ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301R013/19 Stavba výrobních strojů a zařízení

Bakalářská práce

Konstrukční návrh nastavovacího mechanismu pro fotovoltaické elektrárny

Autor bakalářské práce: Emil Černý

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D. – KKS

Akademický rok 2012/2013

Plzeň

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

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

V Plzni dne: ……. . . . . . .

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Černý	**Jméno** Emil
STUDIJNÍ OBOR	2301R013/19 Stavba výrobních strojů a zařízení	
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení (včetně titulů)** Formánek, Doc. Ing., Ph.D.	**Jméno** Josef
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS	

DRUH PRÁCE	~~**DIPLOMOVÁ**~~	**BAKALÁŘSKÁ**	**Nehodící se škrtněte**
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční návrh nastavovacího mechanismu pro fotovoltaické elektrárny		

FAKULTA	strojní		**KATEDRA**	KKS		**ROK ODEVZDÁNÍ**	2013

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	52		**TEXTOVÁ ČÁST**	46		**GRAFICKÁ ČÁST**	6

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Bakalářská práce se zabývá konstrukcí nastavovacího mechanismu sledovače slunce, který je použit v FV elektrárně.
KLÍČOVÁ SLOVA **ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE**	FV elektrárna, sledovač slunce

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	**Surname** Černý	**Name** Emil	
FIELD OF STUDY	2301R013/19 Design of Manufacturing Machines and Equipment		
SUPERVISOR	**Surname (Inclusive of Degrees)** Formánek, Doc. Ing., Ph.D.	**Name** Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	~~**DIPLOMA**~~	**BACHELOR**	**Delete when not applicable**
TITLE OF THE WORK	Construction of the Setting Mechanism of the Fotovoltaic Power Plant		

FACULTY	Mechanical Engineering		**DEPARTMENT**	KKS		**SUBMITTED IN**	2013

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	52		**TEXT PART**	46		**GRAPHICAL PART**	6

BRIEF DESCRIPTION **TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTION**	This Bachelor work deals with a design of a setting mechanism for a solar tracker which is used in a FV power plant.
KEY WORDS	FV power plant, solar tracker

Obsah

1 Úvod 8
2 Rešerše včetně systematického popisu funkce 10
2.1 Možnost využití FV panelů v ČR 10
2.1.1 Výtěžnost FV panelu v závislosti na geografické poloze 10
2.1.2 Výtěžnost FV panelu v závislosti na postavení vůči slunci 10
2.1.3 Určení výtěžnosti FV panelů 11
3 Popis funkce FV panelů 13
3.1 Základní princip funkce 13
3.2 Určení maximálního výkonu panelu 14
3.3 Popis panelů v síti a bez připojení k síti 14
3.3.1 Solární elektrárna izolovaná od sítě 14
3.3.2 Připojení do veřejné elektrické rozvodové sítě 15
3.3.3 Elektrárna s hybridním spojením 15
3.4 Dostupné druhy FV panelů 16
3.4.1 Křemíkové články 16
3.4.2 Článek na bázi CdTe 17
4 Rozbor možných technických řešení nosných částí solárních panelů 18
4.1 Pevné konstrukce 18
4.1.1 Pevné nosné konstrukce FV panelů 18
4.1.2 Pevné konstrukce na volných plochách 18
4.1.3 Pevné konstrukce FV panelů jako součást jiných konstrukcí 19
4.2 Pohyblivé konstrukce FV panelů 19
4.2.1 Konstrukce sledující slunce pomocí pohonu na principu hodinového strojku 19
4.2.2 Konstrukce sledující slunce pomocí porovnávání intenzity slunečního záření na panelech 20
4.2.3 Natáčení pomocí vypařování a kondenzace freonu 21
4.2.4 Sledovače na principu pružin z paměťových slitin 21
4.3 Panely zabudované do dopravních prostředků 22
5 Vypracování technického řešení nastavovacího mechanismu pro FV elektrárnu 23

5.1 Požadavky na konkrétní solární elektrárnu 23
5.2 Přehled navrhnutých variant 23
5.2.1 Konstrukce měnící svou polohu v závislosti pouze ve vertikálním směru 24
5.2.2 Konstrukce měnící svou polohu pouze v horizontálním směru 26
5.2.3 Konstrukce měnící svou polohu ve dvou osách 27
5.3 Zhodnocení navržených variant 28
5.4 Vypracování konstrukčního řešení a jeho zpracování 29
5.4.1 Vypracování konstrukčního řešení 29
5.4.2 Výpočet sil působících na konstrukci 32
5.4.3 Výpočty namáhání a deformací hlavních nosných částí 33
5.4.4 Výběr dostačujících pohonů 39
6 Zhodnocení navrženého konstrukčního řešení 40
6.1 Ekonomické zhodnocení 40
6.2 Technické zhodnocení 41
7 Závěr 42
8 Zdroje 44
8.1 Knižní zdroje 44
8.2 Internetové zdroje 44

1 Úvod

Energie má mnoho tváří a podob a člověk se již od pradávna snaží ji ovládnout a zkrotit ve svůj prospěch. V pravěkých dobách, kdy člověk dokázal zkrotit energii ohně, jakožto jednoduchou, ale nebezpečnou chemickou reakci hoření, se začal vývoj lidského pokolení rychle měnit. Člověk se s pomocí energie ohně začal měnit v nebezpečného predátora. V novějších dějinách lidstva si začal podmaňovat energii dalších živlů. Stavěl vodní i větrné mlýny, velké hamry poháněné jen potenciální energií vody a mnoho dalších strojů, které mu měly usnadnit život. Dalším velkým průlomem bylo jistě plné využívání energie skryté ve fosilních palivech. Masivní těžba uhlí, využití a rafinace ropy či získávání energie z uranových rud.

