

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Inovace konstrukce fotovoltaické elektrárny

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Autor práce: Bc. Lukáš Jelínek

PRAHA 2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lukáš Jelínek

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Inovace konstrukce fotovoltaické elektrárny

Název anglicky

Innovation of the photovoltaic power plant construction

Cíle práce

- Návrh a realizace inovované konstrukce fotovoltaické elektrárny.
- Testování inovované konstrukce a posouzení parametrů.
- Ekonomické zhodnocení navržené konstrukce.
- Formulace vlastních závěrů ohledně výhod a nevýhod nové konstrukce.

Metodika

Vytvoření rešerše současných konstrukcí fotovoltaických elektráren.

Návrh a realizace inovované konstrukce fotovoltaické elektrárny, testování inovované konstrukce a posouzení parametrů. Ekonomické zhodnocení navržené konstrukce a formulace vlastních závěrů ohledně výhod a nevýhod nové konstrukce.

Doporučený rozsah práce

45 stran

Klíčová slova

PV elektrárna, fotovoltaika, solární energie

Doporučené zdroje informací

Hallyday, D. a kol., Fyzika, VUTIUM, Brno, 2003

Libra, M., Poulek, V., Fotovoltaika, ILSA, Praha, 2010

LIBRA, M. – POULEK, V. Zdroje a využití energie. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1647-8.

M. Koehl, a kol., Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 95, (2011), 1638–1646 .

Poulek, V. a kol., Influence of increased temperature on energy production of roof integrated PV panels, Energy & Buildings, 166, (2018) 418–425

Poulek, V., Khudysh, A., Libra, M., Innovative low concentration PV systems with bifacial solar panels. Solar Energy, 120, 2015, pp. 113–116.

Poulek, V., Libra, M., Khudysh, A., Nový sledovač Slunce se zvýšenou přesností pro automatické, pohyblivé, fotovoltaické systémy. Jemná mechanika a optika, 2016, 61, 10, str. 262-264.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra fyziky

Konzultant

Ing. Václav Beránek, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 18. 12. 2018

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 09. 11. 2019

Česné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Inovace konstrukce fotovoltaické elektrárny“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Martina Libry CSc. a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu literatury.

V Praze dne 09.04.2020

.....

Lukáš Jelínek

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat panu prof. Ing. Martinovi Librovi, CSc. za cenné rady a připomínky během zpracování této diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině za trpělivost a podporu během mých studií na České zemědělské univerzitě v Praze. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Peterovi Bahelkovi za poskytnuté zázemí a rady během inovace konstrukce.

Abstrakt: Cílem diplomové práce je návrh a realizace inovované konstrukce fotovoltaické elektrárny. V této souvislosti práce shromažďuje poznatky o problematice fotovoltaických elektráren, principu jejich fungování a používaných typech konstrukčních řešení. Dílčími cíli diplomové práce je testování a posouzení parametrů inovované konstrukce a ekonomické zhodnocení navržené konstrukce, včetně formulace závěrů ohledně výhod a nevýhod nové konstrukce. V literární části je popsána problematika týkající se fotovoltaiky, Slunce a slunečního záření, včetně oslunění na nakloněných plochách. Dále jsou popsány fotovoltaické články včetně jejich druhů, výroby a principu fungování. Na to navazuje popis fotovoltaických modulů, rozdělení jednotlivých fotovoltaických systémů a konstrukcí pro jednotlivé systémy. V praktické části je popsána inovace konstrukce pro pozemní fotovoltaické elektrárny včetně ekonomického zhodnocení provedení inovace a porovnání výhod a nevýhod původní a inovované konstrukce.

Klíčová slova: FV elektrárna, fotovoltaika, solární energie

Innovation of the photovoltaic power plant construction

Abstract: The aim of the thesis is to design and realize an innovated construction of a photovoltaic power plant. In this context, the thesis gathers knowledge about the problems of photovoltaic power plants, the principle of their functioning and the types of construction solutions used. Partial goals of the thesis are testing and assessment of parameters of the innovated structure and economic evaluation of the proposed structure, including formulation of conclusions about the advantages and disadvantages of the new structure. In the literary part is described problems concerning photovoltaics, sun and solar radiation, including insolation on inclined surfaces. Photovoltaic cells are described, including their types, production and principle of operation. This is followed by a description of photovoltaic modules, division of individual photovoltaic systems and structures for individual systems. The practical part describes the design innovation for ground photovoltaic power plants, including an economic evaluation of the implementation of the innovation and a comparison of the advantages and disadvantages of the original and innovated design.

Key words: PV power plant, photovoltaic, solar energy

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce a metodika	2
2.1	Cíl práce.....	2
2.2	Metodika.....	2
3	Stav problematiky	4
3.1	Fotovoltaika	4
3.2	Slunce zdrojem energie.....	5
3.2.1	Přímé a difuzní záření.....	7
3.3	Oslunění na nakloněných plochách	8
3.4	Fotovoltaické články.....	9
3.4.1	Základní materiál pro výrobu fotovoltaických článků	9
3.4.2	Konstrukce a princip fungování krystalického křemíkového FV článku	10
3.4.3	Druhy fotovoltaických článků a jejich výroba	11
3.5	Fotovoltaické moduly	13
3.6	Rozdělení fotovoltaických systémů.....	16
3.6.1	Ostrovní systémy	16
3.6.2	Systémy připojené k rozvodné síti	17
3.7	Konstrukce solárních fotovoltaických systémů	19
3.7.1	Montážní konstrukce pro šikmé střechy	19
3.7.2	Montážní systémy pro ploché střechy	22
3.7.3	Montážní systémy pro pozemní fotovoltaické elektrárny	24
3.7.4	Stojanové systémy	26
3.7.5	Naváděcí systémy	27
3.8	Statika a zatížení konstrukce	28
4	Vlastní výsledky	30
4.1	Popis původní konstrukce.....	32
4.1.1	Výhody a nevýhody původní konstrukce	36
4.2	Inovace konstrukce	37
4.3	Porovnání nákladů na materiál a časové náročnosti montáže původní a inovované konstrukce.....	47
4.3.1	Časová náročnost výstavby	53
4.4	Ekonomické zhodnocení.....	55
4.4.1	Náklady na provedení inovace	55
5	Diskuse výsledků	58
6	Závěr.....	60
7	Seznam literatury	62

8	Seznam obrázků a grafů.....	65
9	Seznam tabulek.....	66
10	Seznam příloh.....	67

Seznam použitých zkratek

FV	Fotovoltaický
W	Watt
Wp	Watt-peak
Wh	Wattodina
J	Joule
EVA	Etylen-vinyl-acetát
PVB	Polyvinylbutyral
PTFE	Polytetrafluorethylen
UV	Ultraviolet (ultrafialové)

1 Úvod

V současné době neustále roste spotřeba elektrické energie. Rostoucí spotřeba je způsobena jednak zvyšujícím se počtem elektrických spotřebičů v domácnostech, ale především expanzí průmyslu, který pro výrobu potřebuje neustále se zvětšující objemy elektrické energie. Dalším významným faktorem ovlivňující růst spotřeby elektrické energie je výrazný tlak na růst elektromobility. Pokrytí zvyšující se poptávky po energii je potřeba nějakým způsobem zajistit. Stále ještě rozšířeným způsobem výroby elektrické energie jsou elektrárny využívající k výrobě fosilní paliva, anebo jaderné elektrárny. Tyto elektrárny mají řadu nevýhod. Elektrárny zpracovávající pro výrobu elektrické energie fosilní paliva do jisté míry zatěžují a poškozují životní prostředí vypouštěnými emisemi. Přírodní zdroje fosilních paliv také nejsou nevyčerpatelné. Jaderné elektrárny představují nebezpečí úniku radiace v případě poruchy a také problém s ukládáním jaderného odpadu. Současný výkon těchto elektráren již nestačí pokrývat stále rostoucí spotřebu elektrické energie.

V souvislosti s těmito skutečnostmi nabývá v posledních letech na významu výroba elektrické energie s využitím alternativních zdrojů. Jedním z takových zdrojů je právě výroba elektrické energie ve fotovoltaických elektrárnách. Tyto elektrárny využívají k výrobě elektrické energie sluneční záření, které je považováno za obnovitelný, tedy nevyčerpatelný zdroj energie. Tento zdroj je dostupný v podstatě po celé planetě. Další předností fotovoltaických elektráren je fakt, že při výrobě elektřiny neprodukují žádné emise, a tudíž přímo nepoškozují životní prostředí. I přes tyto přednosti mají i své nevýhody. Hlavní nevýhodou fotovoltaických elektráren je jejich závislost na intenzitě slunečního záření, které se mění jak během dne vlivem atmosférických jevů, tak střídáním dne a noci, protože v noci tyto elektrárny nejsou schopny produkovat elektrickou energii.

Fotovoltaické elektrárny lze rozdělit na elektrárny instalované na budovách, především jejich střeších a na pozemní elektrárny. Teoretická část diplomové práce obsahuje seznámení s problematikou fotovoltaiky a s principem fungování fotovoltaických článků, které slouží k přeměně sluneční energie na elektrickou. Stěžejní pozornost je věnována konstrukcím fotovoltaických elektráren. Praktická část zpracovává proces návrhu inovace konstrukce pro pozemní fotovoltaické elektrárny a ekonomické zhodnocení provedené inovace včetně posouzení výhod a nevýhod nové konstrukce.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je návrh a realizace inovované konstrukce fotovoltaické elektrárny. V této souvislosti práce shromažďuje poznatky o problematice fotovoltaických elektráren, principu jejich fungování a používaných typech konstrukčních řešení. Dílčími cíli diplomové práce je testování a posouzení parametrů inovované konstrukce a ekonomické zhodnocení navržené konstrukce, včetně formulace závěrů ohledně výhod a nevýhod nové konstrukce.

2.2 Metodika

Prvním krokem pro zpracování diplomové práce bylo prostudovat odbornou literaturu, vědecké články a časopisy, které jsou uvedeny v seznamu literatury. Nabyté poznatky a informace získané studiem uvedených zdrojů vedly ke zpracování stavu problematiky na dané téma. Teoretická část diplomové práce rozebírá nejprve obecně obor fotovoltaiky od jeho vzniku až po současnost, se zahrnutím predikce vývoje tohoto oboru do budoucna. Na tuto část navazuje popis Slunce a slunečního záření, které je nezbytné pro fungování fotovoltaických systémů. Je zde objasněn jeho původ a cesta, jakou se dostává sluneční záření na zemský povrch skrze zemskou atmosféru. Vysvětlení změn hodnoty slunečního záření dopadajícího na zemský povrch v závislosti na místě dopadu a ročním období a také závislost sklonu plochy fotovoltaického modulu, který je důležitý pro efektivní fungování fotovoltaické elektrárny. Dále je v teoretické části vysvětlen princip fotovoltaického článku, získávání a použití materiálu potřebného k jeho výrobě a jsou popsány základní druhy fotovoltaických článků včetně jejich vlastností. V souvislosti s fotovoltaickými články jsou popsány fotovoltaické moduly, které jsou tvořeny jednotlivými články. Významná pozornost je věnována rozdělení fotovoltaických systémů, a popis principu řešení jednotlivých konstrukcí pro fotovoltaické systémy od střešních systémů instalovaných na šikmých střeších přes systémy pro ploché střechy až po pozemní fotovoltaické systémy. V závěru literární části práce je stručně popsána statika a zatížení působící na fotovoltaické konstrukce.

Praktická část diplomové práce charakterizuje výchozí situaci objasňující požadavky na inovaci konstrukce fotovoltaické elektrárny. Následně je popsáno technické řešení původní konstrukce včetně jeho výhod a nevýhod. Navazující část popisuje samotný proces inovace konstrukce, který probíhal na základě statických propočtů řešení nových nosných konstrukcí a konzultací s dodavateli dílů potřebných pro konstrukci. V procesu inovace je také zahrnuto pevnostní

testování nově vyvinutého konstrukčního dílu „záslepky“ určené k zajištění fotovoltaických modulů v hliníkových profilech. Porovnáním materiálové skladby původní a inovované konstrukce spolu s hodnocením časové náročnosti výstavby původní a nové konstrukce bylo ověřováno dosažení výchozích požadavků inovace. Nová skladba použitých materiálů a prvků inovované konstrukce odráží ekonomické zhodnocení a jeho dopad na celkové náklady na výrobu, montáž a výstavbu inovovaného systému. Závěrečné vyhodnocení nákladů vynaložených na inovaci je podkladem pro provedení výpočtu bodu zvratu ukazující potřebný objem prodeje inovované konstrukce, aby došlo k navrácení nákladů spojených s inovací. Výsledky procesu inovace, vývoje, měření a ověřování včetně porovnání výhod a nevýhod původní a inovované konstrukce jsou zformulovány v závěru praktické části.

3 Stav problematiky

3.1 Fotovoltaika

Fotovoltaiku lze definovat jako způsob přeměny sluneční energie na energii elektrickou za pomoci fotovoltaických (FV) článků. Fotovoltaika má za sebou již relativně dlouho historii, která se začala psát již v roce 1839, kdy francouzský fyzik Alexandre Edmond Becquerel pozoroval fotoelektrický jev. Tento jev spočívá v tom, že dochází ke změnám proudu mezi kovovými elektrodami ponořenými v roztoku v závislosti na intenzitě osvětlení. Následně v roce 1876 William Grylls Adams a Richard Evans Day pozorovali fotovoltaický jev na PN přechodu (bude vysvětleno dále) vytvořeném mezi platinou a selenem. [1]

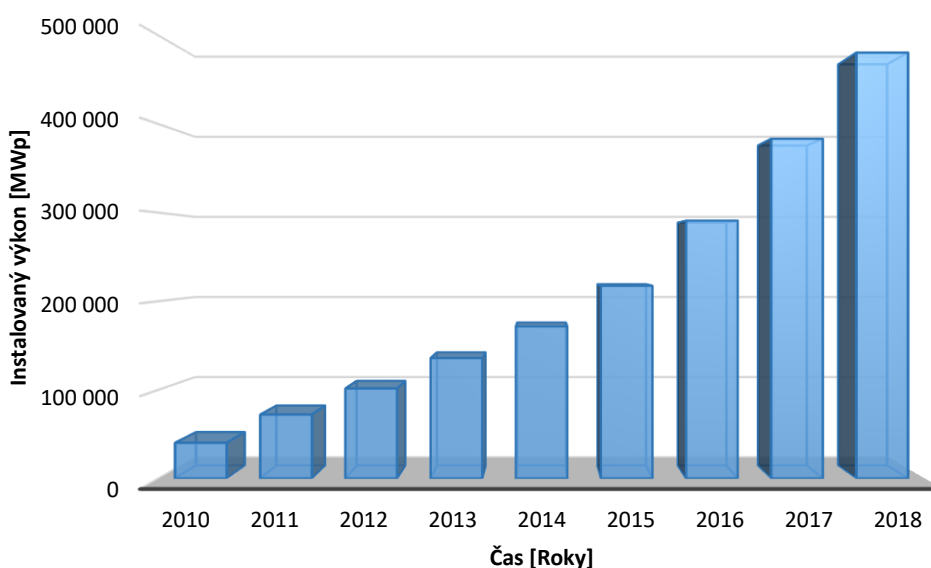
Přestože byl fotovoltaický jev znám již od roku 1876, byl první funkční křemíkový fotovoltaický článek vyroben až v roce 1954 v laboratořích Alexandera Grahama Bella. Tento článek měl však malou účinnost (přibližně 6 %) a náklady na jeho výrobu byly značně vysoké. Jediná oblast, ve které se tyto články i přes svou vysokou cenu začaly využívat ve větším množství byla vesmírná technika, kde sloužily jako zdroj energie pro satelity na oběžné dráze Země. Pro pozemní využití byly fotovoltaické články příliš drahé. Vědci však dále pracovali na jejich vývoji a docházelo k jejich zdokonalování. Postupem času našly uplatnění v oblasti zásobování energií bez připojení na veřejnou síť. Počáteční využití našly v kalkulačkách a následně ve větších zařízeních jakými jsou například parkovací automaty. Zásadní zlom přišel v 70. letech dvacátého století s příchodem ropné krize. Lidé si uvědomili, že je třeba se začít věnovat obnovitelným zdrojům. Nastartoval se tak intenzivní výzkum a vývoj v oblasti fotovoltaiky, v jehož důsledku došlo ke zvyšování účinnosti a poklesu cen fotovoltaických článků. Vznikaly tak první výrobní závody na výrobu křemíkových fotovoltaických článků. Na začátku osmdesátých let, tedy v počátcích fotovoltaického odvětví dosahovala celosvětová produkce fotovoltaických článků méně než 20 MWp/rok. V roce 2018 produkce fotovoltaických článků překonala hranici 113 GWp/rok, což je více než 5,5 tisíci násobný růst s předpokladem zvyšování do budoucna. [1], [2], [3]

S rostoucí produkcí fotovoltaických článků roste celkový instalovaný výkon fotovoltaických elektráren. Ten v roce 2010 celosvětově dosahoval 40 tisíc MWp a v roce 2018 to bylo už více než 480 GWp viz graf 1, což představuje druhý největší obnovitelný zdroj energie hned po větrné energii. V roce 2018 vzrostl celkový instalovaný výkon fotovoltaických elektráren přibližně o 94 GWp. Ve srovnání s růstem větrné energie je to více než dvojnásobek.

