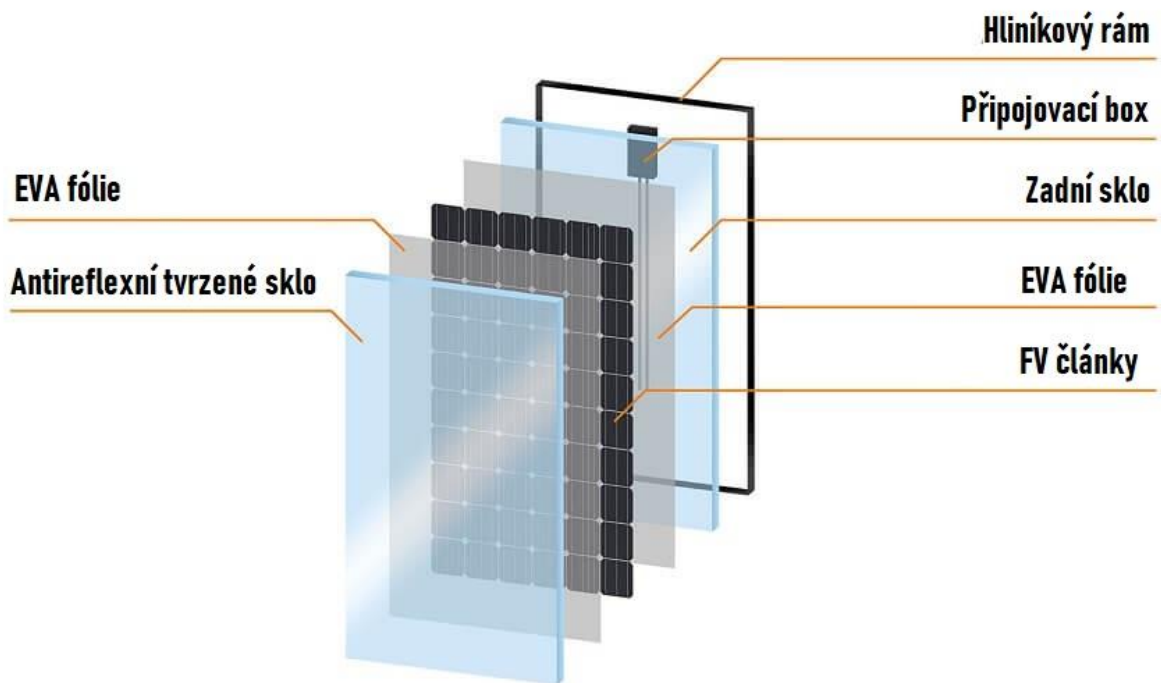
Panel SKLO-FOLIE



Panel SKLO-SKLO



Obrázek 3.2-1: Ukázka vlivu tlaku na moduly sklo-fólie a sklo-sklo [23]



Obrázek 3.2-2: Struktura sklo-sklo modulu [23]



4. Kategorizace fotovoltaických střešních systémů

Fotovoltaické moduly s integrovanou funkcí zdroje a střešní krytiny lze rozdělit do tří základních skupin.

4.1. Fotovoltaická taška

Zpravidla se jedná o modul sklo-sklo, skládá se z několika vrstev zpravidla tvrzené sklo, EVA folie, fotovoltaické články, EVA folie, zadní sklo. Tyto vrstvy mohou být zapouzdřeny v hliníkovém rámu. Jedná se o nejrozšířenější metodu fotovoltaických tašek. Mezi výrobce FV tašek lze označit Teslu, Hanergy, Sunstyle, SolteQ, Paxos.

Výhody: Taškami některých výrobců lze dosáhnout vyšší účinnosti než u běžně dodávaných FV modulů. Lze volit barvu střechy. Lze vybírat mezi tvarovými variantami. Vzhledově střecha působí jako obyčejná nefotovoltaická, různé výkonové varianty, lze kombinovat s nesolárními taškami, jednoduchá výměna.

Nevýhody: Vysoká cena, vyšší hmotnost, velké množství konektorů a propojení, u některých tašek absence chlazení.

4.2. Fotovoltaická kombinovaná střešní krytina

Složená z vrstvy klasické střešní krytiny a z vrstvy fotovoltaického modulu. Modul je buď spojen ke krytině lepeným spojem, nebo může být na krytině zavěšen.

Výhody: Možnost dosáhnout nižší hmotnosti, možnost rozmístění podle potřeby a spotřeby, jednoduchá výroba a instalace. Izolaci a odolnost proti vlhkosti zajišťuje klasická střešní krytina.

Nevýhody: U analyzovaných řešení absence chlazení, vysoké nároky na spojení vrstev, v případě pouhého zavěšení, riziko zafoukávání pod střešní krytinu.



4.3. Integrované FV moduly

Jako střešní krytina je použit FV modul, který pomocí speciální instalace zajišťuje těsnost proti vodě a dalším přírodním vlivům.

Výhody: Nejlepší poměr cena/výkon v porovnání s ostatními kategoriemi.

Nevýhody: Nutnost vyřešení přechodu mezi integrovaným FV modulem a střešní krytinou. Náročnější instalace.



5. Návrh optimalizované střešní tašky

Návrh tašky bude vytvořen na míru pro firmu Wienerberger, která vyrábí pálené střešní tašky. Z širokého portfolia jsem vybral konkrétní model pálené tašky Tondach Figaro 11. Tuto tašku jsem vybral z důvodu, že má rovnou plochu, která se dá využít jako plocha pro FV články. U tohoto řešení vidím velkou konkurenční výhodu. Tondach, jakožto výrobce pálených tašek, má funkční střešní systém, díky kterému je možné zastřešit střechu libovolných tvarů. U ostatních firem nabízejících FV krytinu, se často naráží na problém absence speciálních střešních tašek, jako je například: taška okrajová, taška půlená, taška větrací, hřebenáč a podobně. Konstrukteři nebo dodavatelé FV krytin pak musí improvizovat a najít alternativní řešení, jelikož jim chybí funkční střešní systém.

Navrhované tašky by teoreticky šlo zaměnit za již instalované nefotovoltaické, a to například jen lokálně. Můžou tak sloužit jako zdroj elektřiny například pro čidla teploty nebo pro kamerový systém.

Dalším atraktivním faktorem tohoto řešení může být cena pro zákazníka. Některé firmy vyrábí vlastní nefotovoltaickou krytinu, která je ovšem výrazně dražší od klasické pálené. Uvedu příklad:

Výrobce nefotovoltaické tašky	Cena krytiny za metr čtvereční	Zdroj
Gasser Ceramic	754 Kč	dodavatel
SolteQ	2600 Kč	dodavatel
Tondach (klasická pálená taška)	337 Kč	[24]

Tabulka 5-1: Porovnání cen nefotovoltaické střešní krytiny

Ceny jsou uvedeny bez DPH.

Mé řešení jde na věc z druhé strany. Existuje již funkční střešní systém a stačí navrhnout integraci fotovoltaiky do tohoto systému.



5.1. Nefotovoltaická střešní taška

Jako nefotovoltaickou verzi střešní krytiny použijí střešní tašku Tondach Figaro 11. Jak jsem již zmínil v předchozí kapitole, taška je levná, dostupná a vyrábí se ve více barevných provedeních. Hlavní výhodou je široká nabídka speciálních variant této tašky, od větrací tašky až po tašky okrajové.



TONDACH Figaro 11 základní taška černá

Akce

+ Věrnostní program 21.8 ks = 1 b.