V současnosti je člověk na fosilních palivech zcela závislý. Ve zprávě ministerstva průmyslu a obchodu [14] byla v roce 2011 spotřeba surovin na výrobu elektrické energie v Čechách následující: uhlí a energoplyn 55,7 %, jaderné palivo 32,3 %, ostatní 3,6 % a obnovitelné zdroje 8,4 %. Další oblastí, ve které se ve velkém množství spaluje uhlí, je výroba tepla v teplárnách i soukromých domech. Z výše uvedených hodnot je zřejmé převažující zastoupení fosilních paliv při výrobě energie v Čechách se vším, co takováto spotřeba s sebou přináší. Značný dopad na životní prostředí mají zejména uhelné elektrárny, které v součinnosti s nízkou účinnosti potřebují ohromné množství paliva a zároveň produkují nezanedbatelné množství odpadních škodlivých plynů. V současné době máme tedy jisté zdroje energie, ale v budoucnosti? Často jsou k vidění různé úvahy o zásobách fosilních paliv na Zemi. Většinou se dosti liší, ale jedno mají společné, tato paliva dříve či později dojdou a člověk si bude muset nalézt nové zdroje energie pro svoji existenci. Ať chceme či nikoliv, existence současné společnosti je například na elektrické energii zcela závislá.

Jedním z možných zdrojů "čisté" elektrické energie je fotovoltaický (dále jen FV) článek, jehož palivem je energie slunce. Je všeobecně známo, že sluneční energie je všude na Zemi zdarma, ale není všude na Zemi stejně dostupná. Možnosti uplatnění solární energie jsou diametrálně rozdílné v saharské poušti a severských státech Evropy. V našich středoevropských podmínkách mluví proti solární energii hlavně nestálost výkonu a tím daná potřeba dodatečných zdrojů elektřiny, které budou tyto výkyvy kompenzovat.

Tato práce se zabývá možnostmi konstrukce uchycení různých typů FV článků do nosných částí pro menší solární elektrárny. V práci jsou popsány vlastnosti a možnosti použití různých FV článků z hlediska jejich vlastností. Snaha o dosažení maximální výtěžnosti FV elektrárny je jasná a tak konstrukce pro ukotvení FV panelů musí splňovat funkci jak pevnostní, tak i funkční pro zachycení co nejvíce sluneční energie. K pochopení důležitosti

nastavování plochy FV elektrárny vůči slunci z hlediska výtěžnosti jsou v této práci popsány různé varianty ať pevných či natáčecích FV elektráren, které jsou hodnoceny z hlediska jejich výkonů. Na základě poznatků zjištěných v rešerši práce, jsou stanoveny požadavky na konkrétní konstrukci FV elektrárny. V této práci je podle určených požadavků vytvořen návrh nastavovací konstrukce FV elektrárny.

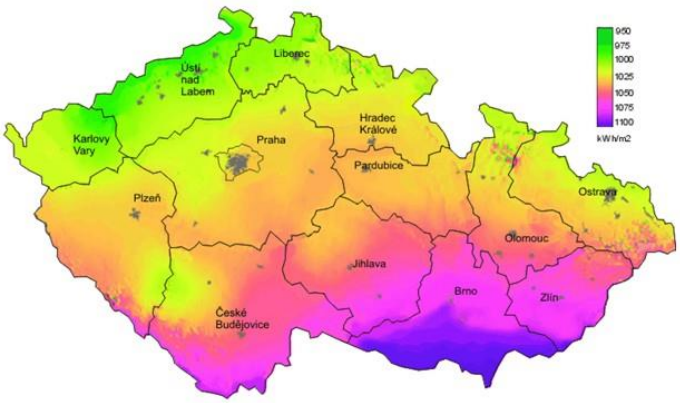
2 Rešerše včetně systematického popisu funkce

V této kapitole je nastíněna závislost výkonu solárních panelů na geografické poloze a na nastavení jejich plochy vůči slunci. Dále je zde uveden základní princip funkce FV elektrárny připojené k veřejné síti, nebo nabíjející akumulátor. Nakonec jsou uvedeny základní druhy FV panelů. Tato rešerše má napomoci k pochopení funkce a potřeb FV elektrárny a k navržení optimálního konstrukčního řešení samotné konstrukce FV elektrárny.

2.1 Možnost využití FV panelů v ČR

2.1.1 Výtěžnost FV panelu v závislosti na geografické poloze

První okolnost, kterou by si investor, který uvažuje o budování solární elektrárny, měl zjistit je, kolik sluneční energie lze v daném místě získat. K tomu slouží solární mapy, na kterých je uveden úhrnný sluneční dopad v kilowatthodinách na metr čtvereční za rok. V České republice se tato hodnota pohybuje v rozmezí 950-1340 kWh/m^2 [1]. Na hodnotu "ozáření sluncem" má vliv nejen vzdálenost k rovníku, ale i nadmořská výška, profil krajiny či znečištění místního ovzduší. Sluneční dopad na horkém pouštním území dosahuje hodnoty až 2500 kWh/m^2 [1], v horských oblastech je naopak méně slunečních dní a výkon v této oblasti se bude pohybovat pod 1000 kWh/m^2 [1]. V dlouhodobém horizontu životnosti solární elektrárny je její poloha velice důležitá a je třeba na ní brát zřetel.

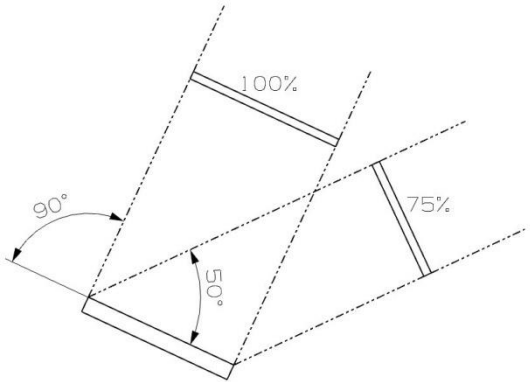


Obr. 1 Úhrnný sluneční dopad v České Republice [10]

2.1.2 Výtěžnost FV panelu v závislosti na postavení vůči slunci

Pokud je už o poloze elektrárny rozhodnuto, je důležité zajistit co nejlepší polohu funkční plochy FV panelu vzhledem ke slunci, pokud možno s co nejmenším zastíněním od okolních těles. O výtěžnosti FV panelu rozhoduje zejména vhodná volba konstrukce nesoucí panel.