Solární energie bude nepochybně hrát i nadále zásadní roli v oblasti výroby energie z obnovitelných zdrojů. Vzhledem k dostatečné dostupnosti zdrojů pro výrobu solárních fotovoltaických panelů, jejich klesající ceně a díky tomu dostatečné tržní konkurenceschopnosti se předpokládá, že celosvětově instalovaný výkon fotovoltaických elektráren by do roku 2030 mohl dosáhnout více než 2 800 GWp a do roku 2050 se přiblížit až k 8 500 GWp. [4], [5]

Zdroj: [5] (vlastní zpracování)

Graf 1: Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren



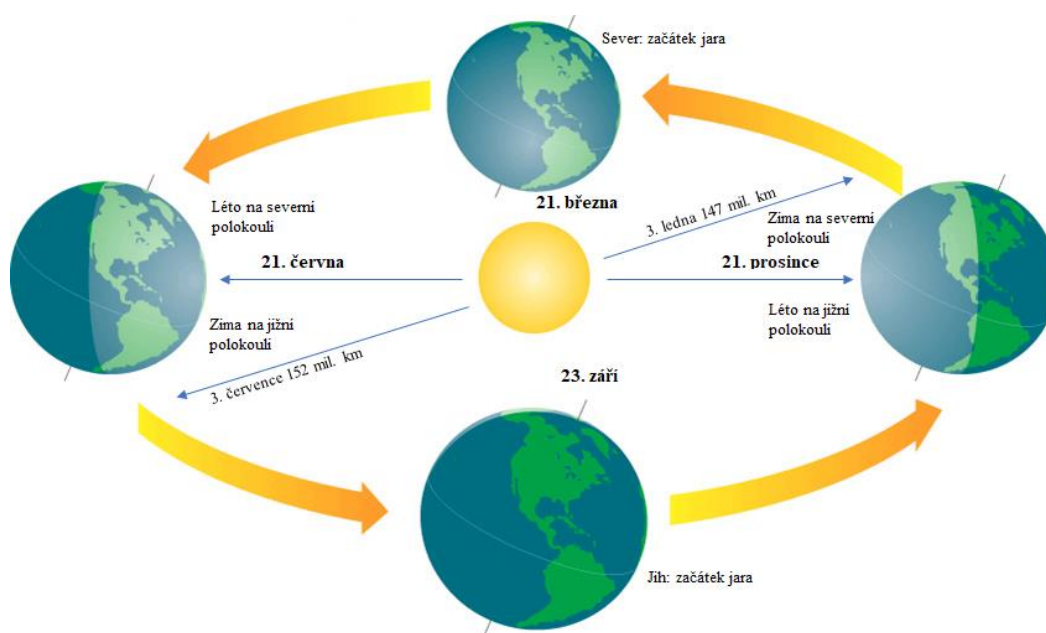
3.2 Slunce zdrojem energie

Jak již bylo uvedeno, fotovoltaické články pro své fungování a tím výrobu elektrické energie potřebují energii světelnou. Tato energie na naší zemi dopadá ze Slunce. V jádru Slunce je energie uvolňována především termonukleární syntézou jader vodíku na jádra hélia a trvá až tisíce let, než se energie dostane na povrch a odtud je vyzářena v podobě elektromagnetického záření. Toto záření se k zemskému povrchu dostane při vzdálenosti Země od Slunce 149 milionů kilometrů přibližně za 8 minut. Výkon vyzařovaný Sluncem je relativně stabilní, kolísá pouze v závislosti na momentální sluneční aktivitě v jedenácti letých cyklech. Výkon přenášený slunečním zářením na zemský povrch je okolo $1,79 \times 10^{17}$ W. Za jeden den tak na povrch země dopadne sluneční záření o energii $1,55 \times 10^{22}$ J. [1], [6]

Rozložení slunečního záření

Intenzita slunečního záření dopadající na zemský povrch závisí na vzdálenosti mezi Zemí a Sluncem. Tato vzdálenost se během roku mění a pohybuje se od 147 do 152 milionů kilometrů viz obrázek 1. [1]

Obrázek 1: Pohyb Země kolem Slunce



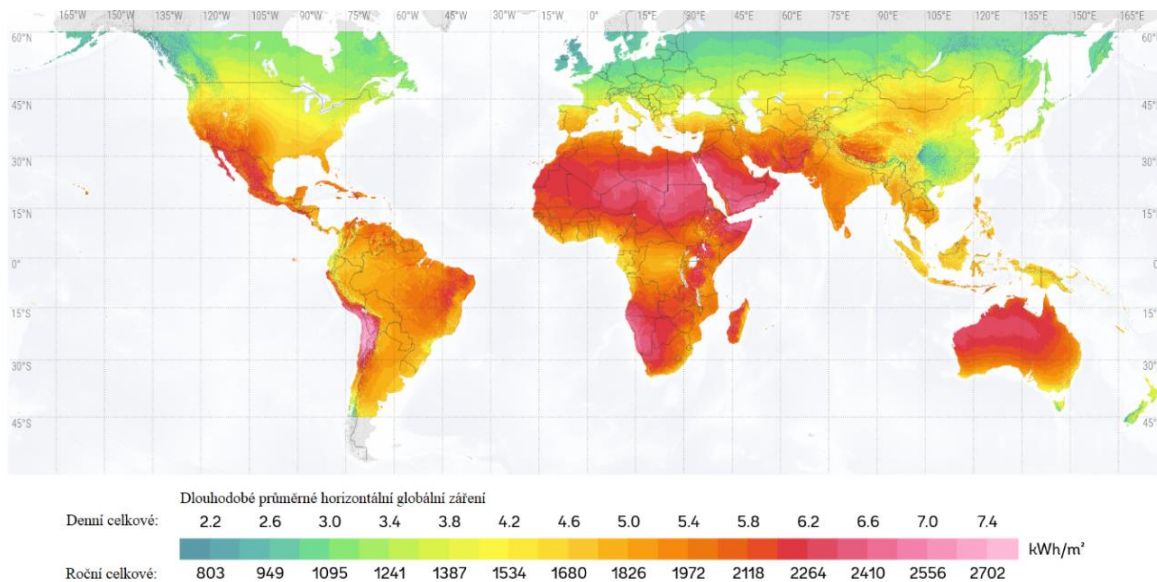
Zdroj: [1] (vlastní zpracování)

Tím však kolísá intenzita osvitů E_0 během roku od $1\,325\text{ W/m}^2$ do $1\,420\text{ W/m}^2$. Průměrná intenzita záření na jednotku plochy země je pak označována jako solární konstanta $E_0 = 1\,367\text{ W/m}^2$. Záření o této intenzitě se však na zemský povrch nedostane. Zemská atmosféra snižuje množství dopadající energie, část se odrazí a část absorbuje (ozónem, vodními parami, kyslíkem) a část rozptýlí (molekulami vzduchu, částicemi prachu). Tím se na Zemi ustálila tepelná rovnováha. Na povrch Země tedy dopadá méně energie, v závislosti na zeměpisné šířce, meteorologických podmínkách, denní, respektive roční době. K nejvyššímu ozáření zemského povrchu dochází ve slunných, mírně zamračených dnech díky odrazu slunečního záření od mraků a nižší teploty fotovoltaických panelů kdy s rostoucí teplotou jejich účinnost klesá. Pokud sečteme výkon oslunění za celý rok, získáme tak roční globální záření v kWh/m^2 (energie). Dopadající sluneční energie se výrazně liší podle regionů viz obrázek 2.

Tuto dopadající energii v podobě elektromagnetického záření lze pomocí fotovoltaických článků přeměnit na energii elektrickou, kterou lze dále využít. Některé regiony v oblasti rovníku dosahují hodnot přes 2500 kWh/m^2 ročně, zatímco na jihu Evropy dosahuje

roční záření maximálně k 1800 kWh/m². V České republice se maximální hodnoty ročního záření pohybují okolo 1170 kWh/m². [1], [7],[8]

Obrázek 2: Dopadající sluneční energie podle regionů

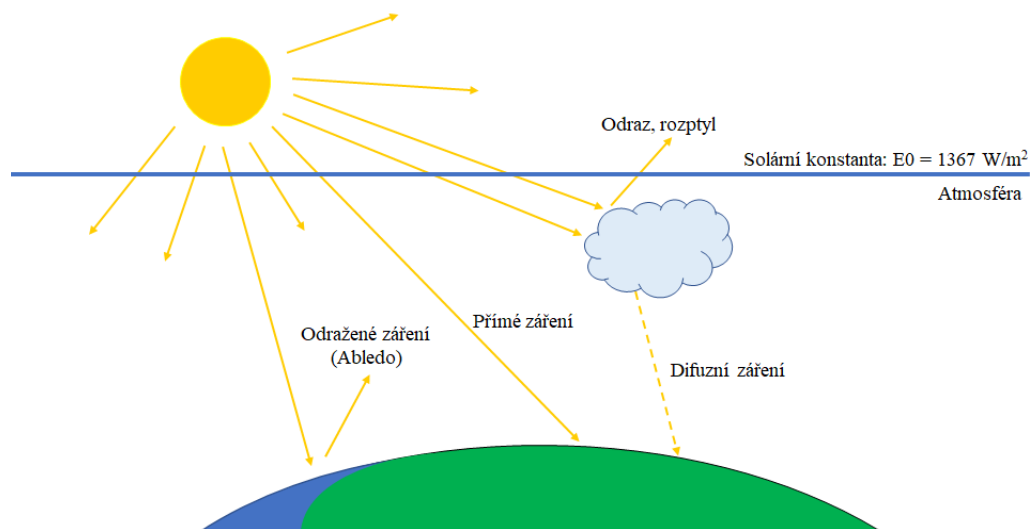


Zdroj: [7] (vlastní zpracování)

3.2.1 Přímé a difuzní záření

Sluneční záření, které dopadá na zemský povrch se skládá z přímého a difuzního záření. Přímé záření přichází přímo ze Slunce bez změny svého směru. Difuzní záření vzniká rozptylem světla například při průchodu mraky nebo odrazem od částic obsažených v atmosféře viz obrázek 3.

Obrázek 3: Složení Slunečního záření



Zdroj: [1] (vlastní zpracování)

Podle stavu oblačnosti a výšky Slunce během dne se může výrazně měnit jak výkon záření, tak i podíl přímého a difuzního záření. Za jasných dní převažuje podíl přímého na celkovém záření. Maximální hodnoty difuzního záření se vyskytují při pokrytí nebe tenkými mraky. V zimě je výskyt takovýchto mraků vyšší než v létě, proto tedy v zimě převažuje difuzní záření nad přímým. Souhrn přímého a difuzního záření se označuje jako globální záření. [1], [9],[8]

3.3 Oslunění na nakloněných plochách

Pro určení hodnot záření a z toho plynoucích výnosů solárních fotovoltaických systémů je třeba znát pohyb Slunce po obloze. Polohu Slunce lze popsat na libovolném místě za pomoci výšky slunce a azimutu. V oblasti solární techniky se jih označuje $\alpha = 0^\circ$. Východním směrem jsou úhly označovány záporným znaménkem (východ $\alpha = -90^\circ$) a západním směrem bez znaménka (respektive kladným znaménkem $\alpha = 90^\circ$). Intenzita slunečního záření mimo jiné závisí na úhlu výšky Slunce. Tento úhel se pohybem Slunce během dne a během roku mění. Při kolmé poloze Slunce k zemskému povrchu má sluneční světlo skrz atmosféru nejkratší cestu. Je-li Slunce nízko nad obzorem má sluneční světlo skrz atmosféru delší cestu. To má za následek větší absorpci a rozptyl slunečního záření a tím pádem menší intenzitu dopadajícího záření na zemský povrch. [1]

Při navrhování solárních fotovoltaických systémů je vždy snaha o to, aby sluneční záření dopadalo po co nejdelší dobu dne na fotovoltaické články ideálně v kolmém směru. Sluneční záření dopadající na plochu orientovanou kolmo vůči směru dopadu slunečního záření je vždy vyšší než na vodorovnou plochu o stejné velikosti. Vzhledem k tomu, že se azimut a úhel výšky slunce během dne a také během roku mění je potřeba při návrhu řešení solární fotovoltaické elektrárny ať už na střechách domů či na volných plochách s tímto faktem počítat. Pro odhad sklonu fotovoltaických panelů s ohledem na solární využití lze použít graf s dlouhodobým průměrným osluněním v závislosti na sklonu a orientaci solárního systému. Například na jihu České republiky je optimální úhel sklonu solárních fotovoltaických panelů přibližně 35° . [1], [6], [10]

3.4 Fotovoltaické články

Fotovoltaické články slouží k přeměně sluneční energie na energii elektrickou. K jejich výrobě se používají polovodičové materiály, přičemž nejčastěji je používán křemík, který má mnoho výhod. Mezi tyto výhody patří, jeho velmi hojné zastoupení v zemské kůře, patří k nejrozšířenějším prvkům. Proto je relativně levný a snadno dostupný, není jedovatý a je asi nejlépe prozkoumaným polovodičem. [1], [11]

3.4.1 Základní materiál pro výrobu fotovoltaických článků

Pro výrobu fotovoltaických článků je potřeba velice čistý křemík s vysokou krystalickou kvalitou. Každý atom křemíku ve svém vnějším elektronovém obalu obsahuje celkem 14 elektronů, z toho čtyři vazební elektrony. Pro vytvoření stabilní konfigurace elektronů tvoří vždy v krystalové mřížce dva elektrony sousedních atomů takzvané elektronové páry. Díky vytváření elektronových párů se čtyřmi sousedy získá křemík stabilní konfiguraci vzácného plynu s osmi vnějšími elektrony. Tvorbu elektronů lze přerušit pomocí světla či tepla. Elektron se může volně pohybovat, a zanechávat tak v krystalové mřížce křemíku díru. Tento jev je označován jako vlastní vodivost. [1], [6]

Tato vlastní vodivost se pro samotnou výrobu elektrické energie použít nedá. Je tedy potřeba, aby mohl křemíkový materiál fungovat jako zdroj elektrické energie zabudovat do krystalové mřížky nečistoty, takzvané dotované atomy. Jsou to atomy, které mají ve svém vnějším elektronovém obalu pět elektronů (fosfor) nebo tři elektrony (bór). Dotované atomy následně vytváří v krystalové mřížce příměsi. [1], [10]

Při dotování křemíku fosforem, vznikne polovodič typu N a je k dispozici pro každý zabudovaný atom fosforu jeden přebytečný elektron. Tento elektron se může v krystalové mřížce volně pohybovat a tím pádem přenášet elektrický náboj. Při dotování pomocí bóru, vznikne polovodič typu P a je pro každý zabudovaný atom bóru k dispozici jedna díra (chybějící jeden vazební elektron). Elektrony sousedních atomů křemíku mohou tuto díru zaplnit, přičemž na jiném místě vznikne nová díra. Volné náboje ale nemají žádný určený směr svého pohybu, pokud uvažujeme samotný dotovaný materiál typu N či P. [1], [10]

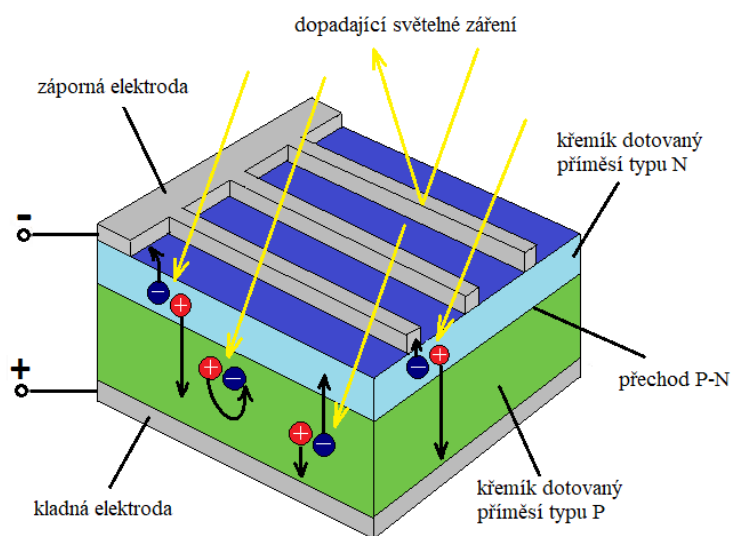
Jestliže dojde ke spojení polovodiče typu P a typu N, vznikne tak přechod PN, který vede k tomu, že na tomto přechodu přebytečné elektrony z polovodičové vrstvy typu N difundují do polovodičové vrstvy P. Vzniká tak oblast s malým množstvím volných nosičů náboje, která se nazývá oblast prostorového náboje. V oblasti N přechodu setrvávají kladně

nabité a v oblasti P záporně nabitě dotované atomy. Pokud polovodič typu PN tedy fotovoltaický článek vystavíme světlu, elektrony absorbují fotony. Tímto přísunem energie dojde k rozbití elektronových vazeb a uvolněné elektrony jsou elektrickým polem přitahovány do oblasti N. Vzniklé díry pak putují opačným směrem do oblasti P. Celý tento proces se nazývá fotovoltaický jev. Difúze nosičů náboje až do elektrických kontaktů způsobí, že je na fotovoltaickém článku přítomné napětí. V nezátíženém případě se na fotovoltaickém článku vyskytuje napětí naprázdno, pokud je elektrický obvod uzavřen, teče jím elektrický proud. [1], [10]

3.4.2 Konstrukce a princip fungování krystalického křemíkového FV článku

Klasický krystalický křemíkový fotovoltaický článek je složen ze dvou různě dotovaných křemíkových vrstev. Vrstva otočená ke slunečnímu světlu je zpravidla dotována záporně fosforem a vrstva pod ní je dotována kladně bórem. Existují však i články s opačným uspořádáním. Na přední straně článku bývá nanášena antireflexní vrstva kvůli minimalizaci odrazu světla. Křemík může odrážet až 35 % záření. Na přechodové vrstvě dochází ke vzniku elektrického pole, které vede k oddělení nábojů (elektronů a děr) uvolněných slunečním světlem. Aby mohl FV článek odebírat proud je potřeba, aby na jeho přední a zadní straně byly kovové kontakty. Na zadní stranu lze nanést celoplošné kontaktní vrstvy, zatímco na přední se tvoří kontakty ve tvaru tenkých mřížek, aby byla zaručena co největší světelná propustnost viz obrázek 4. [1], [6], [12]

Obrázek 4: Konstrukce a způsob fungování FV článku



Zdroj: [13] (vlastní zpracování)

Jak již bylo popsáno, při osvětlení FV článku dochází k separaci nosičů nábojů a při zapojení do obvodu se FV články stávají zdrojem elektrické energie. Veškerá světelná energie však není přeměněna na energii elektrickou. Na fotovoltaickém článku dochází ke ztrátám způsobeným různými faktory, mezi které se řadí:

- zastínění a odraz od kontaktů,
- příliš malá fotonová energie dlouhovlnného záření,
- příliš velká energie krátkovlnného záření,
- rekombinace – zánik párů (elektron se setká s dírou a dojde ke ztrátě energie),
- odpor (tepelné proudové ztráty).