číslo položky: 1230133006

katalogový kód: GHCU6

Výrobky značky: TONDACH

Figaro 11 posuvná taška základní

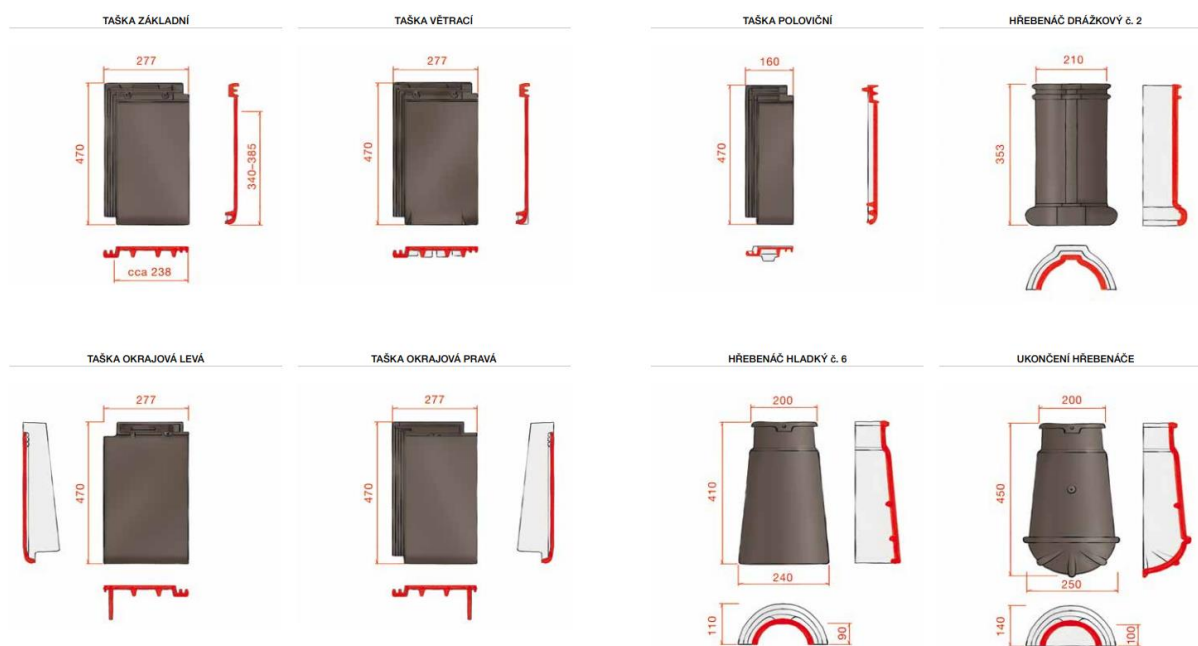
60,50 Kč
sleva 38%

30,70 Kč
bez DPH za ks

37,15 Kč
s DPH za ks

Obrázek 5.1-1: Cena klasické střešní tašky Tondach Figaro 11 [24]

Rozměry keramických výrobků (mm)



Obrázek 5.1-2: Široká nabídka speciálních variant tašky Figaro 11 [25]



5.2. Fotovoltaická střešní taška

Řešení fotovoltaické tašky lze navrhnout více způsoby. Lze se inspirovat analyzovaným řešením, jako je řešení od firmy Metsolar a na pálenou tašku na míru vytvořit fotovoltaický modul. Také lze vymyslet vlastní způsob integrace fotovoltaiky na střešní krytinu, který bude nyní popsán detailněji.

Vlastní návrh prezentuje myšlenku použít pálenou tašku jako zadní vrstvu FV modulu. Řešení bude podobné, jako je u běžných FV modulů struktura sklo-sklo, jen bude struktura místo spodního skla nahrazena přímo pálenou taškou.

Výhody řešení: Úspora výrobních nákladů – pálená taška je levnější spodní vrstva než například sklo, dále je zachováno původní spojování střešního systému. Pro výrobce je toto řešení výhodné, jelikož k výstavbě střechy použije stejné množství pálených tašek, jen některé budou obohacené o fotovoltaický systém. Tudiž se mu nesníží výroba tašek nefotovoltaických. Návrh by mohl sloužit jako univerzální řešení integrace fotovoltaiky přímo na pálené tašky – řešení by se dalo aplikovat například i na krytinu typu bobrovka.

Rizika řešení: Od pálené tašky nelze očekávat stejnou kvalitu povrchu jako u skla. Způsob vedení kabelů – vývody skrz tašku mohou ohrozit konstrukční stabilitu a vlastnosti tašky.

Eliminace rizik: Vedení kabelů po povrchu – kabely budou vyvedeny pod sousední tašku nacházející se nad původní FV taškou. Zadní vrstva by měla být vodotěsná, tomuto požadavku by mohla vyhovět glazovaná verze tašky.



Obrázek 5.2-1: Figaro 11 - Glazura Amadeus černá [26]

**Výsledná FV taška se bude skládat z:**

- glazované pálené tašky
- EVA folie
- fotovoltaických článků s vedením
- tvrzeného kaleného skla
- junction boxu s by-pass diodou
- kabelů a MC4 konektorů
- silikonu

Kusovník – popis jednotlivých komponent a přibližná cena prototypu:

Předmět	Cena pro 1 FV tašku	Množství pro 1 FV tašku	Odkaz
Figaro 11 - Glazura černá	50 Kč	1 ks	[26]
MSL Solar Panel EVA Film 401 mm x 229 mm x 0.4 mm	62 Kč	2 ks	[27]
Tongwei Solar Mono 9BB Solar Cell 210 Bifacial	40 Kč	1.5 ks	[28]
Junction box 5W - 20W Solar waterproof IP67	10 Kč	1 ks	[29]
12A 45V Diode for Solar Cells Panel	24 Kč	1 ks	[30]
MC4 konektory 1pár	22 Kč	1 ks	[31]
Kabely solární 20 cm, 4mm ²	34 Kč	2 ks	[32]
Silikon ExpertChem	30 Kč	100 ml	[33]
Tvrzené fotovoltaické sklo 405 mm x 235 mm x 4 mm	100 Kč	1 ks	[34]

Tabulka 5-2: Kusovník potřebných komponentů k vytvoření prototypu

Ceny jsou uvedeny s DPH.

Cena prototypu celkem:	372 Kč
Cena za m ² :	3 992 Kč
Cena za m ² bez DPH	3 299 Kč

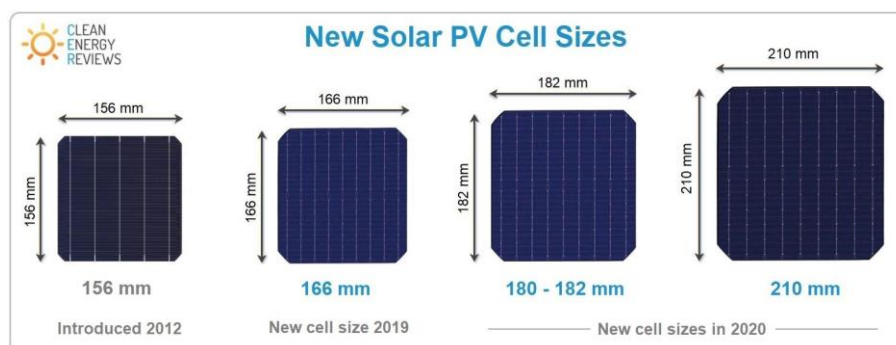
Tabulka 5-3: Přibližná cena za jeden prototyp a za metr čtvereční FV tašek



Rozměry komponentů z tabulky 5-2 byly odečteny z 3D výkresu pálené tašky, který byl poskytnut od firmy Wienerberger. Po konzultaci s odborníky z firmy Wienerberger se došlo k závěru, že vzhledem k technologii výroby pálené tašky vznikají odchylky u rozměrech tašky, které mohou dosahovat až 5 mm. Proto je za potřebí vymezovat jednotlivé prostory a plochy na tašce s mírnou rezervou. Míry uvedené u komponentů vychází z 3D výkresu a jsou stanoveny pro ideální tašku výkresových rozměrů. Nyní budou popsány některé důležité komponenty a zdůvodněn jejich konkrétní výběr.