V průběhu dne se mění poloha slunce od východu k západu a v průběhu dne i roku se mění elevace slunce nad obzorem. Pokud se změní úhel, pod kterým dopadá sluneční světlo na plochu FV panelu, je pro dosažení stejného výkonu zapotřebí větší plochy, protože využitá plocha solárního panelu se zmenšuje dle vzorce $S_0 = S \cdot \sin\alpha$ [3], kde S je plocha panelu a úhel α je úhel dopadu slunečního záření (Obr. 2).



Obr. 2 Snížení využité plochy panelu změnou úhlu dopadu slunečního paprsku [2]

U každého zdroje elektrické energie požadujeme z hlediska okolních přístrojů i připojených vodičů co nejstálejší výkon. Zajímavé je srovnání množství vyrobené energie (výkonu) z panelu na pevné konstrukci, která se v průběhu dne nepohybuje a na pohyblivé konstrukci, která v průběhu dne zajišťuje optimální postavení panelu ke slunci. Výpočet skutečného množství energie pro kolektor není vůbec jednoduché, protože nízko nad obzorem působí značná clona atmosféry. I hodnoty dalších součinitelů, jako difúzní složky slunečního záření jsou relativně obtížně zjistitelné.

Teoretické množství vyrobené energie lze vypočítat jako integrál složky výkonu za čas t $\int_{t1}^{t2} P \cdot dt$ [3]. Výkon je dán intenzitou slunečního záření I, účinností solárního panelu a plochy solárního panelu [3]. Pro konkrétní případ lze uvažovat čas t=12 h tj. 43200 s a intenzitu slunečního ozáření I=1100 $W \cdot m^{-2}$. Jako ukázkový FV panel budeme uvažovat kvalitní panel s účinností 18-20 % [3]. Změnu polohy slunce vyjádříme úhlovou rychlostí $\omega = \frac{2\pi}{t} = 7{,}27 \cdot 10^{-5} s^{-1}$ [3]. Plochu panelu položíme rovnou jedné a množství energie vypočteme jako:

$$W = \int_{-21600}^{+21066} I \cdot S_0 \cdot \cos\omega \cdot t dt = I \cdot S_0 \cdot \left[\frac{\sin\omega \cdot t}{\omega}\right]_{-21600}^{+21600} = 8{,}41 \text{ [kW.h.] [3]}$$

U panelu sledujícího dráhu slunce je vztah pro výpočet množství vyrobené energie:

$$W = I \cdot S_0 \cdot t = 4{,}75 \cdot 10^7 \text{ W.s} = 13{,}2 \text{ [kW.h.] [3]}$$

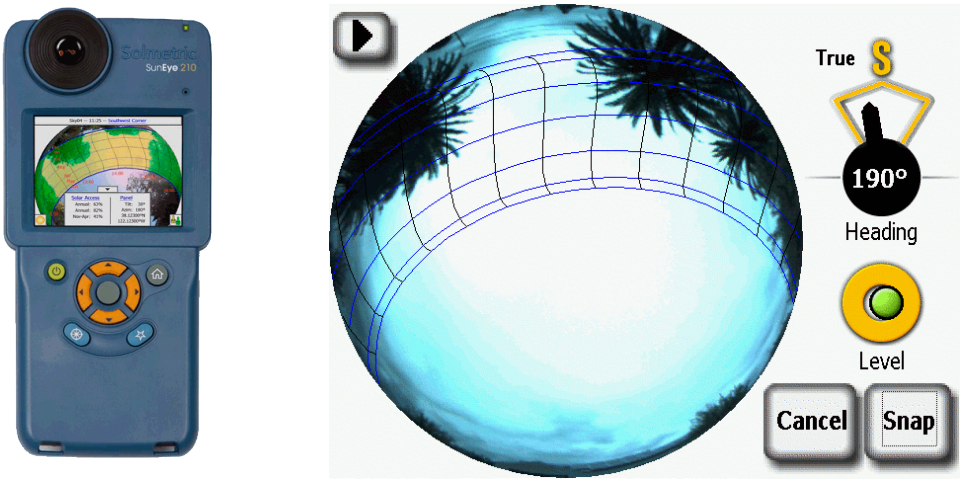
Nárůst teoretické účinnosti dosahuje 57 %, což je hodnota více než zajímavá, i když jde jen o teoretický výpočet, který nerespektuje větší míru odstínění dopadajících paprsků v ranních hodinách.

2.1.3 Určení výtěžnosti FV panelů

Pro dané místo se hodnoty slunečního ozáření v průběhu roku logicky mění s počasím. Celkové místní sluneční ozáření za rok v kilowatthodinách na metr čtvereční se uvádí v diagramu ozáření. V našich podmínkách je nejvýhodnějším sklonem něco málo přes třicet stupňů, tento sklon má oproti vodorovné ploše účinnost vyšší o deset procent [1].

Dalším faktorem ovlivňujícím účinnost FV panelů je vliv zastínění solárního článku. V průběhu celého roku se vliv zastínění mění s dráhou slunce a v celkovém ročním ozáření se může výrazně projevit. Je zjevné, že čím blíže je těleso bránící slunečním paprskům, tím je zastínění výraznější. Co tak na první pohled zjevné není, je silně negativní vliv zdánlivě nepatrných zdrojů stínu, například elektrického vedení, antén a dalších prvků, které mohou svým stínem zasahovat na plochu panelu. Ke zjištění ztrát způsobených zastíněním se provádí analýza zastínění, ke které se využívá diagram dráhy slunce. Což je vlastně diagram závislosti výšky a azimutu polohy slunce ve stupních. Obdobně jako u jiných slunečních diagramů obsahuje různé křivky pro odlišné roční doby.

Progresivnější a velice přesné je určení zastínění pomocí měřících přístrojů, které nejčastěji pomocí čočky ve tvaru "rybího oka" zaznamenají profil horizontu. Získaný profil je následně v softwaru porovnán s dráhou slunce v průběhu roku a zastínění je v něm již jednoduše vypočteno.