Účinnost křemíkových fotovoltaických článků se v průměru pohybuje okolo 20 %. Existují FV články s vyšší účinností okolo 30 %, avšak jejich výroba je velice nákladná a z tohoto důvodu se používají především v oblasti vesmírné techniky, kde cena nahraje až tak zásadní roli. [1], [6]

3.4.3 Druhy fotovoltaických článků a jejich výroba

Pro výrobu je nejdůležitějším materiálem křemík. Tento materiál je na Zemi hned po kyslíku druhým nejčastějším prvkem. Nenachází se však v čisté formě, ale pouze jako chemická sloučenina s kyslíkem ve formě křemene nebo písku. Aby bylo možné články vyrobit, je potřeba odloučit nežádoucí kyslík z oxidu křemičitého. K tomu dochází pomocí ohřevu v obloukových pecích při teplotách okolo 2 000 °C, kdy vznikne takzvaný metalurgický křemík o čistotě cca 99 % s obsahem 1 % nečistot. Takto vzniklý křemík pro použití ve fotovoltaice a polovodičovém průmyslu obsahuje stále příliš mnoho nečistot a proto je třeba ho dále čistit pomocí chemických procesů. Přípustná hodnota nečistot pro použití ve fotovoltaice je v řádech miliardtin procent a pro polovodičový průmysl je to ještě desetkrát méně. V této kapitole jsou detailněji popsány pouze krystalické křemíkové články, které mají na trhu největší zastoupení. [1], [11]

Fotovoltaické články lze rozdělit do tří základních skupin:

- **Krystalické křemíkové články**
- **Tenkvrstvé články**
- **Nanostrukturované články**

Krystalické křemíkové články

Krystalické křemíkové články jsou jako plátky o přibližné tloušťce 200 mikrometrů vzájemně spájeny do fotovoltaického modulu. Tyto články lze dělit dále na monokrystalické a polykrystalické křemíkové články. [1]

Monokrystalické křemíkové články

Pro výrobu monokrystalických článků se používá takzvaná Czochralského metoda. Tato metoda spočívá v tom, že se výchozí materiál (polykřemík) roztaví při teplotě cca 1 420 °C a do taveniny se vloží zárodečný krystal. Následně se krystal za pomalého otáčení vytahuje, přičemž vzniká válcovitý monokrystal nejčastěji o průměru až 30 cm a délce několik metrů. Takto vytvořené monokrystalové plátky se poté ořezávají do tvaru čtverce či pseudočtverce (viz obrázek 5) a řezou se na velmi tenké plátky o tloušťce přibližně 0,25–0,30 mm a následně se čistí v leptacích a oplachovacích lázních. Výchozí monokrystal je již dotován příměsí typu P – bórem, proto se po očištění horní strana plátku předotuje v difúzní peci příměsí typu N – fosforem a vznikne tak PN přechod. Následně je nanесena antireflexní vrstva a pomocí sítotisku natištěny na obě strany elektrické kontakty pro odběr proudu. Účinnost těchto článků je v rozmezí 15–19,3 %. Jejich účinnost je vyšší než u polykrystalických článků, avšak jejich výroba je finančně náročnější. [1], [6], [10]

Obrázek 5: Monokrystalický křemíkový článek (pseudočtvercový tvar)

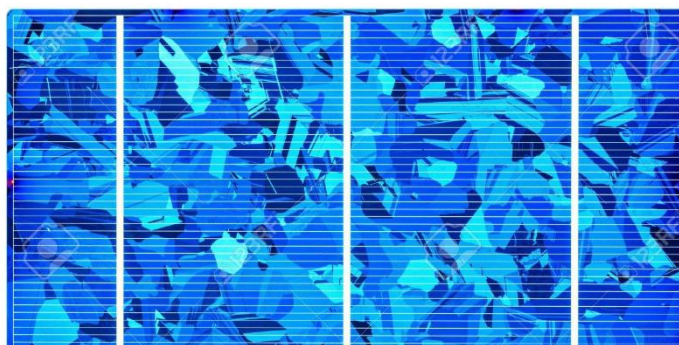


Zdroj: [14]

Polykrystalické křemíkové články

Výchozí materiál polykřemík se roztaví a dotuje bórem, poté je odlit do kvádřové formy. Je to podstatně jednodušší metoda než tažení monokrystalu. Kontrolovaným zahříváním a ochlazováním zchladne daný blok rovnoměrně. Při tomto řízeném tuhnutí dojde k vytvoření mnoha velkých a homogenních křemíkových krystalů o velikosti zrna několik milimetrů až centimetrů, které jsou pak na článcích viditelné (viz obrázek 6). Meze zrna představují krystalové defekty, čímž je zvýšeno riziko rekombinace a mají tak negativní vliv na účinnost článků, která je o něco nižší než u monokrystalických článků, na druhou stranu je jejich výroba levnější než u monokrystalických článků. Postup řezání, dotace a nanášení antireflexní vrstvy a kontaktů je obdobný, jako u monokrystalických článků. Od monokrystalických článků je lze rozeznat už na první pohled díky viditelné struktuře zrn a namodralé barvě. Účinnost polykrystalických článků se pohybuje okolo 14–16 %. [1], [10]

Obrázek 6: Polykrystalický křemíkový článek



Zdroj: [15]

3.5 Fotovoltaické moduly

Aby bylo možné vyrábět elektřinu v dostatečném množství, je potřeba jednotlivé fotovoltaické články pospojovat do větších modulů. Při výrobě fotovoltaických modulů se jednotlivé články skládají v sérioparalelní kombinaci, kdy se připájejí kontakty na přední straně jednoho článku ke kontaktům na zadní straně dalšího článku tak, aby při osvětlení dodávaly potřebné stejnosměrné napětí. Spojením záporného pólu na přední straně s kladným pólem na zadní straně následujícího článku vznikne sériové zapojení článků. Vzájemná vzdálenost mezi jednotlivými články se pohybuje v řádech milimetrů. Ve standardních modulech se většinou zapojují do série 36 až 216 článků v řetězci. Začátek a konec řetězce, ale také odboček pro bočníkové diody, jsou vyvedeny většinou pomocí fólie na jednom místě na zadní straně pro elektrické spojení. [1], [16]

Výkon jednoho modulu se pohybuje od 100 až přes více než 400 Wp. Průměrná velikost modulu se 60 články a výkonem okolo 300 Wp je 1600×990×35(40) mm (viz obrázek 7). Modul se 72 články mívá většinou velikost okolo 2000×1000×40 mm a výkon, který přesahuje i 400 Wp. Standardizované rozměry se však doposud neprosadily. [1], [17]

Obrázek 7: Fotovoltaický modul se 60 články



Zdroj: [18]

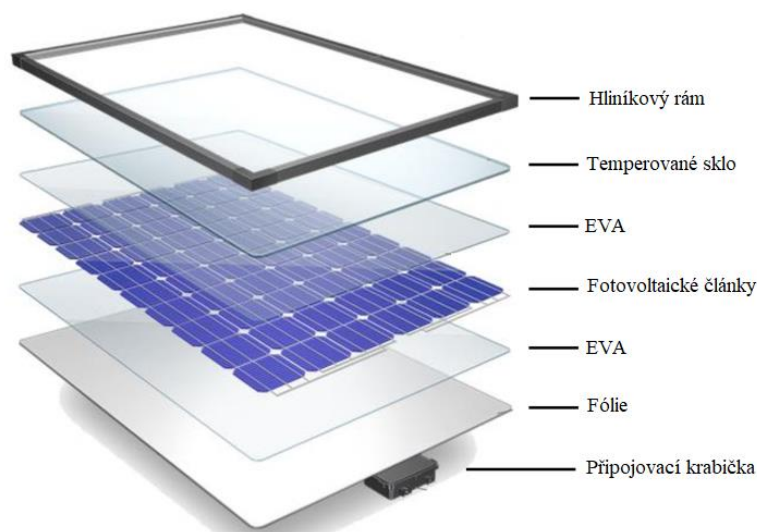
Ochrana a zapouzdření FV článků

Kvůli ochraně proti mechanickému poškození, povětrnostním vlivům a vlhkosti se články zapouzdřují do průhledného spojovacího materiálu, který také slouží jako elektrický izolant článků. Kvůli statické stabilitě se spojovací materiál nanáší na nosný materiál. Ve většině případů se jedná o sklo, akrylové sklo, kov nebo plastové fólie. Je důležité, aby na světlocitlivé straně FV článků byl použit vysoce transparentní materiál, aby jím mohlo co nejvíce světla proniknout k FV článkům. Z tohoto důvodu se na přední stranu nejčastěji používá bílé sklo s nízkým obsahem oxidu, které propustí až 96 % světla. Aby bylo sklo schopné odolávat vysokému a častému tepelnému namáhání, musí být předejpaté. Toto sklo se označuje jako solární sklo, je velice odolné a je schopné odolat i nárazu relativně velkých krup. Jeho tloušťka se v závislosti na velikosti modulu pohybuje přibližně od 3 do 6 mm. [1], [16],

V současné době se více než 95 % modulů zapouzdřuje do etylén – vinyl – acetátu (EVA). Články se vloží mezi dvě vrstvy fólie EVA s jedním předním sklem a jednou zadní fólií a dají se do vakuové komory. V komoře na ně působí podtlak a přetlak při teplotě do 150 °C, čímž dojde k vytvoření laminátu. EVA se při tomto procesu roztaví a uzavře fotovoltaické články ze všech stran. EVA však potřebuje ochranu proti povětrnostním vlivům a UV záření,

k tomu se ve většině případů používá již zmíněné transparentní solární sklo, které je umístěno z přední strany. Na zadní straně modulu je nanášena netransparentní fólie. Na obrázku 8 je znázorněno zapouzdření fotovoltaických článků. Dále lze v určitých případech, například k zapouzdření tenkovrstvých článků, použít polyvinylbutyral (PVB). Další možností je také zapouzdření polytetrafluorethylenem (PTFE), označovaného jako teflon. Při této metodě není potřeba krytí transparentním sklem. Zapouzdření teflonem se používá například při výrobě solárních fotovoltaických střešních tašek. [1], [16]

Obrázek 8: Zapouzdření fotovoltaických článků

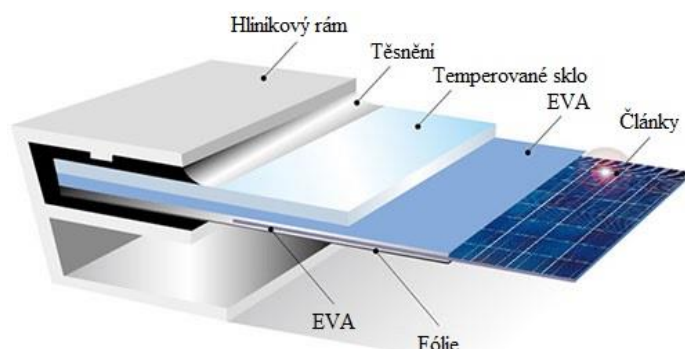


Zdroj: [19] (vlastní zpracování)

Modulové rámy

Přibližně 80 % všech standardních modulů má profilový rám z hliníku. Rám slouží k ochraně citlivých hran skel, usnadňuje montáž na podstavec a zlepšuje statiku modulu. Bývá také opatřen otvory pro montáž a pro odvod vody. Modul je v rámu utěsněn pomocí gumového těsnění. Na obrázku 9 je detailně zobrazeno rámování standardního modulu. Pro vestavbu do budov se vyrábí standardní moduly s polyuretanovými rámy. Kvalitní fotovoltaické moduly mají životnost přibližně 20-30 let. [1], [16]

Obrázek 9: Rámování standardního FV modulu



Zdroj: [20] (vlastní zpracování)

3.6 Rozdělení fotovoltaických systémů

Z fotovoltaických modulů se vytváří fotovoltaické systémy, které můžeme rozdělit na ostrovní systémy a systémy připojené k rozvodné síti. U ostrovních systémů odpovídá solární výnos energie spotřebě energie a tyto systémy nejsou připojeny do rozvodné sítě. Jelikož však solární výnos energie většinou časově nesouhlasí se spotřebou energie připojených spotřebičů, je zpravidla potřeba použít navíc zásobníky elektrické energie (akumulátory). Ostrovní fotovoltaický systém může být také doplněn dalším zdrojem elektrické energie, jako například větrným či diesellovým generátorem. U solárních fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti funguje právě rozvodná síť jako zásobník elektrické energie. Celosvětově je k rozvodné síti připojena většina solárních fotovoltaických systémů a do sítě dodává veškerou vyrobenou energii, nebo její část spotřebovává a do sítě je dodáván pouze přebytek. [1], [21]

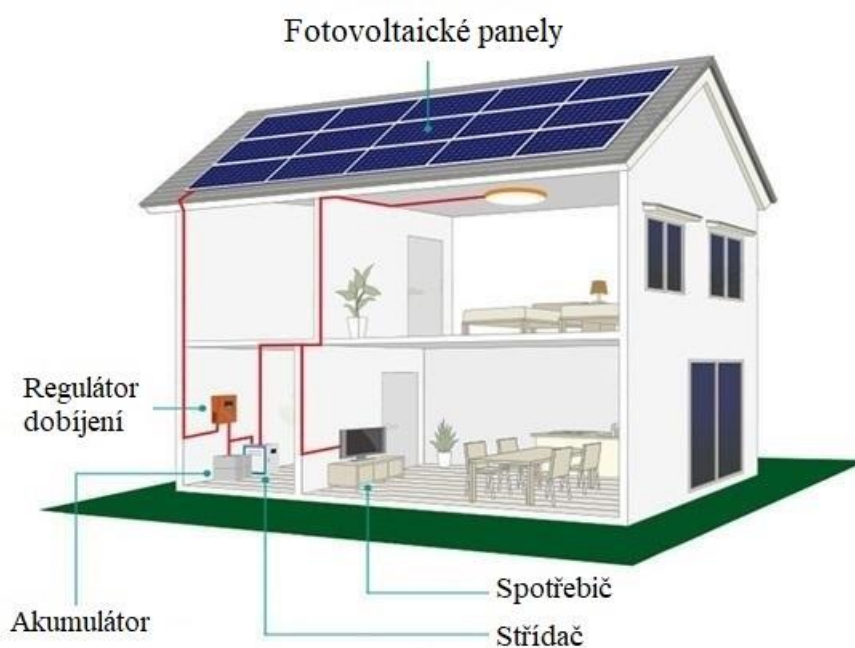
3.6.1 Ostrovní systémy

Ostrovní systémy patřily k prvním ekonomickým oblastem použití. Všude kde není možné zásobování elektrickou energií z rozvodné sítě, případně to není rentabilní či žádoucí, lze efektivně použít právě ostrovní solární fotovoltaické systémy. Spotřeba energie je však limitována množstvím energie, kterou je systém schopen vyrobit. Velký potenciál pro uplatnění těchto systémů se nachází v rozvojových zemích, kde není vybudována veřejná rozvodná síť. Umožňuje provozovat osvětlení, rádio, chladničku a další elektrická zařízení. Dále také nachází uplatnění v odlehlých horských chatách, parkovacích automatech, v oblasti řízení a monitorování dopravy nebo pro napájení malých aplikací jako jsou hodinky, kalkulačky a podobně. [1], [16], [21]

Ostrovní systémy potřebují zásobník energie pro vyrovnávání časového nesouladu mezi výrobou a spotřebou energie. Jako zásobníky se používají akumulátory, které zajišťují napájení v noci nebo při nepříznivém počasí. Aby byla dodržena ochrana a vysoká životnost akumulátoru, je nutné použít vhodný regulátor dobíjení jako správce energie. Schéma ostrovního FV systému viz obrázek 10. Typický ostrovní systém je složen z následujících komponent:

- fotovoltaický generátor (jeden nebo více FV modulů většinou paralelně zapojených s montážní nosnou konstrukcí),
- regulátor dobíjení, střídač,
- akumulátor,
- spotřebič. [1], [16], [21]

Obrázek 10: Schéma ostrovního FV systému



Zdroj: [22] (vlastní zpracování)

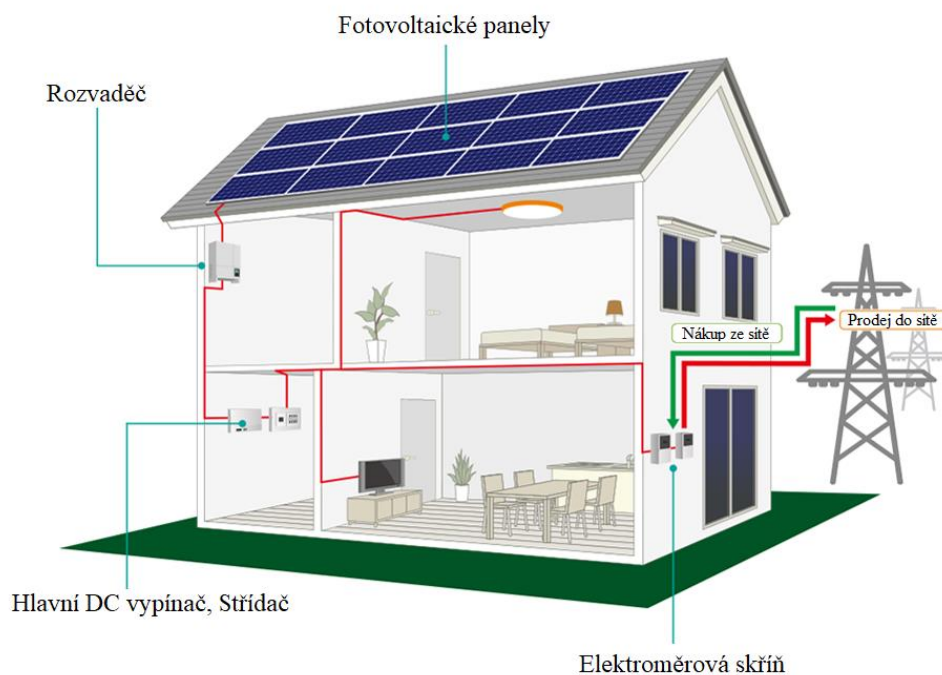
3.6.2 Systémy připojené k rozvodné síti

Tyto systémy jsou charakteristické tím, že jsou připojeny do veřejné rozvodné sítě. Vyrobená elektrická energie většinou slouží k pokrytí potřeb například domácností a přebytečná energie může být dodávána právě do rozvodné sítě, ke které je systém připojen. Systémy připojené k rozvodné síti se uplatňují především v místech s hustou elektrorozvodnou sítí. K provozu systému je potřeba souhlas provozovatele distribuční sítě. Schéma FV systému

připojeného k rozvodné síti viz obrázek 11. Hlavními komponenty, které obsahuje FV systém připojený k elektrické síti jsou:

- FV generátor (více FV modulů většinou paralelně zapojených s montážní nosnou konstrukcí),
- rozvaděč generátoru,
- stejnosměrná kabeláž,
- hlavní DC vypínač,
- střídač,
- střídavá kabeláž,
- elektroměrová skříň s rozvodem, elektroměrem spotřeby a výroby energie a přípojka. [1], [21], [23]

Obrázek 11: Schéma FV systému připojeného k rozvodné síti



Zdroj: [22] (vlastní zpracování)

3.7 Konstrukce solárních fotovoltaických systémů

Solární fotovoltaické systémy lze montovat na budovy či volné plochy na pozemcích. Do nedávna se nejčastěji instalovaly solární fotovoltaické systémy na budovy, avšak v současné době výrazně roste počet instalací právě na volná prostranství za účelem dodávání energie do veřejné sítě, případně k zásobování energií výrobní závody. Střešní systémy jsou instalovány jak ve městech, tak i na venkově. Při instalacích na budovy se rozlišují řešení na aditivní a integrační. U aditivního řešení jsou fotovoltaické moduly ve většině případů připevněny pomocí kovové konstrukce na střechu, případně fasádu. Jsou tak dodatečným technickým stavebním tělesem umístěným na budově s primárním cílem výroby elektrické energie. U integračního řešení jsou nahrazovány části střechy nebo fasády fotovoltaickými stavebními prvky. [1],[24]

3.7.1 Montážní konstrukce pro šikmé střechy

Zatímco ploché střechy poskytují při projektování fotovoltaických systémů určitou volnost, šikmé střechy zpravidla určují orientaci i sklon instalovaných modulů. Z tohoto důvodu je potřeba při plánování ověřit vhodnost střechy. Pro maximální využití energie slunečního záření je ideální orientace modulů na jih. Při montáži na střechu se moduly montují pomocí nosné konstrukce nad stávající střešní krytinu. Zůstává tak zachována primární funkce střešní krytiny. Výhodou dodatečné montáže na stávající střechy, jsou relativně nízké náklady na montáž a materiál. Při umísťování panelů na střechy je vhodné vytvořit jednolitou plochu jak z estetického, tak funkčního hlediska. Vhodné jsou střechy se sklonem okolo 35°. Na obrázku 12 je zobrazeno upevnění fotovoltaických modulů na šikmou střechu. [1], [25], [24]

Obrázek 12: Upevnění fotovoltaických modulů na šikmou střechu



Zdroj: [26]

Konstrukce pro montáž modulů na střechu se v zásadě skládá ze tří hlavních dílů: střešní upevnění, nosné kolejnice a prvky pro upevnění modulu. Tato instalace je relativně levná. S pomocí střešního upevnění se kolejnicový systém ukotví skrze střešní krytinu na konstrukci střechy případně přímo na střešní krytinu. Jednotlivé moduly se upevňují na kolejnice pomocí specifických prvků. Konstrukce musí být schopná odolat silám působícím na FV moduly a přenášet je na střešní nosnou konstrukci. Kromě tepelného namáhání během léta jsou moduly společně s konstrukcí vystaveny mechanickému namáhání způsobenému především větrem a sněhem. [1], [25]