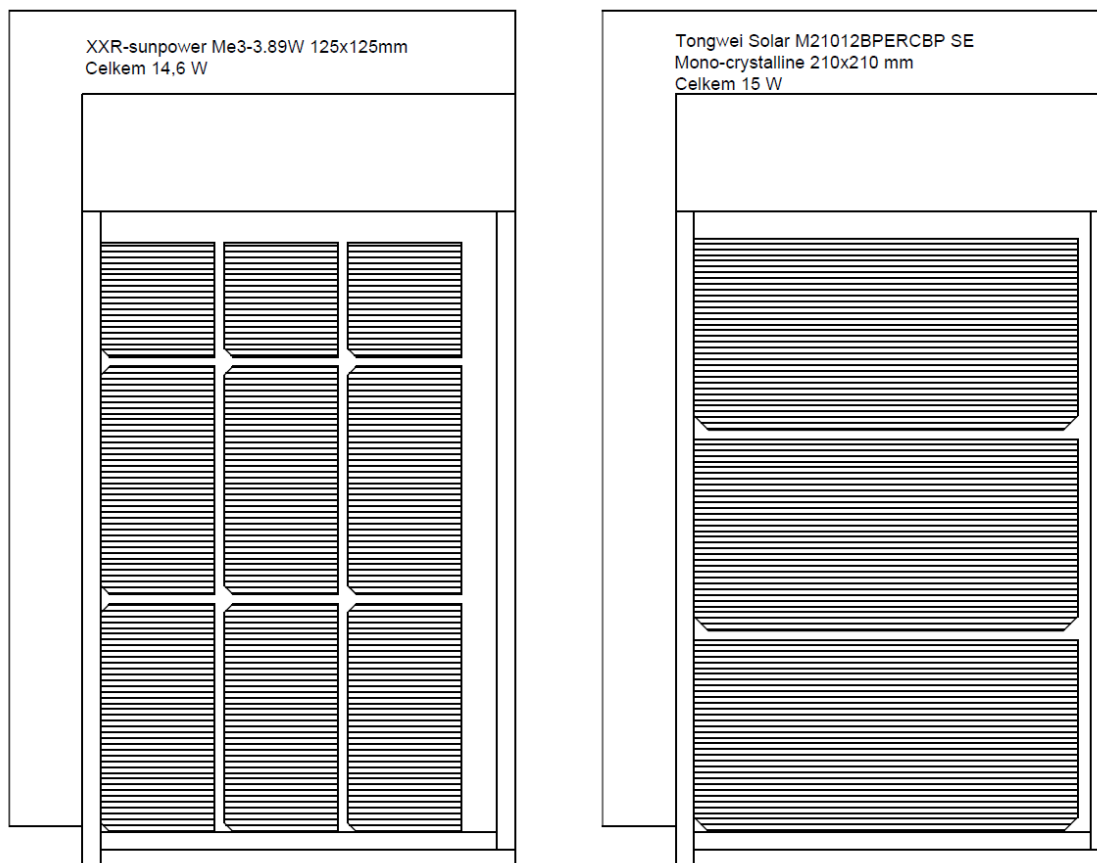
5.2.1. Fotovoltaické články

Volba typu fotovoltaických článků a způsob rozmístění nabízí několik variant. Pro vyplnění celé plochy se nabízí řešení tenkovrstvých článků, které mají nižší účinnost, tudíž nižší výkon. Tenkovrstvé články jsou použity u FV tašky Hanergy s výkonem 136Wp na m². Výkon stejného typu článků na tašce Figaro 11 se dá odhadnout na 10 Wp. Druhá varianta nabízí použití monokrystalických článků.



Obrázek 5.2-2: Porovnání velikostí vyráběných monokrystalických FV článků [35]

V dnešní době lze články rozřezat na požadované dílky. Firma SunWare se na řezání článků specializuje. Nabízí rozřezání na polovinu i na čtvrtinu [36]. Za těchto předpokladů lze navrhnout několik způsobů rozmístění FV článků na navrhovanou tašku.



Obrázek 5.2-3: Možnosti rozložení FV článků - orientační výkres

Na obrázku 5.2-3 vidíme možnosti efektivního rozmístění monokrystalických FV článků. Pro prototyp byl vybrán solární článek firmy Tongwei Solar. Článek se vyrábí v rozměrech 210 mm x 210 mm s devíti sběrnými. Takový článek se na vybranou tašku vejde pouze jednou, ale díky možnosti půlení článků lze použít tři poloviny článku. Výkon přední strany jednoho článku se pohybuje od 9,66 Wp do 10,14 Wp. Dá se tedy odhadnout, že výkon tří polovičních článků by mohl dosahovat přibližně 15 Wp. Výsledný výkon celé tašky však ovlivní průsvitnost fotovoltaického skla, EVA folie a ztráty ve vedení. Odhadem by se dalo počítat s celkovými ztrátami 6 %. Jedna FV taška by mohla produkovat zhruba 14 Wp tedy 154 Wp/m², tuto hodnotu by bylo nejvýhodnější laboratorně ověřit.



5.2.2. By-pass diody a junction box

Vzhledem k použití malého počtu FV článků u jedné tašky, byl třeba zvážit způsob užití by-pass diod. By-pass diody slouží k ochraně skupiny článků na kterých je porucha, nebo jsou zastíněny. V takovém případě proud teče přes diodu, nezahřívá vadný/zastíněný FV článek a tím se docílí, že se výroba energie nevypne, jen se sníží výkon. Jedna z variant byla vytvořit společný junction box (zkráceně jbox = připojovací krabička) s by-pass diodou pro například 3 tašky. Takové řešení je pro snadnou instalaci nepraktické, hlavně je problematické vytvořit pevný spoj mezi FV pásky vyvedenými od FV článků a FV kabely. Pájené spoje by šlo lehce vytrhnout. Tento problém vyřeší malý jbox s by-pass diodou nalepený přímo na tašce pomocí silikonu. Umístění jboxu je navrženo vhodně tak, aby byl schován pod sousední taškou. Nevýhody boxu jsou dvě. Znemožní se pokládání tašek způsobem ve stříhu (tj. způsob kdy se tašky pokládají rovně nad sebou), je umožněn jen způsob pokládání ve vazbě (tj. způsob kdy se tašky o polovinu šířky překládají), který je oblíbenější. Druhou nevýhodou je skládání tašek při přepravě, tašky se musí od sebe oddělit v dostatečné vzdálenosti, aby nebyl box poškozen. Vzhledem k tomu, že je taška z horní strany skleněná musela by se stejně lépe ochránit.

By-pass diody byly dimenzovány na tři poloviční články. Z datasheetu FV článků byly odečteny údaje o proudu I_{sc} FV článků. I_{sc} je zkratový proud, tedy proud procházející FV článkem, když je napětí na FV článku nulové (tj. když je FV článek zkratován) [37]. Vzhledem k použití polovičních článků sériově zapojených, byl proud z datasheetu jednoduše vydělen dvěma. Diodu dimenzuji na proud I_D o 25 % vyšší, než je uváděný v datasheetu. Tudíž:

$$I_D = \frac{1}{2} \cdot I_{sc} \cdot 1,25 = \frac{1}{2} \cdot 18,325 \cdot 1,25 = 11,45 \text{ A}$$

Rovnice 5-1: Dimenzování proudu

Dioda by měla být dimenzována na 12 A.



5.2.3. Fotovoltaické sklo

Fotovoltaické sklo by mělo být odolné proti nárazu, odolat velkým kroupám, antireflexní a s co největší propustností světla. V rámci bakalářské práce bylo rozesláno několik poptávek po fotovoltaických sklech. Bohužel se přímo na českého dodavatele FV skla nepodařilo dohledat. Některé oslovené firmy nabízí alternativní řešení, jako například kalené sklo Diamant 4 mm s reflexí méně než 1 % od firmy Glassolutions za 290 Kč/ks bez DPH a od Glascomp za cca 500 Kč bez DPH za kus požadovaných rozměrů. Další nabízenou alternativou bylo kalené sklo ESG Planibel Grey 5 mm od firmy Damarus. Při sériové výrobě je cena skla požadovaných rozměrů 210 Kč bez DPH. U čínských výrobců je možno zakoupit metr čtvereční FV skla za 100 Kč – 300 Kč [34]. Cena byla tedy z více zdrojů zprůměrována a zaokrouhlena na 100 Kč za kus. Navržené sklo je o rozměrech 405 mm x 235 mm x 4 mm se zaoblením hran 1 mm. Firma Wienerberger má vlastní mezinárodní dodavatele a podle dostupných informací by nebyl problém požadované sklo zajistit.