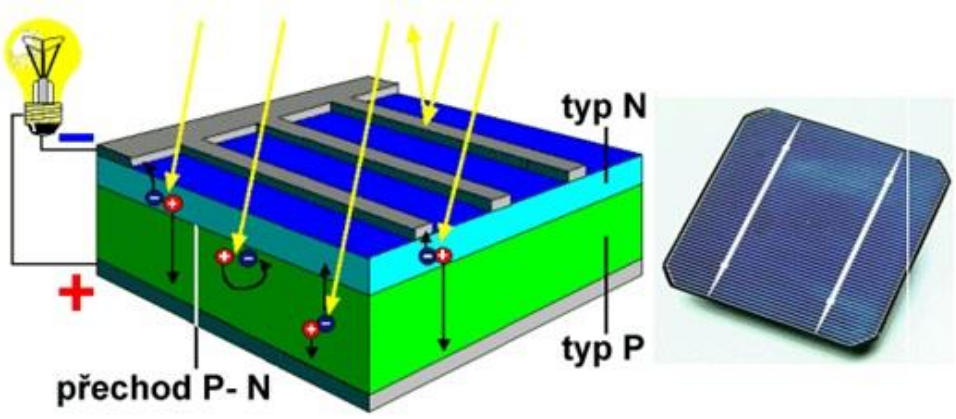


Obr. 3 Přístroj Suneye od společnosti Solmetric a zobrazení vyhodnocovacího softwaru [19]

3 Popis funkce FV panelů

3.1 Základní princip funkce

Proces přeměny energie ze slunce na energii elektrickou zajišťuje takzvaný solární článek. V průběhu své životnosti vyžaduje solární článek jen velmi malou údržbu zejména proto, že celý proces výroby elektrické energie probíhá bez mechanického pohybu více součástí. Tím odpadá jejich opotřebení či případná nutnost mazání nebo výměny. Základním principem, díky němuž je možné vyrábět elektrickou energii ze slunečného záření je P-N přechod. Tedy přechod mezi záporně nabitou vrstvou a kladně nabitou vrstvou křemíku.

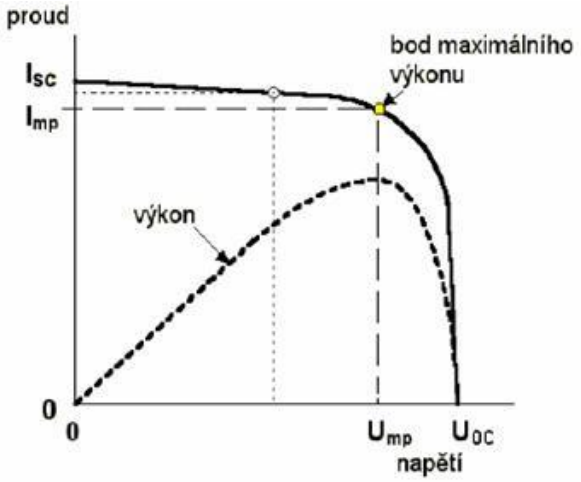


Obr. 4 Princip přeměny energie v FV článku [12]

Elektrický náboj je zajištěn takzvaným dotováním, což je přidání atomů jiného prvku do polovodiče (v našem případě křemíku) [1]. Záporná vrstva článku je dotována fosforem a kladná bórem. Na popsaném přechodu vznikne elektrické pole a to spolu s dopadajícím slunečním zářením vyvolá pohyb elektronů v článku. Propojí-li se horní a spodní článek nějakým spotřebičem, dochází k pohybu nosičů náboje a tak teče elektrický proud od plusu k mínusu [2]. Proud prochází na horní straně článku kontaktní mřížkou, kvůli účinnosti tvořenou co nejtenčími drátky a na spodní straně prochází proud kontaktní plochou, která je nejčastěji tvořena hliníkovou pastou [1]. Pod kontaktní mřížkou je antireflexní vrstva, která snižuje množství odraženého světla. Právě tato vrstva dává monokrystalickému solárnímu článku černou barvu, i když je původně tvořen šedým křemíkem. Polykrystalický článek má díky antireflexní vrstvě barvu tmavě modrou.

3.2 Určení maximálního výkonu panelu

Důležitým zdrojem informací o elektrických vlastnostech daného článku je závislost proudu na napětí. Charakteristické jsou hodnoty zkratového proudu, což je maximální hodnota proudu, který může solární článek dodat, a napětí naprázdno, to je maximální napětí, kterého lze dosáhnou, když článek není připojen k žádnému spotřebiči [2]. Ze znalosti proudu a napětí v solárním článku lze již jednoduše zjistit jeho výkon, jedná se zde o součin proudu a napětí. Grafickým zobrazením tohoto součinu v diagramu závislosti proudu a napětí je obdélníková plocha. Velikost této plochy se mění s tím, jak se mění velikosti proudu a napětí, které jsou závislé na intenzitě dopadajícího světla, teplotě článku, či na spektru světla [2]. Logicky nejvyšší vliv na výkon článku má intenzita dopadajícího světla, čili ozáření panelu. Čím větší ozáření, tím vyšší je i výkon. Teplota výkon článku ovlivňuje také nezanedbatelně. Pro ukázku zvýšení teploty o deset stupňů celsia odpovídá snížení výkonu o 4 %. Spektrální složení světla ovlivňuje panel, protože světlo o různých vlnových délkách má i různou účinnost. Aby bylo možné objektivně porovnávat hodnoty výkonu jednotlivých FV panelů, je zaveden jednotný systém měření elektrického výkonu FV panelu s označením STC (Standard Test Conditions). Výkon je měřen při ozáření 1000 W/m^2, teplotě 25 °C a při složení světla odpovídajícímu průchodu jeden a půl násobnou vrstvou atmosféry filtrující světlo (1,5 AM - Air Mass) [2]. Při dodržení těchto podmínek se výkon udává jako špičkový výkon Wp, který je uveden v katalogových listech. Tato hodnota se samozřejmě mění pro danou oblast a za daných podmínek.