Upevnění na střechu

Ve střeše je třeba kvůli upnutí montážního podstavce vytvořit upevňovací body. Výběr upevnění záleží na typu stávající střešní krytiny. Veškeré funkce střechy jako je těsnost, odvětrávání, protipožární ochrana, musí být zachovány a nesmí být montáží ovlivněny. Nejčastěji se upevnění na střechu provádí pomocí střešních háků z nerezové oceli nebo hliníku. Střešní háky jsou umístěny mezi střešní krytinu a pevně ukotveny ke krokším případně latím. Hák leží ramenem v prohlubni mezi betonovými taškami (viz obrázek 13). [1], [24]

Obrázek 13: Uložení střešního háku



Zdroj: [27]

Kolejnicový systém

Podstatná část montážního systému je tvořena kolejnicovým systémem viz obrázek 14. Ten se montuje na střešní upevňovací body (střešní háky, upevňovací tašky atd.) a nese solární fotovoltaické moduly. Používají se převážně extrudované hliníkové profily, z důvodu možnosti vyrobit je v téměř jakékoli formě. Obvykle jsou tvarované tak, aby mohly přidržovat kabeláž

vedoucí od modulů. Je tak možné realizovat mnoho montážních variant, mezi které patří drážky pro standardní upevnění pomocí kladívkových šroubů, speciální profilové matky, posuvné bloky a podobně. [1], [24]

Obrázek 14: Kolejnicový systém

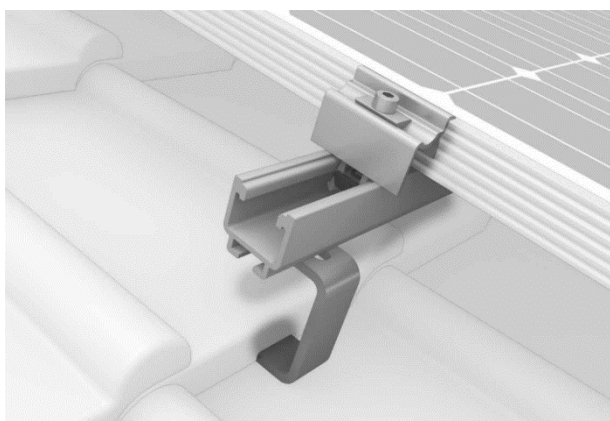


Zdroj: [28]

Upevnění modulů

Velmi rozšířeným typem upevnění modulů je bodové upnutí (viz obrázek 15). Moduly se při montáži přitlačí upínacími kameny ke kolejnicím. Na krajích jsou vnější moduly uchyceny pomocí jednostranných koncových svorek a mezi jednotlivými moduly jsou použity oboustranné středové svorky. K hliníkovým profilům se dotahují pomocí šroubů a speciálních profilových matek, posuvných bloků apod. [1]

Obrázek 15: Bodové upnutí FV modulu



Zdroj: [29]

3.7.2 Montážní systémy pro ploché střechy

Ploché střechy nabízejí velký potenciál v podobě nevyužitých ploch, které se hodí pro instalaci solárních fotovoltaických systémů. Plánování solárních fotovoltaických systémů na plochých střechách ponechává určitou svobodu ve smyslu možnosti zvolit orientaci na jih a také optimálně nastavit úhel sklonu. Instalace konstrukce na ploché střechy je jednodušší než na šikmé. U montáže na plochou střechu se moduly upevňují podobně jako u montáže na šikmou střechu, a to prostřednictvím kovové konstrukce nebo stávající střešní krytiny. Moduly se zpravidla instalují s pomocí podstavce pod vhodným úhlem sklonu. [1], [30]

Upevnění na střechu

Způsob upevnění podstavců na střechu má velký význam. Vzhledem k velké kontaktní ploše solárního fotovoltaického systému je třeba při upevňování zohlednit síly způsobené větrem. Výběr upevnění závisí na staticce střechy, tedy je-li možné střechu dodatečně zatížit či nikoli. Podle toho se rozhoduje, zda je možné solární fotovoltaický systém volně nainstalovat (metoda velkého zatížení), nebo zda se pevně spojí se střešní krytinou a bude muset být pevně spojen s nosnými prvky budovy. Ukotvení tedy bude procházet skrz její střešní plášť. [1]

Metoda velkého zatížení (volně stojící systémy)

U metody velkého zatížení se pro ploché střechy podstavec kotví jako plovoucí. Stabilní poloha je zajištěna pouze vlastní vahou systému a dodatečnou zátěží. Výběr vhodného zatížení záleží na tom, jestli lze střechu zatížit plošně (šterk), nebo bodově (betonové desky). Na obrázku 16, je vyobrazena konstrukce zatížená betonovými deskami. Stojanové systémy se ukotvují na betonové prvky, nebo se betonové závaží vkládá do rámců profilu na montážním podstavci. Pokud není ze statických důvodů možné plošně zatížení a není možné ani spojení s pláštěm střechy, musí se fotovoltaický systém pevně ukotvit na nosné části budovy. Moduly jsou připevňovány ve většině případů jako u šikmých střech, tedy k hliníkovým profilům pomocí svorek. [1], [25], [31]

Obrázek 16: Konstrukce zatížená betonovými deskami



Zdroj: [32]

Trojúhelníkové stojany

Pro ploché střechy je používána řada montážních podstavců. Často se používají profilové hliníkové kolejnice pro šikmé střešní systémy s upravenými stavěcími zařízeními. Většina podstavců pro ploché střechy je ve tvaru trojúhelníku se sklonem obvykle od 5° do 30° . Na obrázku 17 je zobrazena trojúhelníková konstrukce se stavěcím zařízením. Trojúhelníky se sestavují na místě z jednotlivých profilových kolejnic v požadované délce, dle velikosti a počtu modulů a potřebném úhlu sklonu, nebo mohou být dodávány ve standardních velikostech. Trojúhelníky se připevňují k použitému střešnímu upevnění a jsou kvůli rozdělení zatížení navzájem spojeny. [1]

Obrázek 17: Trojúhelníková konstrukce se stavěcím zařízením



Zdroj: [32]

3.7.3 Montážní systémy pro pozemní fotovoltaické elektrárny

Pozemní fotovoltaická zařízení v posledních letech stále více nabývají na významu a představují důležitou část instalovaných systémů obnovitelných zdrojů.

Pozemní fotovoltaické systémy (elektrárny) mohou být tvořeny jednotkami až stovkami řad fotovoltaických modulů umístěných na nosné konstrukci. Výkon takovýchto elektráren se může pohybovat řádech i stovek megawatt. Řady se pak skládají z takzvaných stolů, mezi kterými se nechávají mezery (viz obrázek 18). Jedná se o nosnou konstrukci o délce v řádech jednotek až desítek metrů s různým počtem fotovoltaických modulů. Konstrukce je obdobná jako u střešních systémů, s tím rozdílem že je připevněna k zemi. Podobně jako u střešních systémů se používá kotvení k betonovým deskám, které jsou v tomto případě zapuštěny do země, nebo pevným spojením se zemí pomocí zatlučených pilotů či zemních vrutů. Stejně jako konstrukce pro střešní systémy, musí být pozemní konstrukce stabilní a musí odolávat povětrnostním vlivům jakými jsou především vítr, sníh a vlhkost. Řady fotovoltaických modulů, které jsou na okrajích elektrárny, jsou namáhány více než řady uvnitř, proto musí být konstrukce pro krajní stoly odolnější než pro vnitřní. Ve většině případů je to zabezpečeno použitím více kotvicích bodů. V závislosti na zatížení a povaze půdy jsou k dispozici různé možnosti instalace. [1], [25], [24]

Obrázek 18: Stoly s FV umístěné v jednotlivých řadách



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Možnosti zakládání nosné konstrukce

Zakládání nosné konstrukce se stará o rozkládání a přenášení zátěže do půdy. Můžeme jej rozdělit na betonové, pilotové a šroubované základy. Základy musí zaručovat bezpečnost a stabilitu polohy systému. [1], [24]

Betonové základy

Jednu z forem zakládání představují betonové základy (na obrázku 19 jsou vyobrazeny betonové základy s osazenou konstrukcí pro fotovoltaické panely), které se používají například na místech skalnatého podloží. Obvykle jsou vytvořeny jako pásové či bodové základy. V určitých případech, například u tenké užité rozlohy půdy na skládkách se používají základové desky. Betonové základy se většinou zhotovují přímo na místě instalace, ale lze použít i předem vytvořené betonové díly. Ty mohou být použity ihned v podstatě nezávisle na počasí, zatímco beton vyráběný na místě musí před instalací fotovoltaického systému nejdříve vytvrdnout. Napojení stojanového systému může probíhat buď pomocí základové kotvy nebo vyztužením betonového základu vyráběného přímo na místě instalace. [1], [24]

Obrázek 19: Betonové základy s nosnou konstrukcí pro FV panely



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Šroubované a pilotové základy

V porovnání s betonovými základy si šroubované a pilotové základy z oceli nebo i dřevěné piloty vystačí s minimálním zhutněním povrchu půdy (na obrázku 20 jsou vyobrazeny šroubované základy s konstrukcí a fotovoltaickými panely při pohledu z boku). Kromě toho nejsou k montáži potřeba ve většině případů žádné zemní práce a základy lze ihned zatěžovat,

tedy instalovat nosnou konstrukci pro fotovoltaické panely. Šroubované a pilotové základy nejsou vhodné pro všechny druhy podloží, protože je vyžadována dostatečná hloubka pro založení. U těchto typů konstrukcí je třeba také věnovat pozornost bočním silám. Dokonce i relativně malá nepřesnost v umístění a sklonu zemního vrutu nebo piloty, například kvůli zkyprění, nebo překážkám v půdě při šroubování (vrtání) nebo zatloukání základů, může vést k deformaci konstrukce a tím i napětí v modulech. Připojování jednotlivých dílů montážního systému k základům se obvykle provádí pomocí šroubových spojů. [1], [24]

Obrázek 20: Šroubované základy s nosnou konstrukcí a FV panely



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

3.7.4 Stojanové systémy

Stojanové systémy pro pozemní zařízení by měly být snadno a rychle smontovatelné, mít nízké náklady na materiál pro konstrukci a dlouhou životností při zachování bezpečnosti konstrukce po celou dobu její životnosti. Tlak na náklady se daným způsobem odráží ve skladbě konstrukce a výběru materiálu. U velkých a souvislých ploch modulů je z důvodu životnosti a bezpečnosti potřeba zohlednit i hledisko odvodnění. To může být dosaženo dostatečnými odstupy mezi jednotlivými moduly, aby mezerami mohla odtékat dešťová voda. Dalším aspektem je umístění fotovoltaických modulů na konstrukci v dostatečné výšce od země, aby byla umožněna údržba okolních ploch, sekání trávy, případně jejich dalšího využití v podobě chovu hospodářských zvířat, například ovcí. [1]

Materiály

Pro konstrukce se používají především dva základní typy materiálů, kov a dřevo. Výhody dřeva spočívají především v nízké energetické bilanci a bezproblémové likvidaci, zatímco u kovu jsou to nižší náklady a rychlejší montáž prefabrikovaných kovových konstrukcí ze standardizovaných dílů. Z kovových materiálů se nejčastěji používá hliník a pozinkovaná ocel. Pokud se používají oba materiály najednou, může docházet k takzvané kontaktní korozi. U obvyklých tloušťek materiálů toto v podstatě nepředstavuje žádné bezpečnostní riziko, ale je lepší se tomu vyhýbat. Lze tomu předejít použitím eloxovaných hliníkových profilů nebo oddělením ocelových a hliníkových dílů pomocí plastu. [1]

Kolejnicový systém

Kolejnicový systém je tvořen obdobně jako u střešních systémů. Hliníkové profily jsou připevněny ke konstrukci a na ně se následně uchycují fotovoltaické moduly pomocí svorek. Dále se také používají zásuvné hliníkové profily, do kterých se moduly zasouvají a nezpůsobují v rámech modulů napětí. [1]

3.7.5 Naváděcí systémy

Oslunění v rovině modulu lze zvýšit jeho natáčením, to znamená nasměrování modulů vždy přesně vůči slunci. Ve dnech s vysokým osluněním a velkým podílem přímého záření je možné za pomoci natáčení modulů dosáhnout poměrně velkých dodatečných zisků záření. V létě je možné dosáhnout natáčením až o 50 % a v zimě o více než 300 % vyšších zisků záření oproti vodorovné ploše. Převládající podíl energetického zisku natáčením je dosahován především v letních dnech, zejména kvůli většímu počtu dní s podílem přímého záření. Přesné nasměrování modulů vůči slunci je zajištěno jejich natáčením ve dvou osách. Kromě dvouosého natáčení jsou také k dispozici systémy s jednoosým natáčením. U nich lze ušetřit na pohonu jedné osy a mají také lepší statické chování a tím pádem jsou odolnější vůči zatížení větrem. Oba systémy však mají společný nárok na instalaci a údržbu pohonu a systému řízení. Také je nezbytné dodržet dostatečné rozestupy mezi jednotlivými systémy, aby nedocházelo ke vzájemnému stínění. Natáčení může být dvouosé, jednoosé vertikální, jednoosé horizontální a jednoosé nakloněné. Naváděcí systémy se používají především u velkých pozemních montážních systémů. Na obrázku 21 je dvouosý naváděcí systém. [1], [24]

Obrázek 21: Dvouosý naváděcí systém



Zdroj: [33]

3.8 Statika a zatížení konstrukce

Fotovoltaické systémy jsou konstrukční systémy a musí být dle stavebních předpisů stabilní jako celek, tak jeho jednotlivé části. Montážní systém musí být navržen tak, aby se fotovoltaický systém působením zatížení v místě instalace nezvedal, nepřevracel, nedeformoval a byl celkově stabilní. [1]

Vhodný návrh konstrukce pro danou instalaci musí vycházet ze zatížení, které bude v daném místě na konstrukci působit. Odhadované zatížení, stejně jako podklady pro plánování a výpočty je definováno v evropské řadě norem DIN EN 1991, označované jako Eurokód „Účinky na nosné konstrukce“. Při návrhu se počítá především s normami EN 1991-1-3 zatížení sněhem a EN 1991-1-4 zatížení větrem. Dále by se také měly dodržovat normy pro plánování nosných konstrukcí DIN EN 1990. [1]

Účinky zatížení

Z fyzikálního hlediska působí na konstrukci nepřetržitě zatížení jako je vlastní hmotnost konstrukce, fotovoltaických modulů a nepravidelné zatížení jako jsou účinky větru a sněhu, jejich souhrn pak představuje celkové zatížení konstrukce. Maximální hodnoty celkového zatížení jsou východiskem pro dimenzování konstrukce nebo jejích dílů. Na fotovoltaické moduly působí tlakové a sací síly. Tlakové síly jsou způsobeny vlastní hmotností modulů a konstrukce, zatížením sněhem a dynamickým tlakem větru. Sací síly jsou způsobeny sacími účinky větru. [1]

Vlastní zatížení

Vlastní zatížení je dáno hmotností konstrukčních dílů a jeho velikost lze stanovit s dostatečnou přesností. U fotovoltaických modulů z fólie a skla se typické zatížení vlastní vahou pohybuje mezi 0,12 a 0,16 kN/m². Moduly z dvojitého skla dosahují až 0,3 kN/m². [1]

Zatížení větrem

Vnější stěny budov a šikmé střechy brzdí na návětrné straně rychlost větru a zde umístěné fotovoltaické systémy jsou tedy vystaveny tlaku. Nad nejvyšším místem střechy se rychlost větru zvyšuje a vzniká zde podtlak (sání). Intenzita větrné síly je závislá na poloze budovy, výšce hřebene, tvaru a sklonu střechy, velikosti dotčené plochy a propustnosti vzduchu budovy. Volně stojící systémy jsou větrem zatěžovány dle stejných pravidel, navíc se zde přidávají vnitřní tlaky konstrukcí a sání na závětrné straně. Volně stojící systémy jsou z hlediska působení větru počítány jako pultové přístřešky. [1]

Tlak větru vstupujícího do výpočtů závisí na zóně větru, na krajině v okolí a výšce budovy, respektive volně stojící konstrukce nad zemským povrchem. Přesné hodnoty rychlosti větru a s tím související zatížení se zjišťuje z větrných map podle kategorií daných normou DIN EN 1991-1-4. Pro vyšší stavební konstrukce nebo pro volně stojící konstrukce se přesněji zjišťuje snížení zatížení větrem v souvislosti s topografií, vegetací a zástavnou v okolí. Norma DIN EN 1991-1-4 rozlišuje 4 kategorie terénu. [1]

Zatížení sněhem

Zatížení sněhem se určuje dle normy DIN EN 1991-1-3. Hodnoty se určují na základě charakteristických hodnot zatížení sněhem na zemi. Odpovídá statistickému překročení za 50 let a vyplývá z geografické polohy stavby a její výšky nad mořem.[1]

4 Vlastní výsledky

Cílem praktické části diplomové práce bylo na základě znalostí z oblasti techniky, ekonomie a obchodu získaných během studia navrhnout inovaci konstrukce pro volně stojící (pozemní) fotovoltaické elektrárny. Inovace byla prováděna pro českou firmu zabývající se výstavbou nosných konstrukcí fotovoltaických elektráren v České republice a v zahraničí. V této práci bude označena jako firma „XY“.

Hlavním důvodem pro provedení inovace byly příliš vysoké náklady na pořízení a výstavbu konstrukce pro solární fotovoltaické elektrárny. Tato situace představovala pro firmu nevýhodné postavení na konkurenčním trhu při ucházení se o zakázky na dodávky konstrukce fotovoltaických elektráren. Cílem tedy bylo snížit objemové i finanční náklady na materiál potřebný pro výstavbu konstrukce, zjednodušit pracnost její montáže čímž dojde ke zkrácení doby potřebné pro výstavbu a tím k redukci nákladů na pracovníky a pronájem strojů potřebných k dopravě a výstavbě. Inovace tedy v důsledku povede ke zvýšení konkurenceschopnosti a tím i efektivnosti při získávání zakázek firmy na trhu s výstavou konstrukcí pro fotovoltaické elektrárny.

Návrh inovace spočíval ve vytvoření nového konstrukčního řešení systému podpěr pro solární fotovoltaické moduly. Realizace návrhu byla provedena s využitím znalosti původní konstrukce a následném vyhledání a výběru vhodných dílů pro inovaci konstrukce. Jednotlivé díly a vhodnost jejich použití byly staticky posouzeny. V dalším kroku bylo provedeno celkové ověření stability a únosnosti konstrukce. Bylo nezbytné, aby výpočty stability a únosnosti prováděl odborný pracovník z důvodu následného získání CE certifikátu, za účelem zajištění možnosti výstavby konstrukce v rámci Evropské unie.