5.2.4. Ostatní komponenty

Ostatní komponenty jako je EVA fólie, kabeláž a konektory nepotřebují komentář. Jedná se o běžné komponenty používané ve fotovoltaice. Silikon byl zvolen transparentní, odolný vůči UV záření. Jejich vlastnosti by však bylo vhodné laboratorně ověřit.

5.2.5. Výkresy pro výrobu

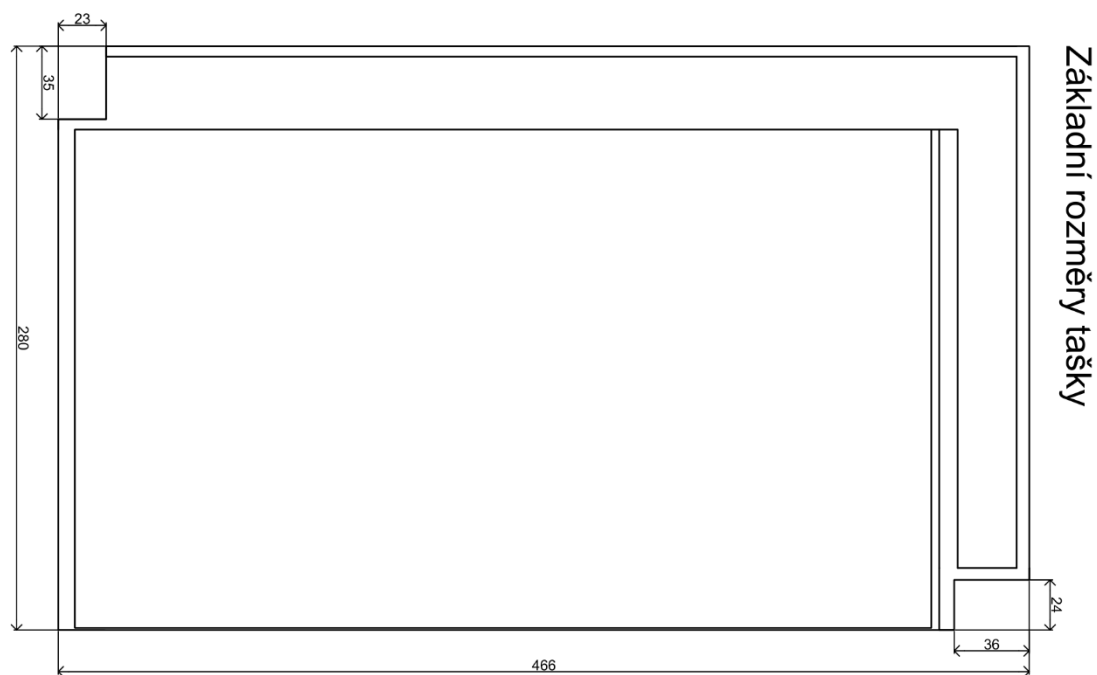
Pro případ sériové výroby navrhované tašky, byly vytvořeny výkresy upřesňující umístění jednotlivých komponentů. Při návrhu bylo důležité vytvořit co možná nejvýkonnější řešení FV tašky. Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.2.1 byly zvoleny FV články 210 mm, kvůli efektivnímu využití plochy. Nedá se využít celá plocha pálené tašky. Použitelná plocha pro FV články je od celkové rovné plochy zmenšena z bočních stran o prostor pro vedení drátů, prostor pro zaizolování hran silikonem a také zaoblením tašky. Zhora je plocha omezena variabilním uložením tašek. Tašky mají tzv. krycí délku v rozmezí od 340 mm do 385 mm. Pro dosažení efektivních výkonů bylo omezeno rozmezí od 360 mm do 385 mm. Při pohledu na střechu, je hrana horní sousedí tašky vzdálena od FV článku 23 mm až 48 mm, aby se předešlo zastínění horního článku horní taškou během dne. Zastínění horního článku by znemožnilo výrobu elektrické energie celé FV tašky.

Celková plocha rovná plocha tašky je 411 mm x 239 mm, tedy 0,098229 m². Rovná plochu je význačná na zjednodušeném výkrese tašky Figaro 11. Pro přehlednost je výkres i