Obr. 5 Grafické zobrazení elektrické vlastnosti článku charakteristickou křivkou, tj. závislosti proudu na napětí a z nich určeného výkonu [3]

3.3 Popis panelů v síti a bez připojení k síti

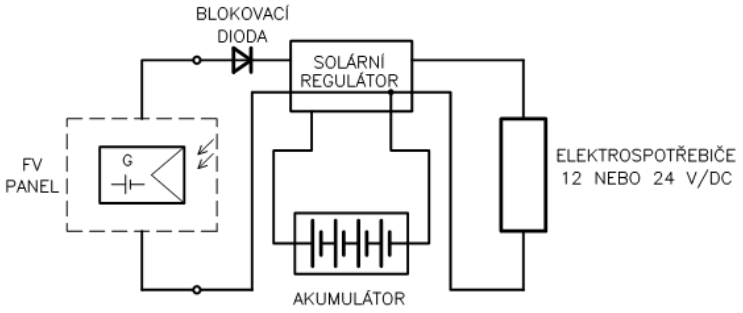
Tento popis je důležitý v širším pohledu na konstrukci FV elektrárny. Zhruba popisuje prvky, které s funkcí FV elektrárny úzce souvisí. Ku příkladu konstrukce elektrárny izolovaná od sítě musí počítat s omezeným příkonem pro pohon a tím i s menším možným rozměrem konstrukce.

3.3.1 Solární elektrárna izolovaná od sítě

Tato kapitola se váže i k dimenzování potřebného množství solárních panelů, které budou dodávat v určitém časovém úseku potřebnou energii v místě, které je izolováno od veřejné sítě. Energie získaná solárním panelem se ukládá do akumulátoru. Kapacita akumulátoru spolu s energií dodanou solární elektrárnou určuje počet autonomních dnů. To znamená dobu, po kterou bude samotná elektrárna dodávat dostatek předem určeného množství elektrické

energie. To je důležité pro konstrukci FV elektrárny, protože určuje požadovaný výkon a tudíž i velikost elektrárny a její konstrukce.

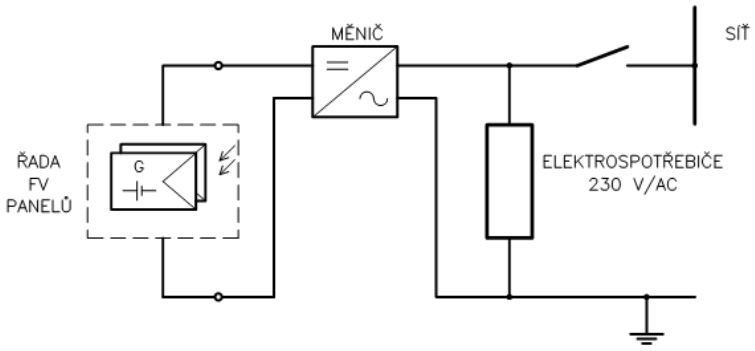
Napětí, se kterým akumulátor pracuje, je 12 V pro menší instalace a 24-48 V pro větší zařízení [2]. Protože při větším napětí se snižují ztráty ve vedení. Napětí v systému je důležité při uvažování nastavitelné solární elektrárny, protože energii z akumulátoru lze použít i pro samotný provoz nastavovacího mechanismu (pro pohon motorů atd.). Při konstrukci FV elektrárny je třeba na to brát zřetel. Blokové schéma pro hrubou představu o celé elektrárně je na Obr. 6.



Obr. 6 Princip zapojení samostatné FV zařízení ke spotřebičům [18]

3.3.2 Připojení do veřejné elektrické rozvodové sítě

Pokud je na základě prozkoumání vhodnosti místa pro solární elektrárnu možné místo určeno jako vhodné pro umístění solární elektrárny, je možné po instalaci měniče, který bude měnit stejnosměrný proud na střídavý, dodávat elektrickou energii do sítě. Možné obecné schéma tokového připojení je na Obr. 7.



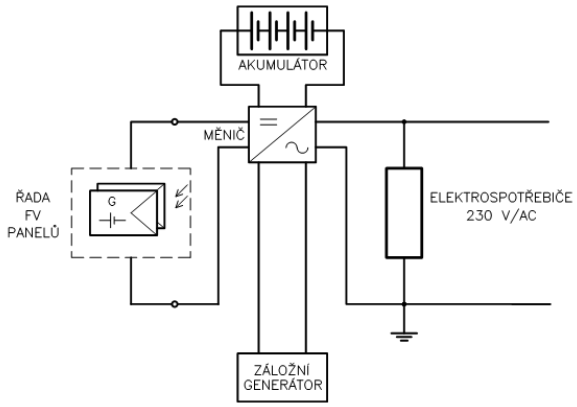
Obr. 7 Princip zapojení samostatné FV zařízení ke spotřebičům [18]

Samozřejmě vyvstává otázka, jaký zdroj elektrické energie bude použit ke kompenzování nutných změn ve výkonu solární elektrárny například při špatném počasí nebo v zimních měsících. Jelikož je změna ve výkonu solární elektrárny skoková, je nanejvýš vhodné použít i kompenzační zdroj, který danou relativně rychlou změnu bude moci kompenzovat. Je tedy logické, že čím menší budou výkyvy napětí v elektrické rozvodové síti způsobené zčásti solárními elektrárnami, tím se budou snižovat nároky na dodatečné a často méně ekologické zdroje elektrické energie.

3.3.3 Elektrárna s hybridním spojením

Jen pro doplnění je zde uvedena možnost ostrovního systému, který primárně využívá solární energii, ale při nedostatku slunečního záření nebo při náhlém nárůstu požadovaného

výkonu jej lze doplnit o doplňkový zdroj elektrické energie, jakým může být kupříkladu naftový či jiný generátor. Princip je velice podobný, jako u ostrovní elektrárny.