Popis výchozí situace

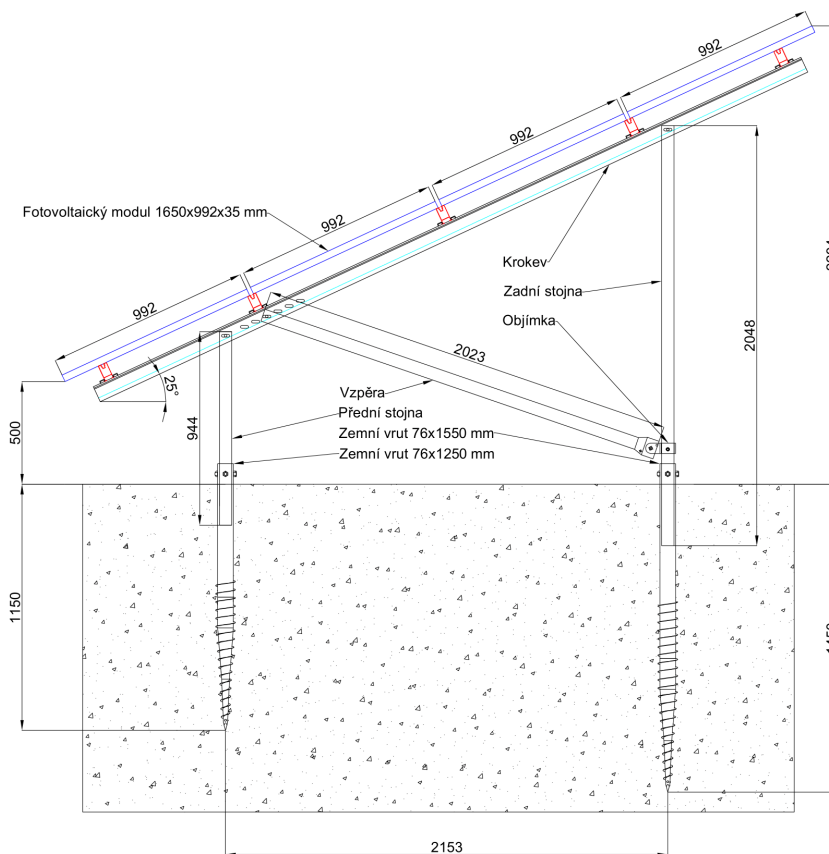
Před vlastním zahájením návrhu konstrukce bylo nutné seznámit se s výchozí situací řešeného problému. Celý proces realizace výstavby konstrukce pro fotovoltaické elektrárny začíná kontaktem klienta, který osloví firmu s požadavkem na zpracování cenové nabídky na konstrukci pro fotovoltaickou elektrárnu. Požadavek musí obsahovat projekt FV elektrárny se stanovením alespoň základních parametrů pro výstavbu, kterými je určeno:

- lokalita FV elektrárny,
- požadovaný sklon FV modulů,

- rozloha a tvar pozemku pro výstavbu s předběžným rozestavením jednotlivých řad, respektive stolů,
- typ a požadovaný počet modulů, respektive celkový výkon elektrárny.

Na základě těchto informací a podkladů je sestaven optimální návrh konstrukce, který představuje vytvoření konstrukčních výkresů bočního pohledu se znázorněním sklonu konstrukce a velikosti panelů. Zde jsou stanoveny předběžné délky hlavních konstrukčních prvků, přední stojiny, zadní stojiny, vzpěry a vzdálenost mezi vruty v příčném směru (viz obrázek 22). Takto navrženou konstrukci s informacemi o lokalitě umístění budoucí elektrárny, sklonu konstrukce, velikosti a hmotnosti fotovoltaických modulů posoudí statik, který se zohledněním působení zatížení větrem a sněhem v dané oblasti zpracuje statický výpočet. Dále dle specifikace jednotlivých dílů použitých na konstrukci ověří jejich statické parametry a stanoví maximální možné rozestupy mezi jednotlivými vruty v podélném i příčném směru tak, aby byla konstrukce stabilní a bezpečně vydržela veškerá namáhání, která na ní budou působit. Výsledkem je finální projektová dokumentace konstrukce, podle které budou vyráběny a sestavovány jednotlivé stoly.

Obrázek 22: Výkres nosné konstrukce při pohledu z boku



Zdroj: autor

4.1 Popis původní konstrukce

Tato část práce zevrubně popisuje původní řešení konstrukce, kterou vzhledem k vysokým nákladům na pořízení materiálu bylo potřeba inovovat. Nejčastěji se na volném prostoru staví konstrukce typu „2V“ a „4H“. Typ 2V znamená umístění dvou vertikálně orientovaných panelů nad sebou, zatímco typ 4H je znamená umístění čtyř horizontálně orientovaných panelů nad sebou (viz obrázek 23 a 24). V tomto případě je inovována konstrukce typu 4H. Tato konstrukce má ve výstavbě pozemních solárních fotovoltaických elektráren významnější zastoupení. Je upřednostňována především díky vyššímu výkonu v poměru k zastavěné ploše. Typ 4H dosahuje přibližně o 20% vyšší výkon na zastavěnou plochu oproti typu 2V. Ve speciálních případech lze stavět systémy i s více panely nad sebou. Může jich být například až 6 i více. Takovéto uspořádání není příliš časté a používá většinou v případech kdy je budováno malé množství řad.

Obrázek 24: Typ 2V



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Obrázek 23: Typ 4H



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Původní konstrukce je sestavena z ocelových a hliníkových dílů. Ocelové díly jsou vždy opatřeny protikorozní zinkovou povrchovou úpravou. Konstrukce je kotvena k zemi pomocí zemních vrutů z pozinkované oceli. Standardně jsou používány vruty o průměru 76 mm a délce 1250 mm a 1550 mm. Kratší vrut se používá v přední části stolu, kde jsou panely blíže k zemi a delší vrut v zadní části. Vruty jsou do země zavrtávány pomocí zavrtávacího stroje se speciálně upravenou vrtací hlavou, do které se vrut uchytl pomocí na něm navařených matic. Na obrázku 25 je vyobrazen zemní vrut a na obrázku 26 zavrtávací stroj.

Obrázek 26: Zavrtávací stroj



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Obrázek 25: Zemní vrut

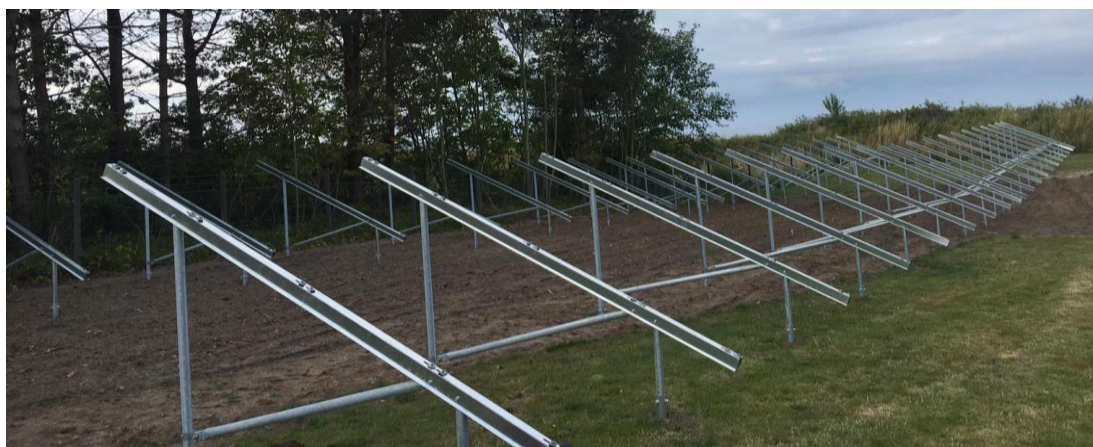


Zdroj: autor

Do zavrtaných vrutů se následně vkládají ocelové pozinkované trubky o průměru 60,3 mm, takzvané „stojiny“. Osazené stojiny se nastaví do požadované výšky dle výkresové dokumentace. Horní hrana přední stojiny je vždy níže než zadní (tudíž je i kratší) a jejich poloha se zajistí dotažením rektifikačních šroubů umístěných v maticích přivařených na zemních vrutech. Na zadní stojinu se nasadí ocelová objímka, která se zajistí šroubem ve výšce přibližně 100 mm nad vrutem a slouží k uchycení vzpěry. Na stojiny se shora nasadí krokev a zajistí pomocí šroubů. Díky tomu, že jsou stojiny v rozdílné výšce, je krokev skloněna pod úhlem, který je požadovaný pro fotovoltaickou konstrukci v dané lokalitě.

V dalším kroku montáže se k objímce na stojině jedním koncem pomocí šroubového spoje připevní vzpěra z ocelové trubky o průměru 60,3 mm a druhý konec se přišroubuje ke krokvi. Vzpěra slouží jednak k podepření krokve a zároveň stabilizuje celou konstrukci v příčném směru. Krokev je vyrobena z ohýbaného pozinkovaného plechu tvaru „U“. V bocích krokve jsou vyraženy otvory (drážky) pro šrouby, pomocí kterých se krokev upevňuje ke stojinám a horní konec vzpěry ke krokvi. V horní ploše krokve jsou vyraženy drážky pro šrouby k připevnění hliníkových profilů, které slouží pro montáž fotovoltaických modulů na nosnou konstrukci. Hliníkové profily jsou orientovány podélně přes jednotlivé krokve. Na obrázku 27 je vidět konstrukce složená z výše popsaných ocelových dílů, připravená k montáži hliníkových profilů, na které se následně uchyty fotovoltaické moduly.

Obrázek 27: Nosná konstrukce z ocelových dílů



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Hliníkové profily jsou tvarovány tak, aby horní část vytvořila dosedací plochu pro fotovoltaické moduly a uprostřed se vytvořila drážka, do které bude zasunuta matice pro dotažení hliníkových úchytek sloužících k připevnění FV modulů. V dolní části mají hliníkové profily z každé strany tvarovanou hranu (přírubu), za kterou se pomocí takzvané „klemy“ připevňují ke krokví. Klemy jsou dotahovány pomocí šroubů a plechu, „plocháče“, umístěného zesponu krokve, ve kterém jsou díry se závitem, který slouží jako matice i podložka zároveň. Na obrázku 28 je pohled shora na uchycení hliníkového profilu ke krokvi pomocí klemy a na obrázku 29, pohled ze spodu na plech sloužící k dotažení hliníkového profilu pomocí klemy ke krokvi.

Obrázek 28: Uchycení hliníkového profilu shora



Krokev Klima Hliníkový profil

Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Obrázek 29: Uchycení hliníkového profilu ze spodu



Plocháč

Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Jednotlivé stoly s fotovoltaickými moduly se navrhují v délkách v řádech desítek metrů (často i 40 až 60 m). Hliníkové profily jsou z přepravních, manipulačních a z důvodu tepelné roztažnosti vyráběny v kratších délkách, nejčastěji do 7 metrů. Pokud by byly delší v horkých letních dnech by se vlivem tepelné roztažnosti na konstrukci ohýbaly a mohlo by dojít tak k jejich poškození (deformaci) a zároveň k poškození fotovoltaických modulů. K dosažení požadované délky stolu, jsou jednotlivé hliníkové profily spojovány pomocí hliníkových uzavřených profilů „jeklů“. Hliníkové profily jsou tedy tvarovány také tak, aby bylo možné do nich vložit zmíněný hliníkový jekl. Spojení probíhá tak, že se jekl o délce 400 mm vsune z poloviny do jednoho hliníkového profilu a z druhé poloviny do druhého hliníkového navazujícího profilu. Hliníkový profil se provrtá a spojí s jeklem pomocí samořezných šroubů do plechu, takzvaných texů. Hliníkové profily se postupně přichycují ke krokším a následně spojují. Na takto připravenou konstrukci se pokládají a připevňují fotovoltaické moduly. Na obrázku 30 je ukázka montáže hliníkových profilů.

Obrázek 30: Montáž hliníkových profilů



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Fotovoltaické moduly jsou na hliníkové profily upevňovány bodově pomocí hliníkových úchytek, respektive svorek. Krajsní moduly jsou na konci stolu upnuty pomocí koncových jednostranných úchytek a mezi jednotlivými moduly jsou použity oboustranné úchytky. Úchytky se k modulům a hliníkovým profilům dotahují pomocí šroubů a matek (matky jsou umístěny v drážce hliníkového profilu) viz obrázek 31 a 32, na obrázku 33 je finální podoba konstrukce s připevněnými FV moduly

Obrázek 32: Krajní úchytka



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Obrázek 31: Středová úchytka



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Obrázek 33: Finální podoba konstrukce s FV moduly



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

4.1.1 Výhody a nevýhody původní konstrukce

Tak jako každé konstrukční řešení má i tento typ konstrukce své výhody i nevýhody. Hlavní výhodou je univerzálnost, kdy je možné dosáhnout v podstatě libovolného sklonu konstrukce, kterého lze dosáhnout jenom rozdílem výšky přední a zadní stojiny a jejich vzájemnou vzdáleností bez nutnosti měnit tvar anebo sortiment použitých dílů.

Velkou nevýhodou této konstrukce jsou hliníkové profily, které v podélném směru spojují krokve a ztužují celou konstrukci. Musí zvládat namáhání, které na ně působí od vlastní hmotnosti fotovoltaických panelů a účinků větru a sněhu. Podélné rozestupy mezi stojinami jsou tedy omezeny únosností hliníkových profilů. Pokud by byly rozestupy příliš velké mohlo by dojít k deformaci hliníkových profilů a tím k poškození celé konstrukce včetně

fotovoltaických modulů. U tohoto typu konstrukce se rozestupy v podélném směru pohybují obvykle okolo 2,4 m u krajních stolů fotovoltaické elektrárny a 3,1 m u stolů ve vnitřní části fotovoltaické elektrárny. Tyto hodnoty jsou podle sklonu konstrukce, velikosti a hmotnosti modulu a sil způsobených větrem a sněhem v závislosti na lokalitě stanoveny na základě statických výpočtů pro každou konstrukci fotovoltaické elektrárny zvlášť.

Z ekonomického hlediska je snaha o co největší úsporu použitých materiálů a jednoduchost montáže konstrukce. Zvětšené rozestupy mezi jednotlivými vruty jsou jedním z možných východisek pro nalezení úspory materiálu a snížení pracnosti montáže. Čím větší rozestupy budou, tím méně se použije materiálu na konstrukci a dojde tím ke snížení počtu příčných profilů konstrukce a tím ke snížení nákladů na materiál i montáž. Z toho vyplývá požadavek na inovaci konstrukce, kterým je dosažení větších rozestupů v podélném směru mezi vruty.

4.2 Inovace konstrukce

Hlavním důvodem inovace bylo snížení vstupních pořizovacích nákladů na konstrukci. Stávající konstrukce dovozovala rozestupy mezi vruty v podélném směru přibližně 2,4 m pro krajní stoly a 3,1 m pro vnitřní stoly. Cílem inovace byla snaha tyto rozestupy zvětšit při zachování stávající koncepce konstrukce a tím dosáhnout snížení potřeby materiálu, a tak redukovat náklady. Výchozí podmínkou byl požadavek zachovat použití zemních vrutů a ocelových trubek (stojin) o stejném průměru jako u původní konstrukce, které se vkládají do zemních vrutů a na ně se upevňuje zbylá část konstrukce. Zároveň bylo nezbytné vyřešit uložení fotovoltaických panelů na nosnou konstrukci prostřednictvím hliníkových profilů, tak aby nevznikala galvanická koroze mezi hliníkovým rámem panelu a nosnou konstrukcí. V první fázi inovace byly dle statických požadavků, jednání a konzultací s dodavateli vytipovány vhodné nové díly pro konstrukci a následně vytvořen 3D model konstrukce (viz příloha I.). Podle vytvořeného 3D modelu byla vypočítána statika pro různé výchozí podmínky (sklon, velikost fotovoltaických modulů, zatížení sněhem a větrem), provedena optimalizace jednotlivých dílů. Z vyrobených dílů byl sestaven prototyp konstrukce a ověřena použitelnost a funkčnost všech inovovaných konstrukčních prvků. V následujících částech této práce jsou popsány jednotlivé díly použité na novou konstrukci a jejich fotodokumentace.

Postup inovace jednotlivých částí konstrukce

Hlavním problémem u původní konstrukce byly limity únosnosti hliníkových profilů definující rozteče mezi stojinami. Bylo tedy nutné vymyslet řešení čím tyto hliníkové profily, na které se pomocí úchytek připevňovaly fotovoltaické moduly nahradit.

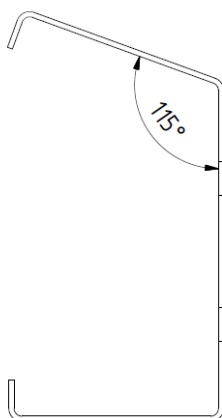
Nahrazení podélně umístěných hliníkových profilů

Nově bylo navrženo řešení, kdy se přední i zadní stojiny budou v podélném směru spojovat pomocí ocelových profilů z ohýbaného pozinkovaného plechu, takzvaných vaznic, které budou mít větší únosnost než hliníkové profily a nahradí je. Příčně přes tyto ocelové vaznice se budou pokládat a k nim připevňovat nové hliníkové profily, které propojí spodní a horní ocelový profil (vaznici) a budou sloužit k upevnění fotovoltaických modulů.

Sklon fotovoltaických modulů, respektive konstrukce se liší vždy podle lokality umístění konstrukce. U původní konstrukce bylo nastavení sklonu relativně jednoduché, rozdílem výšek přední a zadní stojiny a jejich vzájemnou roztečí. U nové konstrukce bylo potřeba tuto vlastnost v co nejvyšší míře zachovat. Na základě průzkumu dostupných ocelových profilů z ohýbaného plechu byl vybrán následující ocelový profil viz obrázek 34.

Takto tvarovaný profil se bude svou svislou stěnou upevňovat pomocí šroubových spojů na stojiny. Na šikmou část profilu se budou upevňovat hliníkové profily. Sklon se bude při výrobě vždy upravovat dle požadovaného sklonu konstrukce. Například pokud je úhel mezi svislou a skloněnou stěnou profilu $\alpha=115^\circ$ odpovídá sklonu konstrukce 25° od vodorovné plochy.

Obrázek 34: Ocelový profil (vaznice)



Zdroj: autor

Uchytení vaznic

Vaznice budou vyráběny z přepravních a montážních důvodů v délkách do 13 m. Pokud by byly delší, nevešly by se do nákladního vozu a pro pracovníky, kteří je budou ručně montovat by byly příliš těžké (jedna vaznice o délce 13 metrů váží přibližně 73,5 kg). Ve svislé stěně vaznice budou vyraženy vodorovné drážky pro šrouby, které budou sloužit k jejich uchycení ke stojinám. Jak již bylo uvedeno, jednotlivé stoly jsou sestavovány v délkách až do 60 metrů, proto bude potřeba jednotlivé vaznice vzájemně napojovat. Vaznice nebudou napojovány přímo, ale prostřednictvím speciálně upravené stojiny. Stojina, pomocí které budou vaznice napojovány se na vrchním konci zploští, a navaří se na ni ocelový plech s otvory pro šrouby. Vaznice budou také připevněny ke stojinám i v místech, kde se nebudou jednotlivé vaznice spojovat. Zde budou použity pouze pozinkované ocelové trubky, které budou mít v horní části díry pro šrouby. Na obrázku 35 je stojina s navařeným plechem spojující vaznice.