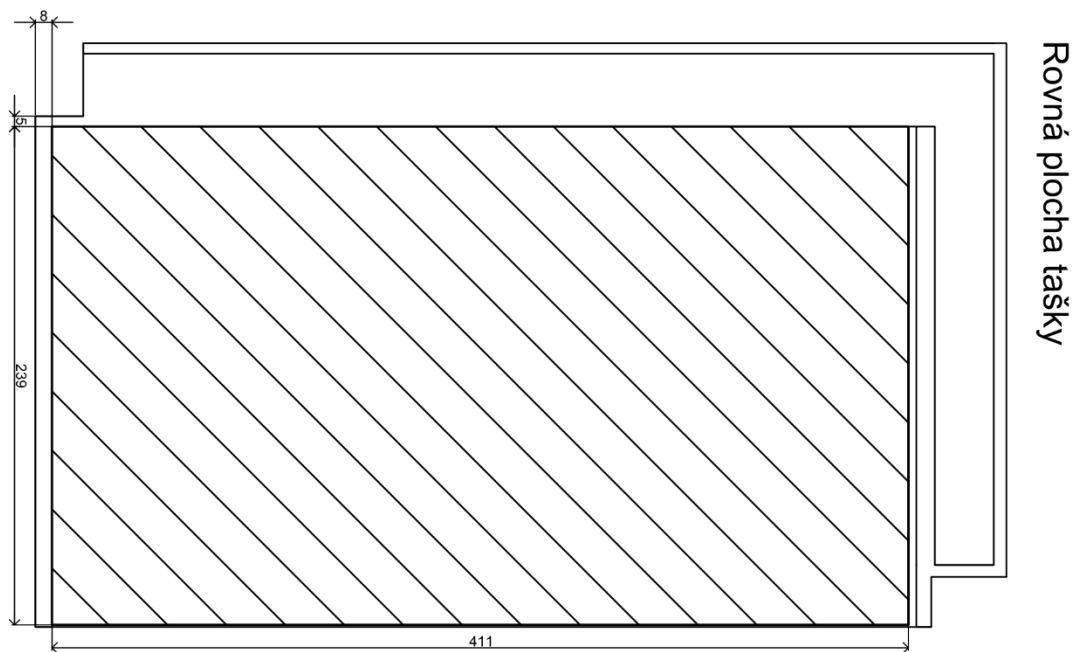


Dominik Sochulák

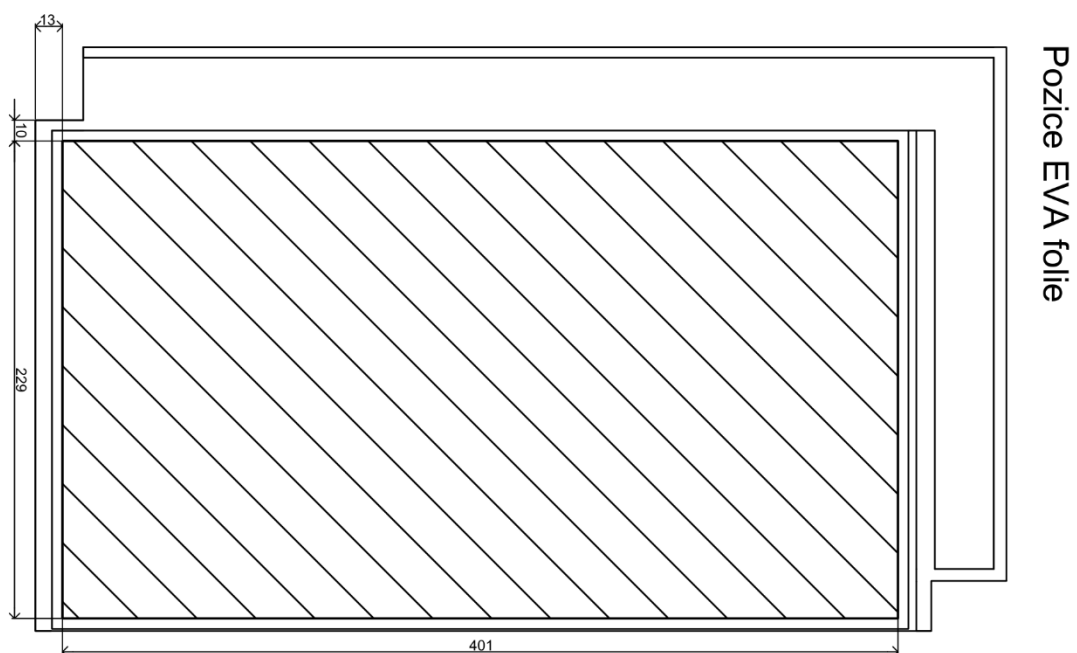
kótování postupně rozfázováno. Začíná se základními rozměry tašky a přes rohy tašky je definováno umístění dalších prvků. Každý komponent má svůj výkres umístění, kde je vyznačen tučnou čarou a někde i šrafováním. Když je definována rovná plocha, s kterou se dá pracovat, lze navrhnout umístění EVA folie, FV článků a skla. EVA fólie je při výrobě aplikovaná dvakrát – pod články a na články. Výkresy byly vytvořeny v programu Autodesk AutoCAD 2022.



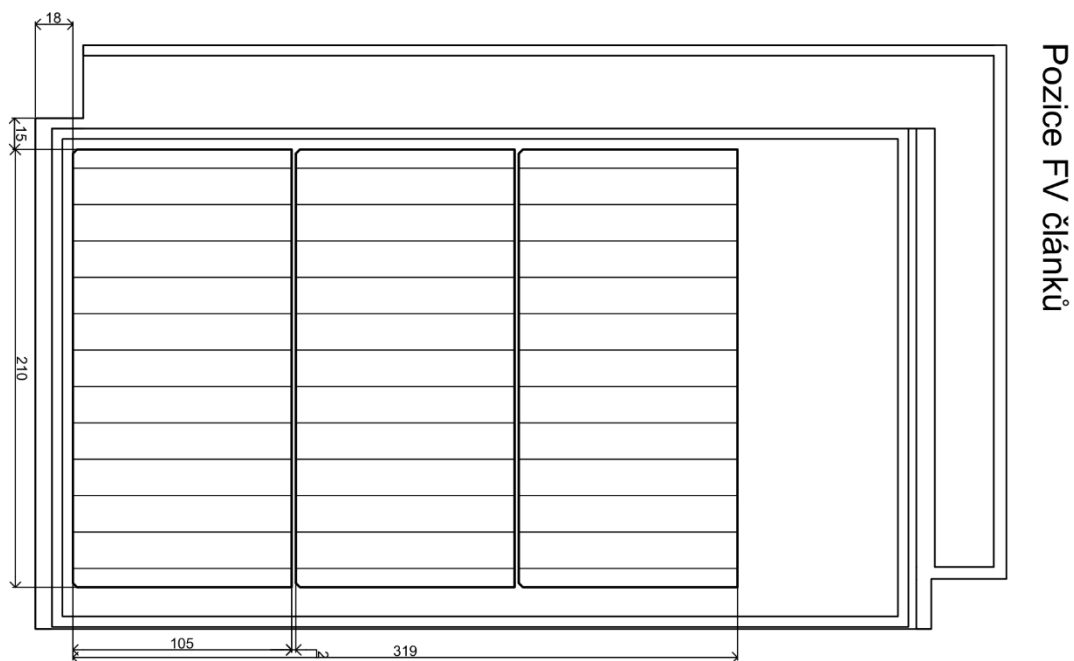
Obrázek 5.2-4: Zjednodušený výkres tašky Figaro 11



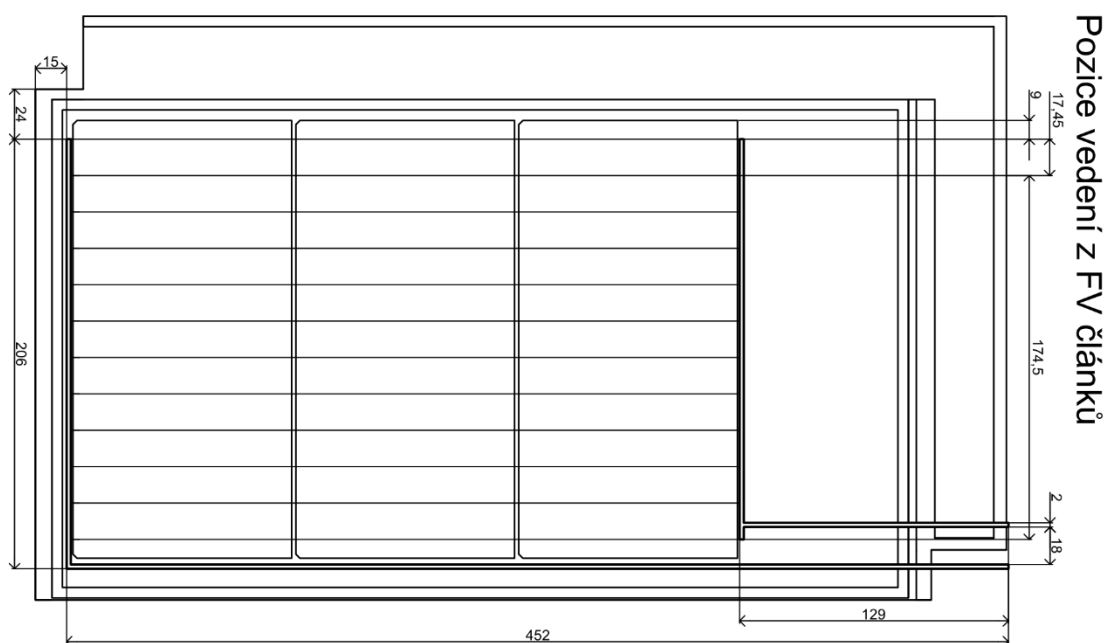
Obrázek 5.2-5: Rovná plocha tašky



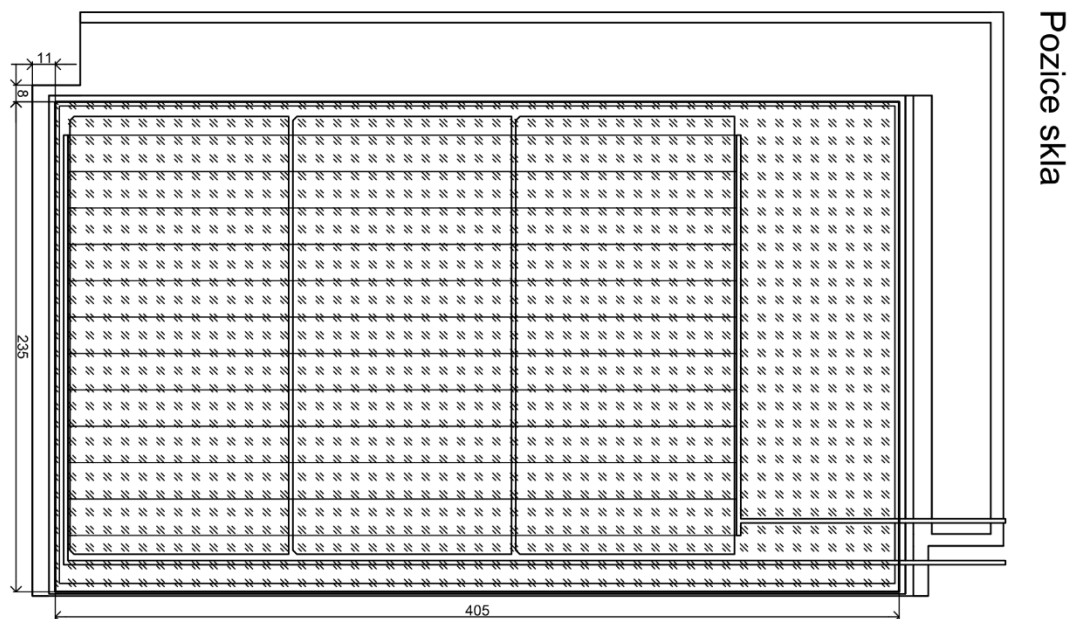
Obrázek 5.2-6: Umístění a rozměry EVA folie