Obr. 8 Kombinovaný princip výroby energie v ostrovním systému

3.4 Dostupné druhy FV panelů

Křemík je v současné elektrotechnice jen velmi těžko nahraditelný prvek, který je pro své užití vhodný nejen svými vlastnostmi, ale i vysokou dostupností a nezávadností vůči životnímu prostředí, i když jeho poslední přednost je u FV panelů eliminována dotováním křemíku fosforem a bórem, které zdravotní nezávadnost křemíku nesdílí, ba naopak. Krystalickým křemíkovým článkům připadá 86 % z celkového množství solárních článků [1]. Křemík, získaný z křemenného písku a chemicky vyčištěný, lze použít pro výrobu monokrystalických a polykrystalických článků. V současné době se ale prosazují i jiné druhy solárních článků. V následujících odstavcích jsou stručně popsány některé druhy FV článků. Současně dostupné druhy FV panelů umožňují zrealizovat velice širokou škálu konstrukcí, a tak je vhodné na ně brát zřetel.

V současnosti je nejběžnější zasazovat FV články do tabulí, které jsou tvořeny kovovým rámem a snadno se upevní na jakýkoliv typ konstrukce, který disponuje dostatečnými záchytnými body. Samotné tělo FV panelu je velice křehké a i při neopatrné manipulaci může dojít k jeho vážnému poškození. Jakmile tuhost konstrukce, ke které je panel připevněn, nebude dostatečná, snadno může dojít k prasknutí panelu ať při montáži nebo za zvýšeného namáhání od větru či sněhu.

3.4.1 Křemíkové články

Jedná se o nejrozšířenější články používané pro výrobu elektrické energie. Monokrystalické články jsou vyráběny odřezáváním plátků z kulatých tyčí. Jednotlivé články jsou pak tvořeny jen jedním krystalem ve tvaru buď kulatém (bez odřezávání), s kulatými rohy, čtvercovém nebo šestihranném. Spotřeba materiálu je samozřejmě menší s odřezanou plochou a tím se snižuje cena

Obr. 9 Křemíkové ingoty [21]

článku, ale zároveň zvyšuje plocha potřebná pro uložení panelu. Velikost destičky z monokrystalu je obvykle 156×156 mm [1]. Celkové rozměry monokrystalického solárního panelu se různí. Článek je po vyříznutí dotován kladným a záporným prvkem, opatřen antireflexní fólií, kontaktní mřížkou a plochou. Dále je možné na článek položit geometricky vhodné útvary jako jehlan, které budou odrážet světlo méně, než rovná plocha. Účinnost monokrystalických článků se pohybuje od patnácti do sedmnácti procent [1].

Polykrystalický článek se vyrábí z polykrystalických křemíkových bloků. Z nich se vyříznou tyče a poté destičky, na kterých lze vidět po dopadu světla více krystalů. Panely z polykrystalických článků mají široké spektrum rozměrů, nejrozšířenější rozměr panelu pro výrobu elektřiny je cca1,6×1,3 m. Při výrobě polykrystalických článků se dosahuje menších odpadů a celkově nižších výrobních nákladů, mají však nižší účinnost a to od třinácti do šestnácti procent [1]. Polykrystalické články mají zpravidla čtvercový tvar a procházejí stejnými úpravami jako monokrystalické články, nejvýraznějším rozdílem je odlišná struktura a tmavě modrá barva.

Polykrystalické pásové křemíkové články jsou, na rozdíl od článků odřezávaných z bloků, vyráběné jiným způsobem. Vyznačují se díky úspornější technologii výroby z roztaveného křemíku nižšími ztrátami materiálu při výrobě. Z taveniny se vytahují ve formě fólie o konečné tloušťce a dále se řežou na správný rozměr. Mají účinnost kolem čtrnácti a půl procent [1].

Amorfní křemíkové články vychází z nejstarších principů výroby solární elektřiny. Jsou ve velkém používány pro napájení spotřebičů s malým příkonem, jako jsou kalkulačky nebo hodiny. U těchto aplikací nevadí nízká účinnost, která se pohybuje kolem deseti procent [1]. Výhodou ale je možnost nanesení na prvky, které by jinak solární panely neunesly, například na trapézové plechové střechy či bitumenové střechy a další. Například společnost General Solar PV vyrábí pásy s asfaltovým základem a s povrchem tvořeným amorfním křemíkem vyrábějícím elektřinu. Tato kombinace dává zajímavé možnosti pro vytváření solárních konstrukcí, které nejsou omezeny rozměry a tvarem solárního článku.

Tenkovrstvé články se vyrábí odlišně od výše popsaných. Nanáší se ve vrstvách několika mikrometrů na sklo, kovové fólie či polymery. Předností má tento typ článku mnoho: mnohem nižší profil, menší citlivost na zastínění, možnost dosáhnout poloprůhledného článku (oddálením jednotlivých proužků článku) nebo aplikace na ohebné látky. Tenkovrstvé články ovšem trpí na nižší účinnost než krystalické křemíkové články, i když v současnosti se objevují články s účinností o něco málo vyšší než dvacet procent [8].

3.4.2 Článek na bázi CdTe

Panely pracující s principem na bázi teluridu kademnatého CdTe zvládnou velké systémové napětí (1000 V) a tak jsou vhodné pro velké instalace. Běžná účinnost těchto bezrámových článků s dvojitým sklem je jedenáct procent [1]. Značnou nevýhodou tohoto principu je ale obsah vysoce toxického kadmia, které chce evropská unie celkově vyřadit z elektrotechniky. V pořizovací ceně jsou tak promítnuty i náklady na likvidaci panelů po skončení jejich životnosti [22].

4 Rozbor možných technických řešení nosných částí solárních panelů

Jak bylo popsáno v předchozích kapitolách, nosné části solárních panelů značně ovlivňují výtěžnost daného panelu. Pro dosažení co nejvyššího výkonu uchyceného panelu tedy musí splňovat kritéria jak pevnostní, tak i funkční. To znamená zajistit solárním panelům co nejlepší podmínky pro výrobu elektrické energie. Samozřejmě každá funkce nosné části, jako vertikální či horizontální otáčení, vyžadují více finančních prostředků a to nejen ve výrobě, ale i v průběhu provozu solární elektrárny. V každé určité aplikaci se tedy musí zhodnotit poměr vynaložených nákladů a požadovaných vlastností konstrukce.