Obrázek 35: Spojení vaznic pomocí stojiny



Zdroj: autor

Zajištění stability konstrukce

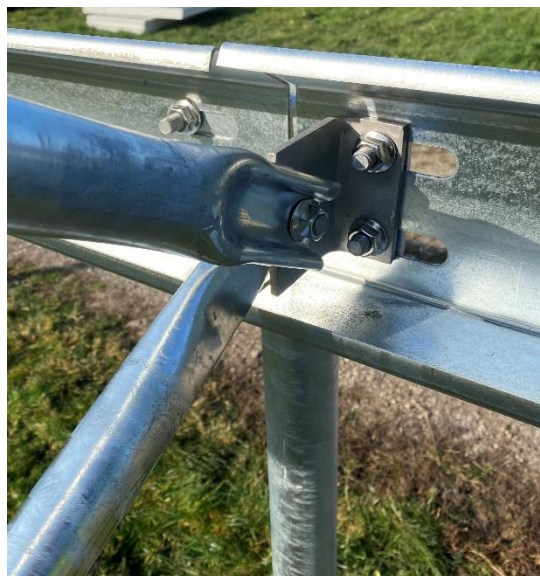
V novém řešení již nejsou stojiny v příčném směru spojeny krokve. Bylo tedy potřeba navrhnout nový způsob spojení přední a zadní stojiny, aby byla konstrukce dostatečně tuhá a stabilní. Po konzultacích se statikem a ověření statickým výpočtem bylo rozhodnuto že stojiny budou spojovat dvě vzpěry namísto jedné vzpěry a krokve, jako u původního řešení konstrukce. Nejdříve se uvažovalo, že budou použity vzpěry stejně jako v původní konstrukci, tedy ocelové trubky průměru 60,3 mm. Statický výpočet ukázal, že by takové vzpěry byly předimenzovány, proto byly nakonec použity vzpěry z trubky průměru 42,4 mm. Vzpěry budou umístěny tak, že budou tvořit trojúhelník. Jedna vzpěra bude uchycena u země na zadní stojině pomocí objímky, tak jako to bylo u původní konstrukce a druhá vzpěra bude k zadní stojině přišroubována v horní části viz obrázek 37. Obě vzpěry pak budou společně upevněny pomocí šroubů a speciálního plechu ve tvaru „L“ k přední stojině v místě uchycení vaznice. Na obrázku 36 je detail spoje vzpěr a uchycení k přední stojině a vaznici.

Obrázek 37: Uchycení vzpěry k zadní stojině



Zdroj: autor

Obrázek 36: Uchycení vzpěr k přední stojině



Zdroj: autor

Na obrázku 38 je zachycena dokončená inovovaná nosná konstrukce z ocelových dílů připravená pro montáž hliníkových profilů, které budou držet FV moduly. Je zde také vidět trojúhelníkové spojení stojin, které zajišťuje tuhost konstrukce v příčném směru.

Obrázek 38: Inovovaná konstrukce z ocelových dílů

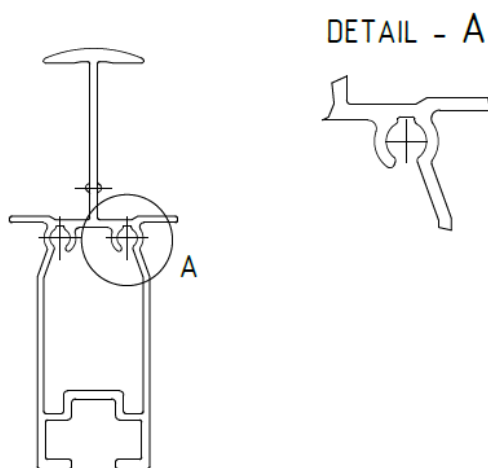


Zdroj: autor

Hliníkové profily

Vzhledem k tomu, že byly odstraněny krokve nelze tedy osazovat hliníkové profily tak jako u původní konstrukce. Profily pro montáž fotovoltaických panelů musely být zcela přepracovány. Zásadní změna spočívá v tom, že se profily nebudou osazovat v podélném směru konstrukce, ale budou osazeny v příčném směru. Další podstatná změna je uchytávání fotovoltaických modulů do zásuvných profilů a nikoli pomocí úchytek na podélné profily. Zásuvné profily jsou specifické tím, že samy o sobě drží FV moduly a není potřeba dodatečných úchytek a spojovacího materiálu k jejich upevnění. Zároveň se značně sníží pracnost montáže. Na následujícím obrázku 39 je zobrazen řez zásuvným hliníkovým profilem. Do otvorů (v detailu A) budou zašroubovány samořezné šrouby, pro upevnění záslepky, která zajistí že se moduly z profilů samovolně nevysunou. Tento typ hliníkového profilu je použitelný prakticky pro všechny typy FV modulů. Musí se však vyrobit s rozměry pro danou tloušťku modulu.

Obrázek 39: Inovovaný hliníkový profil



Zdroj: autor

Zásuvný hliníkový profil má vytvořenu drážku s dosedacími plochami pro FV moduly. Do profilu se moduly zasouvají z obou jeho boků. Profil je tedy umístěn mezi dvojicí sloupců fotovoltaických modulů. Na krajích stolů jsou do profilu osazeny moduly pouze z jedné strany. Tento systém (profil) je použitelný pro montáže skladeb modulů obou typů, 2V i 4H. Konkrétně u skladby typu 4H, každý hliníkový profil drží osm fotovoltaických modulů (z každé strany čtyři). Na obrázku 40, jsou vyobrazeny hliníkové profily připevněné k ocelové konstrukci a připravené pro montáž modulů.

Obrázek 40: Hliníkové profily připevněné k ocelové konstrukci



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Fotovoltaické moduly jsou zasouvány do hliníkových profilů po směru sklonu konstrukce a vzhledem k tomu, že je konstrukce vždy skloněná pod určitým úhlem, moduly by se bez zajištění z profilů vysunuly. Bylo proto nutné vytvořit ukončovací zajišťovací prvek „záslepku“ viz obrázek 41, která se přišroubuje pomocí samořezných šroubů na konec hliníkového profilu a zajistí, aby se fotovoltaické moduly z profilu nevysunuly.

Obrázek 41: Namontovaná záslepka



Zdroj: autor

Testování únosnosti záslepky

Každá záslepka drží vždy osm fotovoltaických modulů (z každé strany čtyři) a každá čtveřice modulů je zasunuta do dvou hliníkových profilů, tudíž je zajištěna vždy dvěma záslepkami. Fotovoltaické moduly o rozměrech 1650×992×35 mm váží přibližně od 18 do 20 kg. Konstrukce je vždy skloněna pod úhlem menším než 90°, tudíž moduly nikdy svou celkovou hmotností nepůsobí přímo na záslepku, ale jejich hmotnost je rozložena i na hliníkové profily. Navíc ve styčných plochách mezi hliníkovým profilem a rámem fotovoltaického modulu, které je také z hliníku vzniká tření, které silové účinky působící na záslepku snižuje.

Únosnost záslepky byla testována v laboratořích České zemědělské univerzity v Praze. Při testování únosnosti záslepky v rámci bezpečnosti byla vypočtena hodnota zatížení, kterou záslepka musí vydržet, aniž by došlo k její výrazné deformaci, nebo vytržení šroubů. Mezní hodnota byla stanovena na 800 N. Zatížení 800 N odpovídá 90° sklonu konstrukce bez započítání tření. Tudíž je tato hodnota za maximální možnou mezí, která může v reálném případě nastat, protože sklon konstrukce nebude nikdy dosahovat 90° a vždy bude mezi rámem

modulu a hliníkovým profilem působit tření, které snižuje výsledné zatížení působící na záslepku. Hodnota 800 N byla stanovena následovně.

Každý hliníkový profil bude ukončen záslepkou a bude v něm zasunuta z každé strany čtveřice modulů. Pokud každý fotovoltaický modul bude vážit 20 kg, byla by výsledná síla působící na záslepku při 90° sklonu konstrukce bez započítání tření rovna 1 600 N. Jelikož je každá čtveřice modulů zajištěna dvěma záslepkami bylo by zatížení působící na jednu záslepku poloviční, tedy 800 N. Tyto hodnoty odpovídají výpočtu při použití gravitačního zrychlení zaokrouhleného na $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Pro testování únosnosti záslepky byl vytvořen speciální přípravek, do kterého byl upnut vzorek hliníkového profilu s připevněnou testovanou záslepkou. Na obrázku 42 a 43 je zobrazen přípravek s hliníkovým profilem a testovanou záslepkou upnutý ve stroji pro tahové zkoušky.

Obrázek 42: Přípravek pro testování záslepky (1) Obrázek 43: Přípravek pro testování záslepky (2)



Zdroj: autor



Zdroj: autor

Testované záslepky vyrobené z hliníku v několika tloušťkách byly k zásuvnému profilu přišroubovány pomocí samořezných šroubů. Takto vytvořené testovací vzorky byly testovány strojem Instron pro tahové zkoušky. Celkem byly testovány záslepky o třech různých tloušťkách (od každé jeden vzorek). K testování pouze jednoho vzorku od každé tloušťky bylo

přístupeno na základě dosažených výsledků během měření, kdy nedošlo ani u jednoho vzorku k poškození či výraznému ohnutí při dosažení hodnoty zatížení překračující stanovenou mezní hodnotu. Cílem měření bylo zjistit, jestli vlivem zatížení nedojde k významnému ohnutí záslepky a jejímu poškození, případně k vytržení šroubů. V následující tabulce 1 jsou vypsány jednotlivé tloušťky testovaných záslepek a dosažené hodnoty zatížení a ohnutí během testování.

Tabulka 1: Testování záslepky

Tloušťka záslepky [mm]	Zatížení [N]	Ohyb [mm]	Zatížení [N]	Ohyb [mm]
2	800	3,2	1 900	4,3
2,5	800	1,9	1 900	2,9
3	800	0,94	1 900	1,9

Zdroj: autor

Stanovená kritická hodnota zatížení 800 N během testování záslepky byla více než dvojnásobně překročena. Maximální hodnota zatížení, které byla během měření záslepka vystavena dosáhla 1 900 N a ani při této hodnotě nedošlo ke zničení nebo výraznému ohnutí a poškození záslepky. Hodnota ohybu byla měřena v místě, kde část přípravku simulující stykovou plochu modulu a záslepky byla nejbližší k šroubům držícím záslepku. Na základě výsledků měření tedy lze říct že, by bylo možné použít všechny tloušťky záslepek. Pro reálné použití byla však vybrána záslepka o tloušťce 2,5 mm, z důvodů dosažení přijatelné hodnoty ohybu s ohledem na náklady na její výrobu. Na obrázku 44 je vidět ohnutí záslepky o tloušťce 2 mm při maximálním zatížení 1 900 N.

Obrázek 44: Ohnutí záslepky



Zdroj: autor

Uchycení hliníkových profilů k vaznicím

Připojení hliníkových profilů k vaznicím je provedeno bez dodatečného vrtání pomocí „klemy“, šroubu a dvou matic. Hliníkový profil je tvarován tak, že v jeho spodní části je drážka, do které se zasune čtyřhranná matice, ve které je zašroubován šroub a ten se dotáhne tak, aby se jeho konec dotýkal hliníkového profilu. Na šroub se nasadí klema a zajistí se dotažením druhé matice. Na obrázku 45, je znázorněno uchycení hliníkového profilu k vaznici. Vaznice je tvarována tak aby bylo možné za její okraj zachytit klemu, pomocí které se připevní hliníkový profil. Takto je každý profil připevněn ke spodní i horní vaznici.

Obrázek 45: Uchycení hliníkového profilu k vaznici



Zdroj: autor

Upevnění fotovoltaických modulů

Původně byly fotovoltaické moduly připevňovány bodově pomocí úchytek. Toto řešení bylo jednak z hlediska nutnosti použití spojovacího materiálu, tak z hlediska časové náročnosti na montáž příliš náročné a pracné. Systém zásuvných hliníkových profilů, do kterých jsou moduly zasouvány tak, jak bylo popsáno výše, představuje úsporu materiálu, (množství a použitých druhů) i času potřebného na montáž.

Na obrázcích 46 až 48 je zachycena finální podoba inovované konstrukce.

Obrázek 47: Finální podoba konstrukce (1)



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Obrázek 46: Finální podoba konstrukce (2)



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

Obrázek 48: Finální podoba konstrukce (3)



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY

4.3 Porovnání nákladů na materiál a časové náročnosti montáže původní a inovované konstrukce

K posouzení naplnění požadovaných cílů inovace, tedy snížení nákladů a času potřebného na výstavbu bylo nutno ověřit, jestli inovovaná konstrukce splňuje tyto parametry a je tedy výhodnější než konstrukce původní. Pro oba typy konstrukcí byly proto zpracovány statické výpočty se stejnými výchozími podmínkami. Jako výchozí podmínky byly stanoveny takové, které reálně panují na území Maďarska, kde v současné době dochází k výrazné

výstavbě solárních fotovoltaických elektráren a je tedy cílovým trhem pro společnost pro kterou byla inovace prováděna.

Výchozí podmínky byly stanoveny následovně:

- Typ konstrukce: 4H (4 panely nad sebou orientovány horizontálně)
- Sklon konstrukce: 25°
- Rychlost větru: 23,6 m.s⁻¹
- Zatížení sněhem: 1,25 kN/m²
- Modul: 1650×992×35 mm, hmotnost 18,6 kg

V následující tabulce 2 je zobrazeno porovnání základních výsledků výpočtů statiky udávající maximální možné rozestupy mezi jednotlivými vruty v podélném směru potřebné k navržení typového stolu původní a inovované konstrukce.

Tabulka 2: Podélné rozteče mezi vruty

	Původní konstrukce	Inovovaná konstrukce
Podélné rozteče mezi vruty pro vnitřní stoly [m]	3,1	4,5
Podélné rozteče mezi vruty pro vnější stoly [m]	2,4	3,2

Zdroj: Interní dokumentace firmy XY (vlastní zpracování)

Z výsledků je patrné významné zvětšení roztečí mezi vruty v podélném směru. Dalším krokem je porovnání nákladů na materiál, který je potřebný pro výstavku každé z konstrukcí. Jako reprezentativní vzorek byl vybrán typový stůl o celkovém počtu 92 fotovoltaických modulů. Při horizontálním uložení čtyř modulů nad sebou se jedná o 23 sloupců modulů.

V následující tabulce 3 jsou rozepsány jednotlivé díly a jejich ceny, potřebné pro výstavbu tohoto jednoho vnitřního stolu u původní konstrukce a v tabulce 4 u inovované konstrukce. Reálné nákupní, tedy nákladové ceny nelze zveřejnit, proto jsou vynásobeny určitým koeficientem a takto upravené ceny zapsány v následujících tabulkách.

Tabulka 3: Materiál pro původní konstrukci

Materiál pro původní konstrukci – stůl 4 panely horizontálně, 23 sloupců				
Název dílu	Norma	Počet kusů	Cena za kus [Kč]	Celková cena [Kč]
Hliníkový profil (délka 6 433 mm)		30	1 095	32 850
Spojka pro hliníkové profily (jekl)		25	41	1 025
Krokev (délka 3 800 mm)		14	685	9 590
Vzpěra Ø 60,3 (délka 2023 mm)		14	395	5 530
Stojina přední Ø 60,3 (délka 944 mm)		14	210	2 940
Stojina zadní Ø 60,3 (délka 2048 mm)		14	457	6 398
Objímka		14	97	1 358
Klema		140	10	1 400
Plocháč 4H-M8		70	33	2 310
Šroub M8x30	DIN 912	326	4	1 304
Matice M12	DIN 6923	56	4	224
Šroub M12x90	DIN 931	42	13	546
Šroub M12x35	DIN 933	14	5	70
Podložka 13	DIN 125	56	1	56
Tex 6,3x19	DIN 7504 K	100	1	100
Středová úchytko pro FV modul		182	7	1 274
Krajová úchytko pro FV modul		4	7	28
Podložka 8 pružná	DIN 7980	326	3	978
Matice čtyřhranná M8		186	6	1 116
Zemní vrut 76x1250		14	533	7 462
Zemní vrut 76x1550		14	605	8 470
Šroub M16x35	DIN 914	84	19	1 596
Celková cena				86 625 Kč

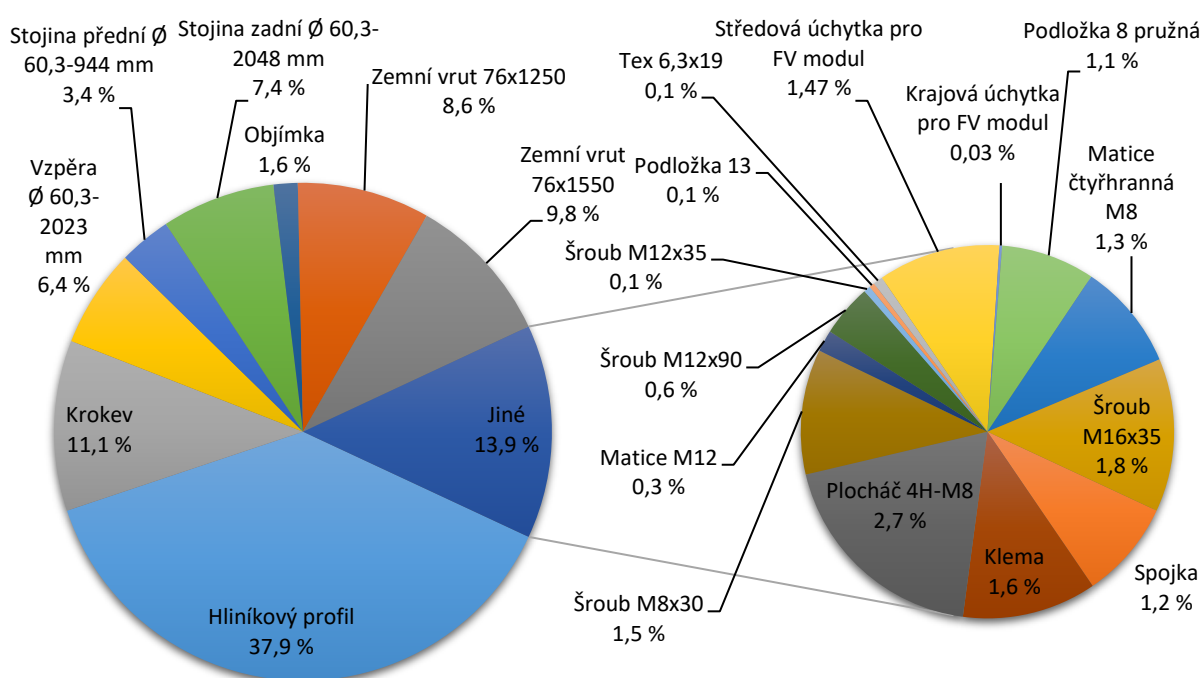
Zdroj: Interní dokumentace firmy XY (vlastní zpracování)

Výsledná cena pro jeden typový stůl na původní nosné konstrukci je 86 625 Kč. Při vytváření cenových nabídek pro klienty se většinou uvádí cena na 1 kWp. Celkový výkon elektrárny může dosahovat až stovek MWp. Pokud by měl jeden fotovoltaický modul výkon 285 Wp, a jeden stůl bude obsahovat 92 FV modulů, celkový výkon bude 26,22 kWp. Pokud tedy vydělíme celkovou cenu daného stolu celkovým výkonem na něm instalovaných modulů v kWp, získáme cenu na 1 kWp. V tomto případě vychází cena po zaokrouhlení na celé koruny na 3 304 Kč/kWp.

V následujícím grafu 2 (z důvodů zpřehlednění grafu je uveden u položek vždy zkrácený název) je zobrazeno procentuální cenové zastoupení jednotlivých dílů na celkové ceně původní konstrukce pro jeden stůl.

Největší podíl a to 37,9% (32 850 Kč) na celkové ceně mají hliníkové profily, které také tvoří nejdražší položku ze všech použitých dílů. Následují zemní vruty, které dohromady představují 18,4% podíl na celkové ceně. Významnou část tvoří spojovací materiál, úchytky a spojky s 13,9% podílem, který je v hlavní části grafu označen jako „Jiné“ a ve vedlejší části jsou rozepsány jednotlivé díly. Dále pak následují kroky s 11,1% podílem (9 590 Kč).