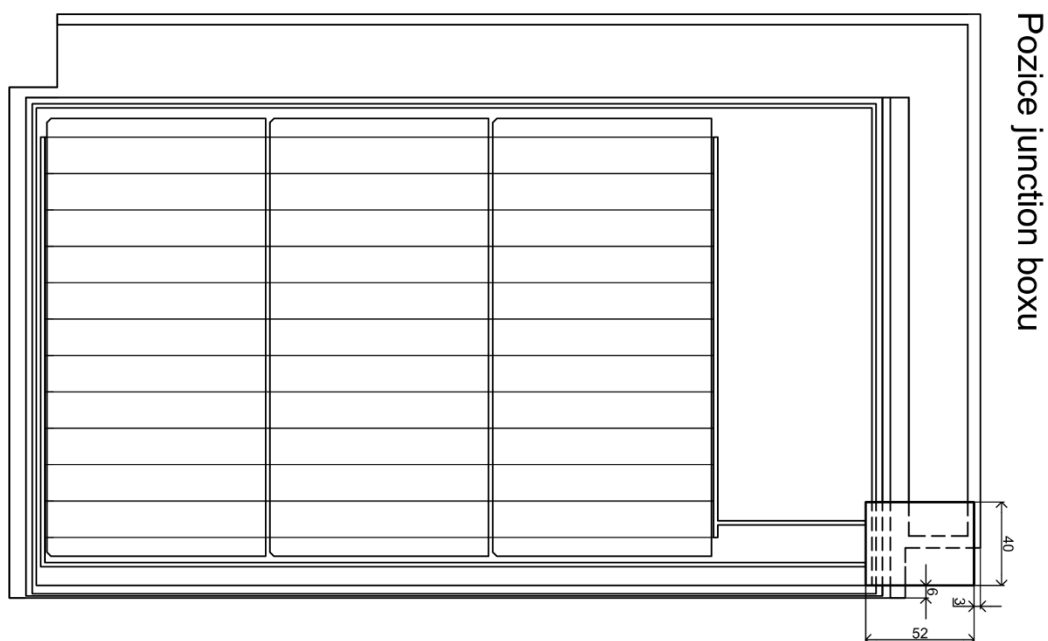
Obrázek 5.2-7: Umístění a rozměry FV článků



Obrázek 5.2-8: Umístění a rozměry vedení FV článků



Obrázek 5.2-9: Umístění a rozměry skla

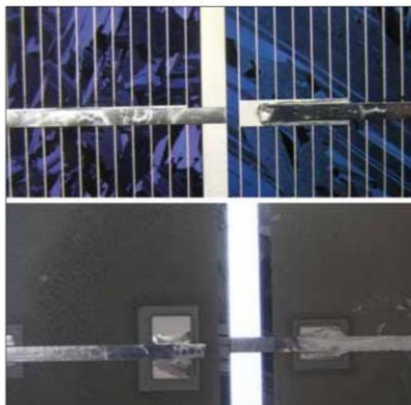


Obrázek 5.2-10: Umístění jboxu



5.2.6. Postup výroby

Výrobní postup je následující: Na přední straně FV tašky je kalené sklo. Na sklo se pokládá plastová EVA (etylvinylacetát) fólie a na ni se skládají propojené PV články.



Obrázek 5.2-11: Detail sériového propojení FV článků z přední i ze zadní strany [38]

Na obrázku 5.2-11 je vidět detail sériového propojení PV článků z přední i ze zadní strany. Kovový pásek spojuje přední kontakt jednoho článku se zadním plošným kontaktem druhého článku. Přes propojené články se znovu pokládá plastová EVA fólie a zadní stěnu tvoří pálená taška. Poté se vyčerpá vzduch mezi těmito vrstvami a FV taška se zahřeje nad teplotu tání EVA fólie po dobu přibližně 6 minut. Teplota tání EVA fólie je cca 150°C. EVA fólie se po teplotním zpracování rozteče a jako zalévací hmota zalije FV články v prostoru mezi předním sklem a pálenou taškou [38] [39]. Následně se z hran odstraní přebytečná EVA fólie a hrany se zaizolují silikonem. Na určené místo se přilepí jbox, pájením se připojí kontakty a kabely s MC4 konektory se zajistí přišroubováním k jboxu. Okolí jboxu včetně otvorů se rovněž zaizoluje. Tento proces by bylo možné v rámci prototypu vytvořit svépomocí, při sériové výrobě by díky výkresům umístění jednotlivých komponentů bylo možné proces výroby z větší části automatizovat. Pro lepší představu slouží obrázky v kapitole 5.2.7.



5.2.7. Výsledný návrh

Veškeré detaily finálního návrhu byly popsány v předchozích kapitolách. Návrhy byly vytvořeny v programu Autodesk Fusion 360.



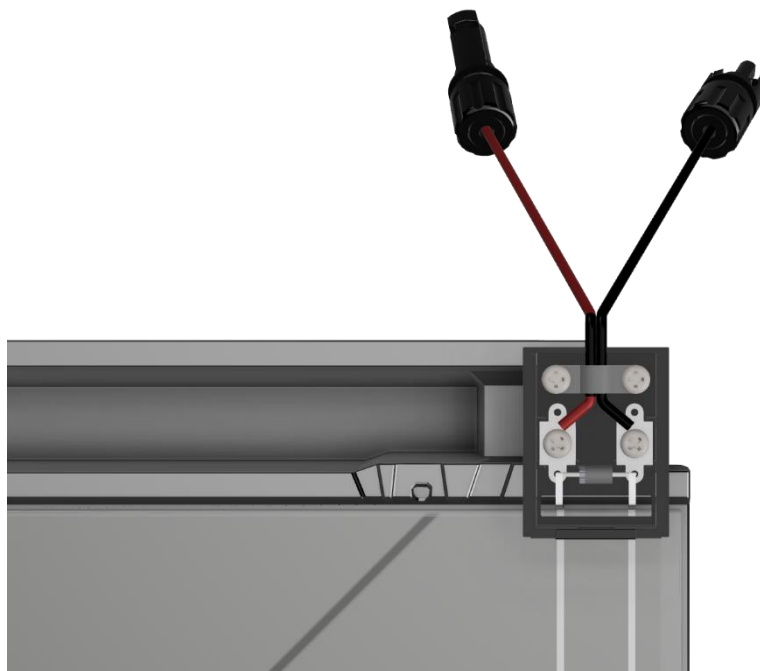
Obrázek 5.2-12: Vlastní prototyp z přední strany