4.1 Pevné konstrukce

4.1.1 Pevné nosné konstrukce FV panelů

Pevnou nosnou konstrukcí rozumíme konstrukci, která sama neumožňuje natáčení plochy solárního panelu vůči slunci. Jak bylo uvedeno v kapitole 2.1.2, solární elektrárny s pevnou nosnou konstrukcí nemohou zajistit stálý kolmý dopad slunečního záření, zejména díky tomu, že se účinná plocha solárního panelu zmenšuje s měnícím se úhlem slunečního dopadu.

4.1.2 Pevné konstrukce na volných plochách

Jestli-že je k dispozici velká plocha pro umístění solárního panelu, je pevná konstrukce relativně levnou variantou, kdy má nejčastěji profil písmene A. Jedná se zejména o takzvané elektrárny na "zelené louce" [13]. Dalším možným místem použití jsou velké rovné střechy budov, zejména pokud je střecha z materiálu s dobrou odrazivostí slunečního záření (křemenný písek, beton, nebo sníh) [3], je vhodné použít oboustranný panel, kdy je využito i záření odražené od povrchu a dopadající na druhou stranu solárního článku.

Pokud to konstrukční řešení nosné části panelu umožňuje, je optimální měnit nastavení polohy solárního panelu na zimní a letní provoz. V některých případech se požaduje stálý minimální výkon v průběhu roku, a pokud není umožněno sledování slunce, nastaví se elektrárna na provoz v zimních měsících, kdy je nejméně sluneční energie [3]. Jelikož je ale v zimních měsících slunce níže nad obzorem, musí být tedy i jednotlivé panely dále od sebe, aby docházelo k minimálnímu zastínění. Tím se však zvyšují nároky na prostor potřebný pro solární elektrárnu o požadovaném výkonu.

4.1.3 Pevné konstrukce FV panelů jako součást jiných konstrukcí

Zajímavou kapitolou výroby solární elektřiny je solární architektura, kdy je solární panel přímo začleněn do konstrukce budovy. Samozřejmě pokud je taková plocha budovy vhodná svou orientací a nízkým zastíněním. Nemusí se jednat jen o budovy, ale i o protihlukové stěny či billboardy [3]. Navíc s příchodem nových materiálů schopných vyrábět solární elektřinu mohou mít tyto aplikace velice široké spektrum podob i použití. Jak již bylo popsáno v kapitole 2.4, amorfní křemíkové články mohou být přímou součástí střešní konstrukce.

Obr. 10 Solární dům (Technická univerzita v Darmstadtu) [9]

Jednodušším případem využití budov je upevnění solárních panelů přímo na šikmou střechu budovy. Toto řešení má nízké náklady na konstrukční nosné prvky, ale je omezeno, jako další pevná řešení, stálým úhlem sklonu.

4.2 Pohyblivé konstrukce FV panelů

4.2.1 Konstrukce sledující slunce pomocí pohonu na principu hodinového strojku

Princip hodinového strojku zde znamená posunutí o elementární úsek za elementární čas, tj. nastavování solárního panelu není spojité, ale děje se po jednotlivých krocích.

K pohonu pohyblivé konstrukce s panely lze využít kupříkladu počítačem řízených krokových motorů, tj. motorů disponujících menším výkonem, ale velmi vhodnými k regulaci polohy [4]. Počítač je schopen umožnit nastavení konstrukce, které není závislé na sledování slunce, ale je řízeno daty z počítače. To znamená, že i když je slunce za mraky, panel má stále optimální polohu a sleduje dráhu slunce. Další výhodou je velká přesnost polohy plochy panelu vůči slunečním paprskům, samozřejmě při správných datech obsahujících polohu slunce pro danou lokalitu a v danou dobu. Odchylka slunečních paprsků a ideální polohy panelu se udává pod 5 ° [3], což je velikou výhodou zvláště u solárních elektráren využívajících koncentraci slunečních paprsků. Pro solární elektrárnu bez koncentrace slunečního záření výhoda takto přesného sledování sluneční dráhy mírně opadá, jelikož odchylka do ± 5 ° se na výkonu solární elektrárny projeví jen nepatrně (viz kapitola 2.1.2) [3].

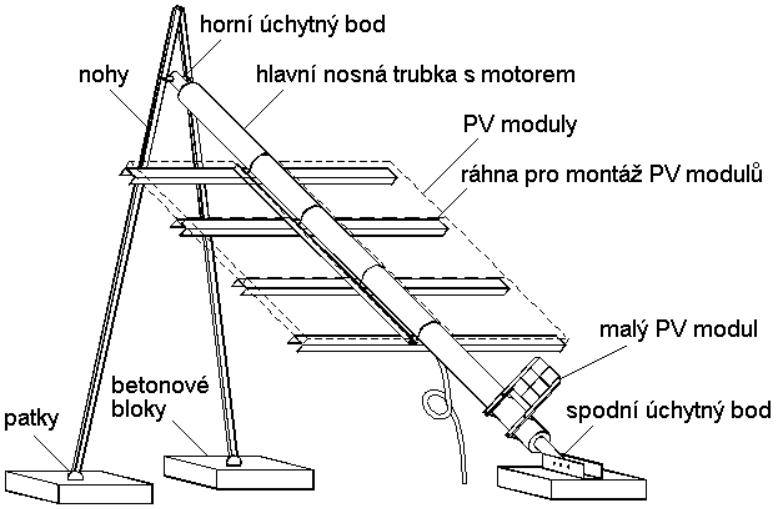
K samotnému pohonu lze využít mnoho dalších typů pohonů, například lineární pohony, servomechanismy a mnoho dalších. V této práci bude ovšem uveden pouze jeden, vybraný na základě největší vhodnosti.