Graf 2: Procentuální cenové zastoupení jednotlivých dílů na celkové ceně původní konstrukce



Zdroj: Interní dokumentace firmy XY (vlastní zpracování)

V následující tabulce 4 je rozepsán společně s cenami materiál pro jeden typový stůl na nové konstrukci. V příloze II. jsou výkresy sestavy a jednotlivých dílů konstrukce. Z důvodů zachování výrobního tajemství jsou uvedeny pouze základní kóty a není uvedeno měřítko výkresu. Pro stojiny, vzpěry a vaznice, které jsou vždy stejné a mění se u nich pouze délka je vždy přiložen pouze jeden výkres.

Tabulka 4: Materiál pro novou konstrukci

Materiál pro novou konstrukci – stůl 4 panely horizontálně, 23 sloupců				
Název dílu	Norma	Počet kusů	Cena za kus [Kč]	Celková cena [Kč]
Hliníková profil zasunovací (délka 3 983 mm)		24	516	12 384
Vaznice (délka 10 150 mm)		4	3 056	12 224
Vaznice (délka 9 000 mm)		4	2 710	10 840
Vzpěra vrchní Ø 42,4 (délka 2018 mm)		9	313	2 817
Vzpěra spodní Ø 42,4 (délka 1852 mm)		9	288	2 592
Stojina přední Ø 60,3 (délka 1076 mm)		6	240	1 440
Stojina zadní Ø 60,3 (délka 2045 mm)		6	457	2 742
Stojina přední – plotna Ø 60,3 (délka 1076 mm)		3	322	966
Stojina zadní – plotna Ø 60,3 (délka 2045 mm)		3	539	1 617
Objímka		9	97	873
Záslepka		48	17	816
Držák vzpěry		9	59	531
Klema		48	14	672
Šroub M10x60	DIN 913	48	10	480
Matice M10	DIN 934	48	2	96
Šroub M12x90	DIN 931	33	13	429
Šroub M12x35	DIN 933	42	5	210
Matice M12	DIN 6923	75	4	300
Podložka 13	DIN 135	75	1	75
Podložka 10 pružná	DIN 127	48	2	96
Samořezný šroub 6,3x19	ISO 14585	96	3	288
Čtyřhranná matice M10		48	15	720
Zemní vrut 76x1250		9	533	4 797
Zemní vrut 76x1550		9	605	5 445
Šroub M16x30	DIN 914	54	19	1 026
Celková cena				64 476 Kč

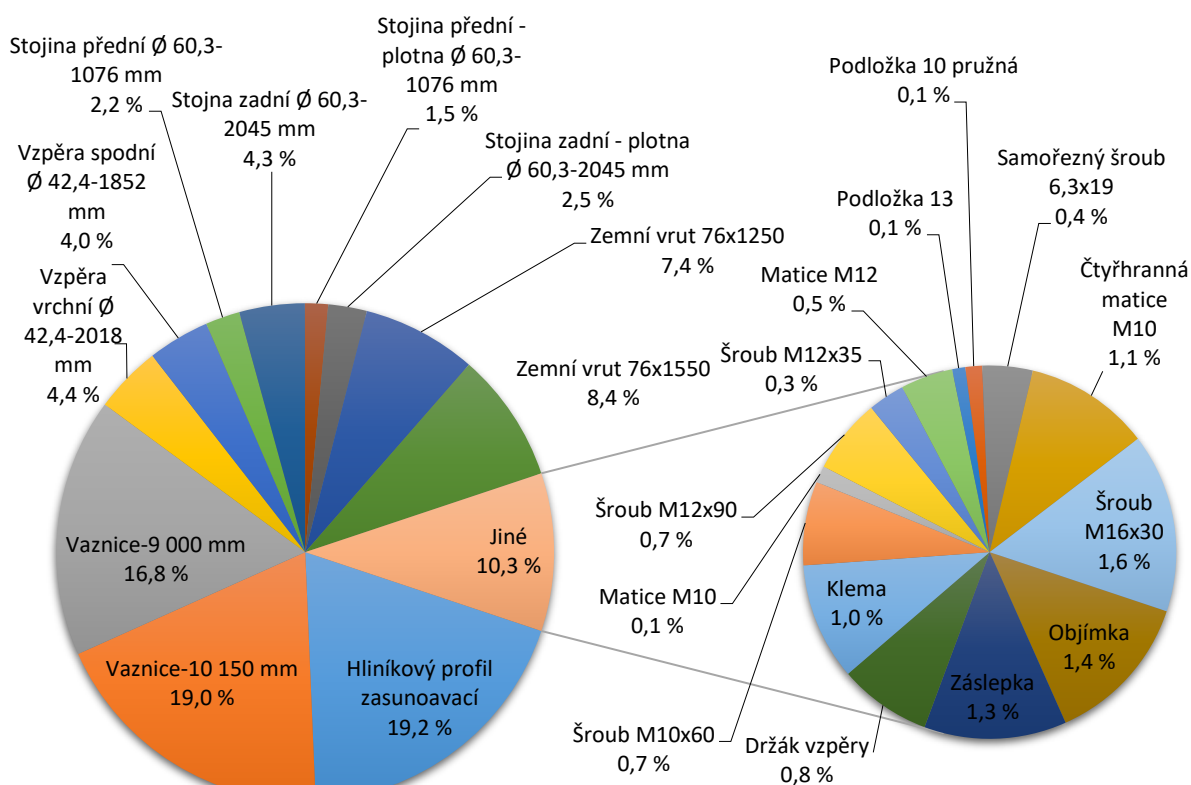
Zdroj: autor

Výsledná cena pro jeden stůl na inovované nosné konstrukci je 64 476 Kč, což je výrazné snížení ceny o více než 22 tisíc korun proti ceně původní konstrukce. Abychom mohli porovnat cenu na kWp budeme i v tomto případě počítat s výkonem 285 Wp každého FV

modulu, a jeden stůl opět obsahuje 92 FV modulů. Celkový výkon tedy bude 26,22 kWp. V tomto případě pak při stejném celkovém výkonu jednoho stolu dosahující 26,22 kWp, je výsledná cena 2 459 Kč/kWp, která představuje o 25 % nižší náklad na kWp.

V grafu 3 je znázorněno procentuální cenové zastoupení jednotlivých dílů na celkové ceně pro stůl na inovované konstrukci. Největší podíl na celkové ceně materiálu nyní tvoří ocelové vaznice se souhrnným podílem obou délek 35,8 %. Podíl hliníkových profilů se zde snížil na 19,2% podíl, což je méně než u původní konstrukce, kde měly hliníkové profily 37% podíl na ceně. Cena za hliníkové profily se zde snížila z 32 850 Kč na 12 384 Kč, ale přibýly vaznice, které v součtu s novými hliníkovými profily v podstatě překonají cenu původních hliníkových profilů. Na druhou stranu byly eliminovány krokve, který předtím tvořily významnou položku v ceně 9 590 Kč, a snížil sem počet vrtů a stojin což přispělo k výraznému zlevnění celé inovované konstrukce.

Graf 3: Procentuální cenové zastoupení jednotlivých dílů na celkové ceně inovované konstrukce



Zdroj: autor

Porovnáním nákladů na materiál pro typový stůl na původní a nové konstrukci bylo zjištěno, že došlo celkovému zlevnění o 22 149 Kč na jeden stůl. Cena na kWp klesla z 3 304 Kč/kWp o 845 Kč na 2 459 Kč/kWp, tedy se snížila o 25 %.

4.3.1 Časová náročnost výstavby

Časová náročnost výstavby je dalším faktorem významně ovlivňující náklady. Váže na sebe potřebu pracovní síly a tím i peněžní prostředky. Časová náročnost zahrnuje dobu potřebnou pro zavrtání zemních vrutů, sestavení nosné konstrukce a montáž fotovoltaických panelů. Doba potřebná pro zavrtání vrutů záleží na dané lokalitě, kde je fotovoltaická elektrárna instalována. Tato doba je ovlivněna především členitostí terénu a strukturou podloží. Jestliže je podloží skalnaté, kamenité, nebo se v něm vyskytují například kořeny může se doba zavrtávání prodloužit až na dvojnásobek proti podloží, kde se tyto překážky nevyskytují. Prodloužení vyplývá především z nutnosti předvrtávat díry pro zemní vruty. Z toho také vyplývá, že při zvětšené rozteči mezi jednotlivými dvojicemi zemních vrutů a tím snížení potřebného množství vrutů pro novou konstrukci proti řešení původní konstrukce bude časová úspora na jejich zavrtání narůstat úměrně náročnosti podloží dané lokality. Ve většině případů podloží tyto překážky neobsahuje.

Výstavbu vždy provádí více pracovníků. Nejčastěji se jedná o týmy čtyř až pěti pracovníků. Podle velikosti projektu může současně pracovat i několik týmů. Bylo provedeno měření času potřebného na výstavbu vždy tří výše zmíněných stolů s 92 moduly na původní a na inovované konstrukci. Měření probíhalo ve standartních půdních podmínkách, nebylo potřeba předvrtávat díry pro zemní vruty a výstavbu obou typů konstrukcí prováděla stejná pětice pracovníků. Zavrtávání zemních vrutů provádí vždy jeden pracovník, zbývající pracovníci mezitím rozvázejí a připravují materiál po staveništi, tudíž do času pro zavrtávání je započítán i čas na přípravu materiálu. V následujících tabulkách 5 a 6 jsou znázorněny časy potřebné pro výstavbu jednoho stolu včetně montáže FV modulů na původní a na nové konstrukci.

Tabulka 5: Časová náročnost výstavby jednoho stolu na původní konstrukci

Časová náročnost výstavby jednoho stolu na původní konstrukci týmem pěti pracovníků [min]			
Číslo měření	1	2	3
Zavrtávání vrutů	105	110	107
Montáž nosné konstrukce	223	230	226
Montáž fotovoltaických panelů	116	112	120
Celkem	444	452	453
Průměrná doba montáže	450 min		

Zdroj: autor

Tabulka 6: Časová náročnost výstavby jednoho stolu na nové konstrukci

Časová náročnost výstavby jednoho stolu na nové konstrukci týmem pěti pracovníků [min]			
Číslo měření	1	2	3
Zavrtávání vrtů	66	68	63
Montáž nosné konstrukce	175	168	170
Montáž fotovoltaických panelů	62	58	64
Celkem	303	294	297
Průměrná doba montáže	298 min		

Zdroj: autor

Z výsledných časů potřebných pro montáž jednotlivých konstrukcí jsou patrné výrazné rozdíly. Montáž stolu s 92 FV moduly na původní konstrukci trvá pěti pracovníkům průměrně 450 minut, montáž inovované konstrukce trvá v průměru 298 minut. Rozdíl je tedy 152 minut. Montáž inovované konstrukce je tedy téměř o 34% rychlejší.

Všechny sledované montážní postupy byly u nové konstrukce dokončeny za kratší dobu než u původní konstrukce. Čas potřebný pro zavrtávání vrtů se u nové konstrukce snížil díky menšímu množství použitých vrtů. U původní konstrukce jich bylo potřeba celkem 28 a u inovované pouze 18. Čas na zavrtání jednoho vrtu zůstal stejný. Výrazně se však zkrátila také montáž nosné konstrukce i montáž fotovoltaických panelů. Zrychlení montáže nosné konstrukce je dáno především jejím zjednodušením. Byly vypuštěny krokve a podélné hliníkové profily nahrazeny snadněji montovatelnými ocelovými vaznicemi, na které se jednoduše nasadí hliníkové profily připevněné pomocí klemy. Montáž fotovoltaických panelů se zkrátila díky přechodu na zasunovací hliníkové profily. Na rozdíl od původního řešení, kdy se panely připevňovaly pomocí řady úchytek, což bylo značně časově i fyzicky náročné. Nově se panely do profilů pouze zasunou a zajistí záslepkou. V souvislosti se zkrácením doby výstavby dojde ke snížení celkových nákladů jak na pracovníky, tak na pronájem strojů potřebných k výstavbě. Rozdíl v celkové délce montáže je 152 minut. Montáž inovované konstrukce je tedy téměř o 34% rychlejší a lze konstatovat i levnější, což se odrazí v celkové prodejní ceně konstrukce.

4.4 Ekonomické zhodnocení

V rámci ekonomického zhodnocení jsou shrnuty a porovnány náklady potřebné na pořízení a výstavbu původní a inovované konstrukce a náklady vynaložené na inovaci.

Jak vyplývá z předešlých výsledků vývoje, výpočtů a měření, došlo díky inovaci k výraznému poklesu jak nákladů na materiál, tak nákladů montáž. Pořizovací náklady na materiál pro původní konstrukci jednoho typového vnitřního stolu o 92 fotovoltaických modulech byly 86 625 Kč. Pořizovací náklady na materiál pro inovovanou konstrukci stejného stolu také s počtem 92 fotovoltaických modulů jsou 64 476 Kč. Pokles oproti původní konstrukci je tedy o 22 149 Kč, tedy 25 %. Celkové náklady zahrnují kromě nákladů na materiál také náklady na výstavbu.

Porovnání nákladů na výstavbu nové a stávající konstrukce je tedy třeba do ekonomického zhodnocení také zahrnout. Náklady na výstavbu se odvíjí od času, který výstavba zabere. I v tomto případě došlo inovací konstrukce k výraznému zkrácení doby výstavby. Výstavba jednoho typového stolu na původní konstrukci trvala v průměru 450 minut (7 hodin a 30 minut) včetně montáže fotovoltaických modulů. U inovované konstrukce se celkový průměrný čas zkrátil na 298 minut (4 hodiny a 58 minut), což znamená zkrácení o 152 minut (2 hodiny a 32 minut). Pokud vezmeme v úvahu, že hrubá hodinová mzda pracovníka provádějícího montáž je 160 Kč, vynásobíme ji počtem pracovníků (v tomto případě 5) a to celé vynásobíme ušetřeným časem (152 minut) při výstavbě stolu na inovované konstrukci, dostaneme po zaokrouhlení 2 027 Kč. To znamená, že na výstavbě každého stolu na inovované konstrukci ušetříme oproti původnímu řešení 2 027 Kč. Celkově se náklady na výstavbu každého typového inovovaného stolu snížily o 24 176 Kč (materiál + montáž). Nejsou zde započítávány náklady na pronájem strojů, protože ty se liší vždy od země a lokality kde je prováděna výstavba. Lze dovodit že zkrácením celkové doby potřebné pro montáž o 34 % dojde i ke snížení nákladů na pronájem strojů o podobné procento, tedy zhruba o 30 %. Také náklady na dopravu budou nižší, protože se bude přepravovat menší objem materiálu. Stejně jako u pronájmu strojů zde tyto náklady nejsou kalkulovány.

4.4.1 Náklady na provedení inovace

Náklady na provedení inovace se skládaly především z nákladů potřebných na vývoj nové konstrukce spočívající v provedení odborného výpočtu statiky navržené konstrukce a nákladů na materiál na stavbu prototypu konstrukce. Dále pořizovací náklady na výrobu matrice potřebnou pro extruzi hliníkových profilů. V následující tabulce 7 jsou přehledně

shrnuty jednotlivé náklady. Jako prototyp byl vyroben jeden stůl se sklonem 25° pro 23 sloupců FV panelů, ke kterému jsou výše popsány jednotlivé položky včetně cen. Do režijních nákladů jsou započítány především náklady spojené s cestami na jednání se statikem, dodavateli a výrobcí dílů pro konstrukci. Nejsou zde zahrnuty náklady na montáž inovované konstrukce, včetně pronájmu strojů, a dopravy původní a inovované konstrukce, vzhledem k tomu, že měření časové náročnosti výstavby probíhaly v rámci prováděné zakázky.

Tabulka 7: Náklady na inovaci

Název	Náklady [Kč]
Výpočet statiky navržené konstrukce	18 000
Výroba matrice pro extruzi hliníkových profilů	150 000
Náklady na výrobu materiálu pro prototyp konstrukce	64 476
Režijní náklady	8 000
Náklady na výrobu přípravku pro testování záslepky, včetně testovaných vzorků	1 500
Celkové náklady	241 976 Kč

Zdroj: autor

Celkové náklady na provedení inovace konstrukce dosahují 241 976 Kč. V následujícím výpočtu je znázorněn bod zvratu, který nám říká kolik by bylo potřeba prodat výše zmíněných inovovaných stolů, pokud by marže na prodeji jednoho stolu dělala 10 % z nákupní ceny, aby došlo k návratnosti investované částky a generování zisku. Fixní náklady jsou tedy 241 976 Kč, prodejní cena jednoho stolu je 70 924 Kč (zaokrouhлено na celé koruny), variabilní náklady 64 476 Kč. Do tohoto výpočtu nejsou zahrnuty náklady na výstavbu z důvodu možnosti rozdílného času výstavby v závislosti na pracovnících, kteří budou výstavbu provádět tudíž se tato doba může měnit.

Vzorec pro výpočet bodu zvratu

$$Q_{BZ} = \frac{FC}{P - VC}$$

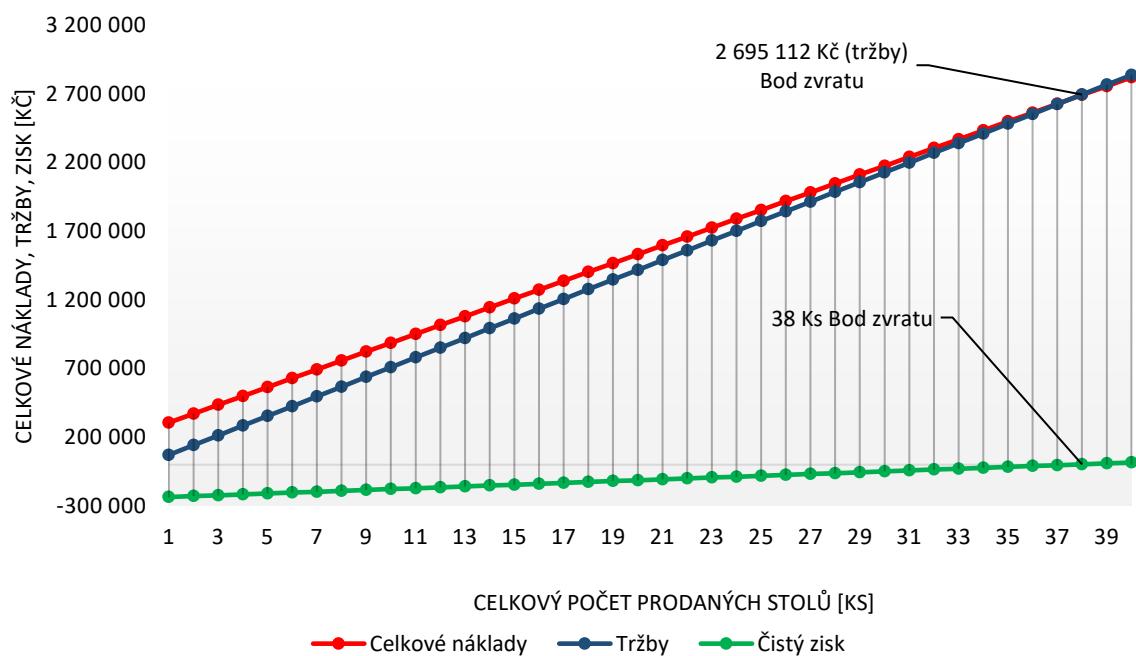
Kde: Q_{BZ} – bod zvratu [ks]
 FC – fixní náklady [Kč]
 P – prodejní cena produktu [Kč]
 VC – variabilní náklady [Kč]

$$Q_{BZ} = \frac{241\,976}{70\,924 - 64\,476}$$

$$\underline{Q_{BZ} = 37,53 \doteq 38 \text{ kusů}}$$

Z výpočtu vyplývá, že bod zvratu a tím navrácení investice je dosaženo po prodeji 38 kusů typových vnitřních stolů. V následujícím grafu 4 je zobrazen bod zvratu.