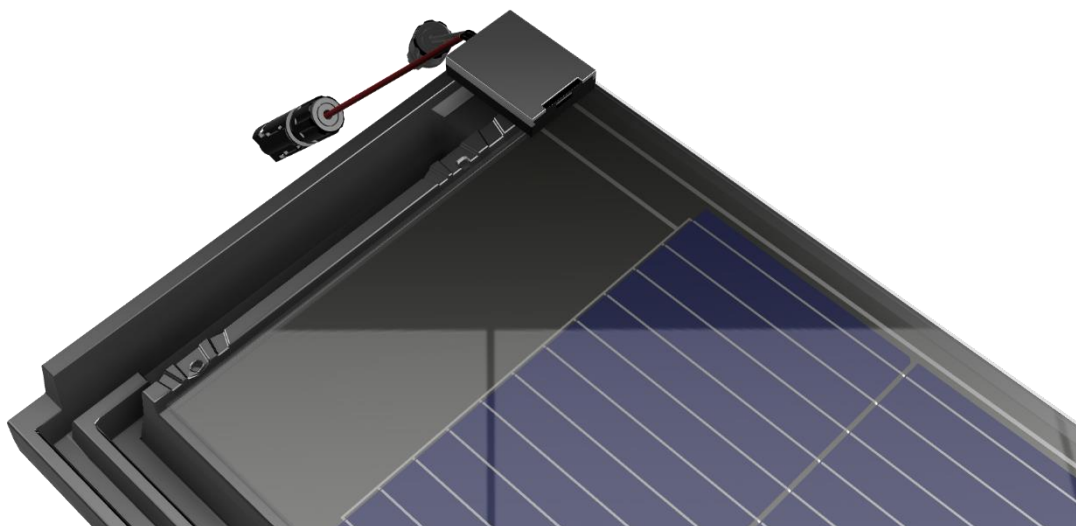
Obrázek 5.2-13: Vlastní prototyp z profilu



Obrázek 5.2-14: Vlastní prototyp z boční strany



Obrázek 5.2-15: Detail zapojení v jboxu



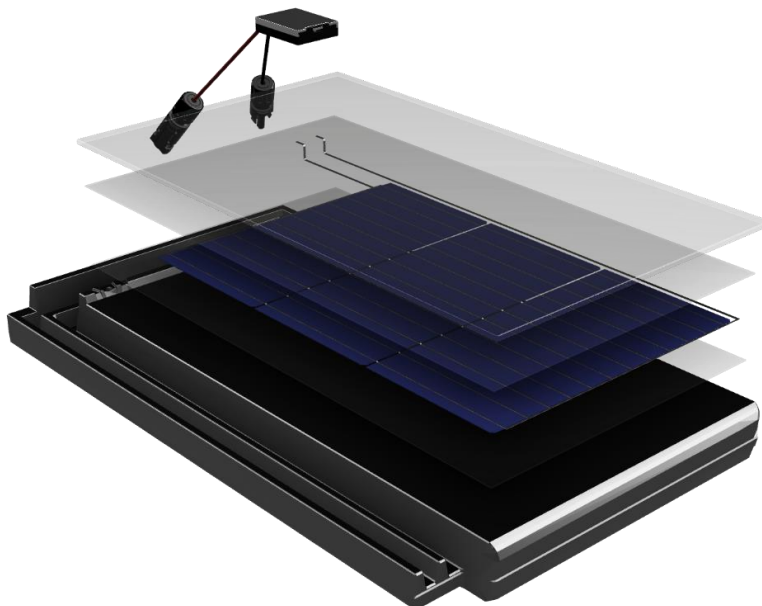
Obrázek 5.2-16: Detail jboxu



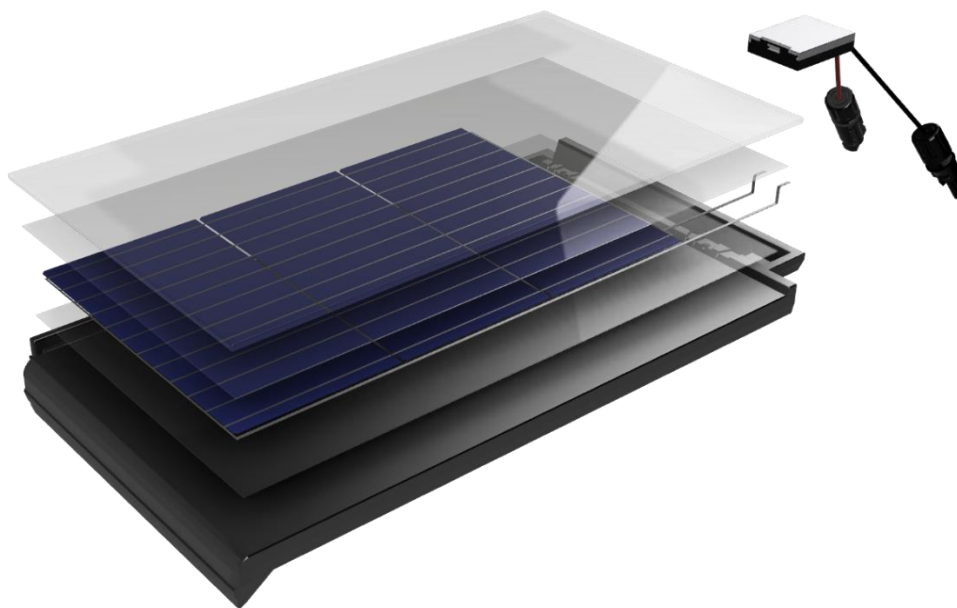
Obrázek 5.2-17: Ukázka spojení FV tašek metodou ve vazbě ze zadní strany



Obrázek 5.2-18: Ukázka spojení FV tašek metodou ve vazbě ze přední strany



Obrázek 5.2-19: Jednotlivé vrstvy FV tašky z levé strany



Obrázek 5.2-20: Jednotlivé vrstvy FV tašky z pravé strany



6. Porovnání dosažených výsledků

	Výrobce	Cena za instalovaný Wp [Kč]	Cena za m2 [Kč]	Výkon za m2 [Wp]	Hmotnost na m2 [Kg]	Druh	Body
FV moduly	Q.PLUS (MODUL)	10,0	1712,0	170,6	11,0	POLY	99,7
	Bauer (MODUL)	10,2	1991,0	194,4	11,3	MONO	97,6
FV moduly s funkcí zdroje a střešní krytiny	SOLARWATT	21,0	3839,5	183	15,6	INTEGROVANÝ MODUL	47,7
	Wienerberger Sochulák	21,4	3299,0	154,0	55,0	FV TAŠKA	46,7
	SUNSTYLE	37,0	6000,0	162,0	19,5	FV TAŠKA	27,0
	PAXOS	42,6	6177,0	145,0	16,0	FV TAŠKA	23,5
	SOLTEQ	49,0	9900,0	202,0	16,0	FV TAŠKA	20,4
	GASSER CERAMIC FIT 52	55,8	8702,0	156,0	20,0	FV TAŠKA	17,9
	HANERGY	57,5	6037,0	105,0	34,3	FV TAŠKA	17,4
	LINDAB	63,1	5993,0	95,0	7,0	KOMBI	15,9
	GASSER CERAMIC PAN 32	66,4	6376,0	96,0	10,0	FV TAŠKA	15,1
	TESLA	112,2	5500,0	49,0	16,4	FV TAŠKA	8,9
METSOLAR	X	X	173,0	54,8	KOMBI	X	

Tabulka 6-1: Porovnání výsledků s dostupnými taškami.

Ceny jsou uvedeny bez DPH.

Navrhovaná taška bude schopna konkurovat ostatním FV taškám nejen výkonem, ale hlavně zaujme praktičností instalace. Jednoduché napojení na nefotovoltaickou krytinu a levné pokrytí střechy komplikovaných tvarů, považuji za bezkonkurenční výhodu. Cenové porovnání je irelevantní, jelikož je porovnávána pořizovací cena komponentů prototypu, nikoliv prodejní cena výsledné FV tašky. Dá se však očekávat, že cena nákladů na komponenty FV tašky u sériové výroby bude značně nižší, tudíž vzniká značná rezerva pro náklady na výrobu a marži. Jedinou nepatrnou nevýhodou v porovnání s ostatními modely je vyšší hmotnost způsobena použitím pálené tašky a nevyužití plochy na 100 %.



7. Závěr

Mně osobně přijde myšlenka FV krytiny skvělá, respektive je to jedna část, zahrnutá v celkové integraci fotovoltaiky do budov (BIPV). Ať už se jedná o střechu, fasádu či okna. Věřím, že v budoucnu by tato integrace mohla výrazně přispět v řešení problémů s přetížením energetické sítě, například kvůli dobíjení elektromobilů.

V rámci bakalářské práce byla vytvořena analýza trhu FV tašek a byl vytvořen návrh fotovoltaické tašky. Návrh, který je schopen vyjít z řady ostatních řešení a přinést větší kus smysluplnosti. Pandemie koronaviru zkomplikovala možnost realizace prototypu, ovšem tato bakalářská práce může posloužit jako vhodný podklad pro diplomovou práci, kde se taška může zrealizovat, otestovat a začít s firmou Wienerbeger ladit jednotlivé detaily.

Díky tvoření bakalářské práce jsem měl nejen možnost ponořit se do problematiky FV tašek, ale dostal jsem i nabídku práce ve firmě Solární tašky s.r.o. a možnost další spolupráce s firmou Wienerberger. Takové možnosti jsou pro mě pravou podstatou bakalářské práce a tím správným závěrem, jelikož celou podstatou vysoké školy je podle mého názoru spojit studenty a praxi.



8. Literatura

- [1] *Lindab Solar Roof* [online]. 2021 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.lindabstrechy.cz/lindab-solar-roof>
- [2] *T-Power na dalším pražském veletrhu.* [online]. 2019 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.tvarchitect.com/clanek/t-power-na-dalsim-prazskem-veletrhu-prinesl-zhave-novinky-v-oblasti-solarnich-tasek/>
- [3] *SolteQ Catalog Solarroofs* [online]. 2021 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.solteq.eu/SolteQ-Catalog-Solarroofs.pdf>
- [4] *HANTILE SOLAR ROOF TILES* [online]. 2020 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.hanergy.eu/hantile-solar-roof-tiles/>
- [5] *Solar Roof - The Tesla Team* [online]. 2017 [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/blog/solar-roof>
- [6] *Tesla a patenty #3: Speciál o solárních taškách* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/tesla-a-patenty-3-special-o-solarnich-taskach/>
- [7] *What's the efficiency of a Tesla glass tile solar roof?* [online]. 2020 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: https://pv-magazine-usa.com/2020/02/10/whats-the-efficiency-of-a-tesla-glass-tile-solar-roof/?fbclid=IwAR1fvfycqn4O4qq9k4HHY9BKJd1-WYphblUz_trglxH8EEQuyM9bTz81tel
- [8] *Solar Roof* [online]. 2021 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/blog/solar-roof>
- [9] *Ne všechno se Elonu Muskovi daří. Solární tašky od Tesly sklízí kritiku* [online]. E15.cz [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://www.msn.com/cs-cz/zpravy/v%C4%9Bda-a-technika/ne-v%C5%A1echno-se-elonu-muskovi-da%C5%99%C3%AD-sol%C3%A1rn%C3%AD-ta%C5%A1ky-od-tesly-skl%C3%ADz%C3%AD-kritiku/ar-BB1ghXCC>



- [10] *Interview mit dem privaten Bauherr Peter Rohrer* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://www.sunstyle.com/Privater_Bauherr.html
- [11] *Technical Data* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://www.sunstyle.com/en/Documents.html#technical_data
- [12] *Installation* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://www.sunstyle.com/en/Solar_roof.html#Kopf
- [13] *IN-ROOF MODULES EASYIN* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.solarwatt.com/solar-panels/in-roof>
- [14] *Why choose BiSolar roofing solution for BIPV?* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://metsolar.eu/solar-architecture/bisolar-solar-roof-tiles/>
- [15] *Das neue Panotron Solarmodul FIT 54* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://gasserceramic.ch/sortiment_photovoltaik/fit-54/
- [16] *EIN SOLAR-HYBRID-MODUL MIT EINZIGARTIGER ÄSTHETIK* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.paxos.solar/de/produkte/solardachpfanne/>
- [17] *Solar-eshop.cz* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/>
- [18] Solární tašky: Nevýhoda solárních tašek. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sol%C3%A1rn%C3%AD_ta%C5%A1ky
- [19] *FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY A PANELY* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/slunecni-elektrarny-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/vyklad>
- [20] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-8086167-33-6.
- [21] *MONO VS POLY SOLAR PANELS* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.redarc.com.au/mono-vs-poly>



- [22] *Flexible, organic solar cell modul* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/photovoltaics/perovskite-and-organic-photovoltaics/organic-solar-cells-and-modules.html>
- [23] *GLASS-GLASS MODULES VISION: Long-lasting and durable SOLARWATT quality* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.solarwatt.com/solar-panels/glass-glass>
- [24] *DEK: TONDACH Figaro 11 základní taška černá* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: https://www.dek.cz/pobocka-hradec-kralove/produkty/detail/1230133006-tondach-figaro-11-zakladni-cr?gclid=Cj0KCQjwyN-DBhCDARIsAFOELTmqWfhsuu5G3hBDnMPs_N1Nq_QkPnWV7-moo0luBpHfoNa8whKc5xUaAlJAEALw_wcB&tab_id=parametry
- [25] *Tondach: Figaro 11 - Technický list* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/roof/CZ_TON_TEC-FIGARO-A4-06.pdf
- [26] *Figaro 11 - Glazura Amadeus černá* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/produkty/strecha/tasky-tondach/figaro-11-glazura-amadeus-cerna.html>
- [27] *Aliexpress: MSL Solar Panel EVA Film* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32851366130.html?spm=a2g0s.12269583.0.0.1fa070dfolPIjs>
- [28] *Mono 9BB Solar Cell 210 Bifacial* [online]. 2021 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <http://www.tw-solar.com/en/Products/PVCells/42.html>
- [29] *5W - 20W Solar Junction Box waterproof IP67* [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32796635097.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.21514c4dZxOoCB>



- [30] *10 pcs of 12A 45V ULTIMATE Diodes for Solar Cells Panel SBR12A45SD1* [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/10-pcs-of-12A-45V-ULTIMATE-Diodes-for-Solar-Cells-Panel-SBR12A45SD1-/220758972119>
- [31] *10 Sets Of Compatible MC4 Solar Photovoltaic Connector Branch Connection 30A* [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/1005002496541551.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.29b118b6GjwkSN&algo_pvid=de87cd6c-eae9-49af-9170-8d92a30fba5c&algo_expid=de87cd6c-eae9-49af-9170-8d92a30fba5c-10&btsid=2100bdca16202185214298594e432a&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_
- [32] *5M 4.0mm² 12AWG Solar Cable Black or Red* [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32782370835.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.cb6b5d58TtEV2k&algo_pvid=fee4ad4b-0876-4e32-b5cf-310659024159&algo_expid=fee4ad4b-0876-4e32-b5cf-310659024159-47&btsid=2100bdde16202183829181689eb5b6&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_
- [33] *ExpertChem Silikon sanitární transparentní 290ml* [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.bauchem.cz/stavebni-chemie/tmely-lepidla-silikony/silikony/silikon-sanitarni-transparentni.html>
- [34] *SOLAR PANEL TEMPERED ULTRA EXTRA CLEAR WHITE LOW IRON FLOAT GLASS PRICE* [online]. [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/Solar-Panel-Tempered-Glass-SOLAR-PANEL_60783877466.html?spm=a2700.7724857.topad_classic.d_image.4ac37a67a8PJwL
- [35] *Most Powerful Solar Panels 2021* [online]. Jason Svarc, 2021 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-powerful-solar-panels>
- [36] *Tailor cut of solar cells* [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://en.sunware.solar/oem/lasercut>



Dominik Sochulák

- [37] *Short-Circuit Current* [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/short-circuit-current>
- [38] *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů* [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40646.pdf>
- [39] *Module Materials* [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/modules-and-arrays/module-materials>