Graf 4: Bod zvratu



Zdroj: autor

5 Diskuse výsledků

V rámci řešení problematiky fotovoltaických elektráren byl proveden návrh inovace konstrukce pro pozemní fotovoltaické elektrárny a její následná realizace. Tato část diplomové práce formuluje především hlavní výhody a nevýhody původní a inovované konstrukce, doplněné o výsledky z provedených měření, testování a ověřování funkčnosti záslepky i konstrukce jako celku. Ze zjištěných dat jsou zformulovány výsledky ekonomického zhodnocení.

Z hlediska hodnocení výhod a nevýhod původní konstrukce, lze za hlavní výhodou označit její univerzálnost, spočívající v možnosti použití pro téměř libovolný sklon v závislosti na lokalitě budoucí elektrárny. Nevýhody původní konstrukce lze hledat především v celé koncepci řešení. Původní konstrukční řešení vyžaduje velké nároky na použitý materiál jak z cenového hlediska, tak z hlediska nároků na použité materiály. Relativně malá únosnost použitých hliníkových profilů, ke kterým jsou připevněny fotovoltaické moduly způsobuje nutnost vyššího počtu příčných nosných profilů. Zemní vruty je proto nezbytné umísťovat v podélném směru blíže k sobě. S tím také souvisí větší pracnost při montáži a výstavbě fotovoltaické elektrárny. Všechny výše uvedené faktory se významně promítají do ceny konstrukce a její konkurenceschopnosti na trhu fotovoltaických elektráren.

Nově navržená konstrukce řeší především problém nahrazením podélných hliníkových profilů a jejich malé únosnosti. Tyto profily jsou nahrazeny dvěma ocelovými profily (vaznicemi) s vyšší únosností a s nižší cenou použitého materiálu. Na vaznice se příčně upevňují hliníkové profily, do kterých se zasouvají fotovoltaické moduly. Výhodou této inovované konstrukce je vyšší únosnost ocelových profilů, tím pádem lze umísťovat zemní vruty v podélném směru ve větších rozstupech a použít jich tak pro stejný stůl méně než bylo potřeba u původní konstrukce. Klesla také pracnost montáže i celkový čas potřebný pro výstavbu stejného výkonu fotovoltaické elektrárny. Výsledkem je významné snížení nákladů na inovovanou konstrukci, které se pohybuje kolem 25 % proti původnímu řešení.

Stejně jako původní řešení, má i tato inovovaná své nevýhody. Problematickým bodem je omezené rozmezí sklonu modulů, pro který lze toto konstrukční řešení použít. Je to dáno omezeními v únosnosti ocelových vaznic, jejichž tvar udává sklon celé konstrukce. Tento tvar vaznic je možné vyrobit ve sklonu od 15° do 40°. Ve střední a jižní Evropě tento rozsah pro běžné aplikace bohatě postačuje. Problém nastává pouze při aplikaci v severní Evropě. Například ve Skandinávii, kde se ideální sklon pohybuje od 40 do 50°. Tento problém je

řešitelný přepracováním, respektive nahrazením ocelových vaznic, jejich jiným typem. Vyrobit tento typ se sklonem 40° a více není problém, ale ze statického hlediska by ztratil vlastnosti a výhody pro které byl použit do nové koncepce.

Ekonomický přínos inovace řešení konstrukce fotovoltaické elektrárny je hlavním hodnotícím kritériem splnění výchozích požadavků. Lze konstatovat, že stanovené požadavky byly splněny. Inovací bylo dosaženo výrazného zlevnění konstrukce, o 22 149 Kč oproti původní konstrukci pro výstavbu výchozího stolu. Je to dáno především nižší potřebou materiálu a také zkrácením potřebného času na výstavbu. Díky tomu došlo ke zhruba třiceti procentnímu snížení celkových nákladů. Inovovaný produkt tak získá významnou konkurenční výhodu na trhu fotovoltaických elektráren. Vynaložená investice do vývoje inovace by se na první pohled mohla zdát relativně vysoká, avšak jak nám ukazuje výpočet bodu zvratu, pokud bychom brali v úvahu, že na každém výchozím stole bude marže 10 % dojde k pokrytí vynaložených nákladů na inovaci již po prodeji 38 hodnocených typových stolů.

6 Závěr

Oblast fotovoltaiky má za sebou již určitou historii, jejíž počátky sahají do první poloviny devatenáctého století. Přesto však k jejímu výraznému vzestupu došlo až v posledních letech. Fotovoltaické články byly z počátku velice nákladné na výrobu a jejich účinnost byla relativně malá a dosahovala hodnot okolo 6 %. Kvůli těmto nedostatkům našly fotovoltaické články nejprve uplatnění ve vesmírné technice, kde se nehledělo příliš na cenu a používaly se pro zásobování satelitů elektrickou energií. Postupem let docházelo k jejich zdokonalování, zvyšování jejich účinnosti. Dnes běžně používané fotovoltaické články, respektive moduly dosahují účinnosti okolo 20 % a významně se rozšiřují oblasti jejich použití. Od aplikace v malých zařízeních, jako jsou kalkulačky a parkovací automaty přes malé systémy zásobující elektrickou energií rodinné domy až po obrovské fotovoltaické elektrárny, které jsou schopny zásobovat elektrickou energií celé firmy nebo ji dodávat do rozvodné sítě.

Solární fotovoltaické systémy lze rozdělit na tři základní oblasti využití. První oblastí je využití v malých většinou mobilních zařízeních, dále pak solární fotovoltaické systémy instalované na střeších budov a následně pozemní solární fotovoltaické systémy. Lze konstatovat že, všechny tři oblasti zažívají v poslední době dynamický růst. Systémy instalované na střeších budov a pozemní aplikace nabírají na významu nejvíce. Je to způsobeno především zvyšující se celosvětovou spotřebou elektrické energie. Právě pozemním solárním systémům byla v této práci věnována pozornost v souvislosti s provedením inovace konstrukce pro tyto systémy. Inovace probíhala na základě požadavků firmy zabývající se výstavbou konstrukcí pro pozemní fotovoltaické elektrárny. V první fázi inovace byla charakterizována výchozí situace a popsána původní konstrukce společně s jejími výhodami a nevýhodami. Hlavní výhodou původní konstrukce byla její univerzálnost, ve smyslu možného použití pro různé sklony konstrukce na základě lokality budované elektrárny. Nevýhodou, a tedy i důvodem pro provedení inovace byla její vysoká cena, zapříčiněná malou únosností podélně umístěvaných hliníkových profilů nesoucí fotovoltaické moduly. Na základě konzultací se statikem byly podélné hliníkové profily nahrazeny pevnějšími ocelovými vaznicemi, které spojují v podélném směru jednotlivé vruty, respektive stojiny. Díky tomu je nyní možné v podélném směru použít větší rozestupy mezi jednotlivými vruty a tím ušetřit materiál. K původním hliníkovým profilům se fotovoltaické moduly připevňovaly pomocí speciálních úchytek. Toto řešení bylo náročné jak na montáž, tak také na potřebu materiálu. Na základě těchto skutečností byly původní hliníkové profily nahrazeny zasouvacími hliníkovými profily. Jejich hlavní výhoda spočívá v tom, že jsou no nich fotovoltaické moduly zasouvány

a nejsou tedy potřeba žádné dodatečné úchytky k jejich připevnění. Jediný prvek, který je k jejich zajištění v zasouvacích profilech potřeba je takzvaná záslepka, která se přišroubuje vždy na konce hliníkových profilů tak aby z nich nemohly fotovoltaické moduly vypadnout. Únosnost záslepky byla testována v laboratořích České zemědělské univerzity v Praze. Na základě výsledků měření byla vybrána vhodná tloušťka záslepky, která zaručí že budou fotovoltaické moduly spolehlivě držet v hliníkových profilech. Díky přechodu na zasouvací hliníkové profily se také značně zkrátil čas montáže celé konstrukce což se pozitivně odrazilo na celkové prodejní ceně, která zahrnuje materiál na konstrukci a čas potřebný pro její výstavbu.

V rámci ekonomického zhodnocení, byly porovnány náklady na materiál původní a inovované konstrukce. Výsledkem byl pokles nákladů na materiál na jeden stůl s 92 fotovoltaickými moduly se stejnými výchozími podmínkami o 22 149 Kč. Dále také díky snížení potřebného času na výstavbu došlo k poklesu nákladů na práci a stroje potřebné k výstavbě. Takto inovovaná konstrukce a výpočty ověřená a schválená statikem byla zařazena do nabídky firmy pro kterou byla tato inovace zpracovávána. Díky snížení nákladů byl získán projekt na výstavbu elektrárny v Maďarsku o celkovém výkonu 1,3 MWp, který byl realizován na inovované konstrukci. A další projekty jsou ve fázi příprav.

Lze tedy říct, že inovovaná konstrukce je provozuschopná, avšak jak bylo výše v praktické části popsáno i tato konstrukce má své nevýhody spočívající v omezení použitelných sklonů konstrukce od 15° do 40°. Do budoucna bude vhodné zaměřit se na vyřešení tohoto problému. Rozšíří se tak možnosti ucházet se o zakázky na výstavbu elektráren, které vyžadují jiný sklon, než který je pro tuto konstrukci v současnosti přípustný. Jako možné řešení by se dalo uvažovat o nahrazení ocelových vaznic jiným tvarem profilu, který bude mít požadované mechanické vlastnosti a bude umožňovat použití v širším spektru sklonu, než jak je tomu u dosavadního profilu. Zachování využití ostatních dílů nové konstrukce, především zásuvné hliníkové profily, by tedy bylo při případných následných úpravách vhodné ponechat.

7 Seznam literatury

- [1] HASELHUHN, RALF – MAULE, Petr. *Fotovoltaické systémy*. 1. vydání. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- [2] KHENKIN, M. V., et al. Consensus statement for stability assessment and reporting for perovskite photovoltaics based on ISOS procedures. *Nature Energy* [online]. 2020, **5**(1), 35–49. ISSN 2058-7546. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0529-5>
- [3] BECHNÍK, Bronislav. Stručná historie fotovoltaiky. *TBZ-info* [online]. 2014 [vid. 2020-02-14]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [4] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, Irena. *FUTURE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects A Global Energy Transformation paper About IRENA* [online]. 2019 [vid. 2020-02-14]. ISBN 978-92-9260-156-0. Dostupné z: www.irena.org/publications.
- [5] Data and Statistics - IRENA Resource. *International Renewable Energy Agency, Irena* [online]. 2020 [vid. 2020-02-14]. Dostupné z: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=16>
- [6] LIBRA, MARTIN – POULEK, Vladislav. *Fotovoltaika: Teorie i praxe využití solární energie*. 1. vydání. Praha: ILSA, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [7] Solar resource maps and GIS data for 200+ countries. *SOLARGIS* [online]. [vid. 2020-02-14]. Dostupné z: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/overview>
- [8] LADENER, HEINZ – SPÄTE, Frank. *Solární zařízení*. 1. vydání. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0362-9.
- [9] KALOGIROU, Soteris. *Mcevoy's Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. 3. vydání. San Diego: Academic Press, an imprint of Elsevier, 2018. ISBN 978-0-12-809921-6.
- [10] MURTINGER, K. – BERANOVSKÝ, J. – TOMEŠ, M. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. 1. vydání. Brno: ERA, 2007. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [11] LIBRA, M. – POULEK, V. Fotovoltaická transformace energie. *Elektro*. 2010, **20**(2),

14–17. ISSN 1210-0889.

- [12] ARMSTRONG, S. – HURLEY, W. G. A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2010, **30**(11–12), 1488–1495 [vid. 2020-03-20]. ISSN 13594311. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.03.012>
- [13] KUSALA, Jaroslav. *SOLÁRNÍ ENERGIE* [online]. 2006 [vid. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [14] Monocrystalline Solar Cell. *Dmsolar* [online]. [vid. 2020-02-15]. Dostupné z: <http://www.dmsolar.com/6mosoce.html>
- [15] Polycrystalline Solar Cell. *123RF* [online]. [vid. 2020-02-15]. Dostupné z: https://www.123rf.com/photo_27734440_polycrystalline-solar-cell-3x6-for-diy-solar-panel-isolated-on-white-background.html
- [16] LIBRA, MARTIN – POULEK, Vladislav. *Solární energie. 2., dopl.* V Praze: ČZU, 2006. ISBN 80-213-1488-5.
- [17] Installation Manual for LONGi Solar PV Modules. *Longi* [online]. [vid. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://fr.longi-solar.com/uploads/attach/20190726/5d3a92f97675d.pdf>
- [18] Panel fotovoltaický, Astronergy Stave CHSM6610P. *DEK* [online]. [vid. 2020-02-15]. Dostupné z: https://www.dek.cz/produkty/detail/8500615000-fve-panel-astronergy-stave-270w-chsm6610p?tab_id=hodnoceni
- [19] Solar Panel Construction. *Clean Energy Reviews* [online]. [vid. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>
- [20] Solar Panel Manufacturing. *SUNFUEL Technologies* [online]. [vid. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.sunfueltechnology.com/products/>
- [21] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií. 1. vydání.* Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [22] Solar Power System. *Bluesun* [online]. [vid. 2020-02-15]. Dostupné z: https://www.bluesunpv.com/solar-system_c8

- [23] MOTLÍK, JAN, et al. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*. 2. vydání. Praha: ČEZ, 2007. ISBN 978-80-239-8823-9.
- [24] MERTENS, Konrad. *Photovoltaics: fundamentals, technology and practice*. 1. vydání. Chichester, West Sussex, UK: Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-63416-5.
- [25] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [26] Process to install PV on your roof. *PV GreenCard* [online]. [vid. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.pvgreencard.co.za/customers/process-to-install-pv-on-your-roof/>
- [27] Hliníkový střešní hák. *Ecoproduct* [online]. [vid. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.ecoproduct.cz/solarni.panely/montazne.prislusenstvo/hlinikovy.stresni.hak.nastavitelny.100mm>
- [28] How is a solar system installed on a tile roof. *LG* [online]. [vid. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.lgenergy.com.au/faq/solar-panels/how-is-a-solar-system-installed-on-a-tile-roof>
- [29] Mounting systems for solar technology. *K2 Systems* [online]. [vid. 2020-02-18]. Dostupné z: https://www.fve-mp.cz/data/blob/product-application_pdf-20190320021023-9521-k2-pitched-roof-systems-en.pdf
- [30] Konstrukce pro FVE. *KRAJICzech* [online]. [vid. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.krajiczech.cz/content/6-konstrukce-pro-fve>
- [31] HABERLIN, Heinrich. *Photovoltaics: system design and practice*. 1. vydání. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2012. ISBN 978-1-119-99285-1.
- [32] Konstrukce pro rovné střechy - Konstrukce pro fotovoltaické panely. *SunWave* [online]. [vid. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.sunwave.cz/konstrukce/konstrukce-pro-rovne-strechy>
- [33] Are solar axis trackers worth the additional investment? *SolarReviews* [online]. [vid. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>

8 Seznam obrázků a grafů

Obrázek 1: Pohyb Země kolem Slunce.....	6
Obrázek 2: Dopadající sluneční energie podle regionů.....	7
Obrázek 3: Složení Slunečního záření	7
Obrázek 4: Konstrukce a způsob fungování FV článku	10
Obrázek 5: Monokrystalický křemíkový článek (pseudočtvercový tvar)	12
Obrázek 6: Polykrystalický křemíkový článek	13
Obrázek 7: Fotovoltaický modul se 60 články	14
Obrázek 8: Zapouzdření fotovoltaických článků.....	15
Obrázek 9: Rámování standardního FV modulu	16
Obrázek 10: Schéma ostrovního FV systému	17
Obrázek 11: Schéma FV systému připojeného k rozvodné síti.....	18
Obrázek 12: Upevnění fotovoltaických modulů na šikmou střechu	19
Obrázek 13: Uložení střešního háku	20
Obrázek 14: Kolejnicový systém.....	21
Obrázek 15: Bodové upnutí FV modulu.....	21
Obrázek 16: Konstrukce zatížená betonovými deskami.....	23
Obrázek 17: Trojúhelníková konstrukce se stavěcím zařízením	23
Obrázek 18: Stoly s FV umístěné v jednotlivých řadách	24
Obrázek 19: Betonové základy s nosnou konstrukcí pro FV panely	25
Obrázek 20: Šroubované základy s nosnou konstrukcí a FV panely.....	26
Obrázek 21: Dvouosý naváděcí systém	28
Obrázek 22: Výkres nosné konstrukce při pohledu z boku.....	31
Obrázek 23: Typ 4H.....	32
Obrázek 24: Typ 2V	32
Obrázek 25: Zemní vrut	33
Obrázek 26: Zavrtávací stroj	33
Obrázek 27: Nosná konstrukce z ocelových dílů	34
Obrázek 28: Uchycení hliníkového profilu shora	34
Obrázek 29: Uchycení hliníkového profilu ze spodu.....	34
Obrázek 30: Montáž hliníkových profilů	35
Obrázek 31: Středová úchytky	36
Obrázek 32: Krajiní úchytky	36

Obrázek 33: Finální podoba konstrukce s FV moduly	36
Obrázek 34: Ocelový profil (vaznice).....	38
Obrázek 35: Spojení vaznic pomocí stojiny.....	39
Obrázek 36: Uchycení vzpěr k přední stojině.....	40
Obrázek 37: Uchycení vzpěry k zadní stojině	40
Obrázek 38: Inovovaná konstrukce z ocelových dílů	41
Obrázek 39: Inovovaný hliníkový profil	42
Obrázek 40: Hliníkové profily připevněné k ocelové konstrukci	42
Obrázek 41: Namontovaná záslepka	43
Obrázek 42: Přípravek pro testování záslepky (1)	44
Obrázek 43: Přípravek pro testování záslepky (2)	44
Obrázek 44: Ohnutí záslepky	45
Obrázek 45: Uchycení hliníkového profilu k vaznici	46
Obrázek 47: Finální podoba konstrukce (2).....	47
Obrázek 46: Finální podoba konstrukce (1).....	47
Obrázek 48: Finální podoba konstrukce (3).....	47
Graf 1: Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren	5
Graf 2: Procentuální cenové zastoupení jednotlivých dílů na celkové ceně původní konstrukce.....	50
Graf 3: Procentuální cenové zastoupení jednotlivých dílů na celkové ceně inovované konstrukce.....	52
Graf 4: Bod zvratu	57

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Testování záslepky.....	45
Tabulka 2: Podélné rozteče mezi vruty.....	48
Tabulka 3: Materiál pro původní konstrukci.....	49
Tabulka 4: Materiál pro novou konstrukci	51
Tabulka 5: Časová náročnost výstavby jednoho stolu na původní konstrukci.....	53
Tabulka 6: Časová náročnost výstavby jednoho stolu na nové konstrukci.....	54
Tabulka 7: Náklady na inovaci	56

10 Seznam příloh

- I. 3D model konstrukce
- II. Výkresy sestavy a jednotlivých dílů konstrukce