4.2.2 Konstrukce sledující slunce pomocí porovnávání intenzity slunečního záření na panelech

Jak již bylo popsáno výše, při dopadu slunečních paprsků na FV panel vzniká elektrický proud a napětí, které se mění s intenzitou slunečního záření. Vedle samotné solární elektrárny tak můžeme umístit menší porovnávací soustavu FV panelů, které budou na sobě měřit intenzitu proudu s napětím a tak i intenzitu slunečního záření. Na základě jejich známé polohy lze určit polohu zdroje slunečního záření, tedy slunce. Tato informace se tedy předá dál a dojde k natočení samotné solární elektrárny do požadované polohy.

Tento princip v sobě obsahuje mnoho možných způsobů samotného provedení. Jedním z nich je ustavení porovnávací soustavy FV panelů do rovnostranného jehlanu [3]. Jednotlivé panely v jehlanu měří intenzitu slunečného záření, jak bylo popsáno výše. Obtížnější však může být samotné vyhodnocení údajů z porovnávacích panelů a jejich přepočítání na polohu slunce. Celý systém vyžaduje složitý elektronický systém [3], který ale za cenu zvýšených nákladů přináší možnost velmi přesného sledování slunce. Samotné natočení může být opět uskutečněno různými typy pohonu.

Další možný způsob porovnávání slunečního záření i když odlišným způsobem, využívá například patentovaný systém TRAXLE. Ten pracuje s podobnou myšlenkou. Vedle hlavního solárního panelu je menší oboustranný panel, který má k hlavnímu panelu přibližně kolmou orientaci a je pevně spojen s konstrukcí upevňující hlavní solární panel. Jakmile zdroj záření změní polohu o určitý úhel, ve kterém posvítí na vedlejší panel s dostatečnou intenzitou záření, spustí se pohon, který otáčí hlavní solární panel, dokud intenzita záření na vedlejším solárním panelu opět neklesne, to znamená, že nadále nebude osvícen. Pohon v tomto systému zajišťuje elektronicky komutovaný servomotor DC, který je principem podobný stejnosměrnému motoru a jeho chování se matematicky popisuje stejně jako stejnosměrný servomotor [4].



Obr. 11 Popis systému TRAXLE[15]

4.2.3 Natáčení pomocí vypařování a kondenzace freonu

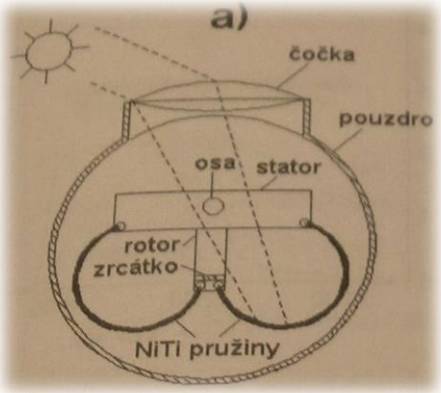
Solární panel je tímto principem natáčen pomocí nádrží naplněných freonem [3]. V nádrži osvětlené slunečním světlem vzrůstá teplota, freon uvnitř se začne vypařovat a následně kondenzovat ve druhé, od zdroje záření neosvětlené, či méně osvětlené nádrži. O hmotnost kondenzátu klesne hmotnost horní nádržky a zároveň vzroste hmotnost nádrže spodní. Tím dojde k natočení solárního panelu.

Značnou nevýhodou tohoto systému však je, že když slunce přestane svítit, teploty v obou nádržích se vyrovnají a panel se tak uvede do horizontální polohy. Jeho následné nastavení po opětovném ozáření sluncem trvá nezanedbatelnou dobu, po kterou je účinnost panelu snížena nedokonalým nastavením vůči slunci.

Výhodou je relativně levná konstrukce a nízké náklady na pořízení i údržbu. Jen je třeba brát zvýšený pozor na použití škodlivého freonu.

4.2.4 Sledovače na principu pružin z paměťových slitin

V tomto systému "pracují" na pohonu otáčení solárního panelu pružiny z paměťových slitin, například TiNi [3]. Paprsky do prostoru pouzdra pronikají skrz čočku, která usměrňuje dopadající záření a soustředí ho do menšího prostoru, je to tedy spojka. Po dopadu záření na povrch pružiny se osvícená strana začne zahřívat. Pružiny jsou povrchově ošetřeny vrstvou, která výborně pohlcuje sluneční záření. Pružina je vždy na jedné straně pevně spojena ke statoru a na druhé straně též pevně spojena s rotorem. Jakmile teplota na pružině dosáhne dostatečné (transformační) teploty, začne se deformovat. Deformace otáčí s celým systémem až do té doby, než se ohnisko zaostřené čočkou soustředí do mezního prostoru ve spojnici obou pružin. To se při správném nastavení celého systému stane právě, když je panel kolmo na záření ze slunce. V mezním prostoru mezi pružinami je umístěno zrcátko, které začne sluneční záření odrážet a tak zastaví ohříváni pružin. Celý systém je viditelný na Obr. 12.



Obr. 12 Schéma sledovače na principu paměťových slitin v příčném řezu [11]

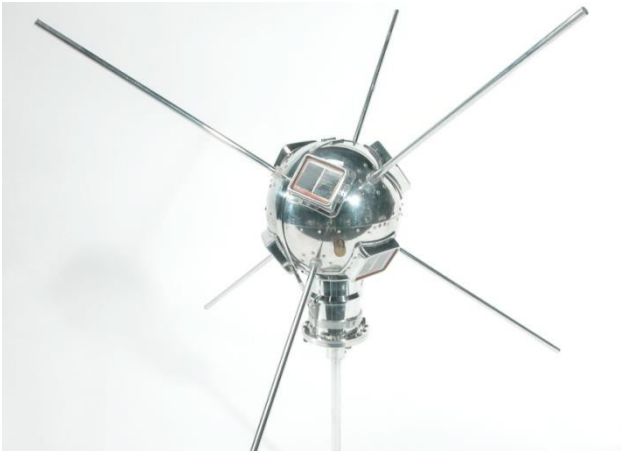
Uvedený systém pracuje "oboustranně", to znamená, že když na něj nedopadá žádné záření, sám se vyrovná do výchozí polohy. Jedním z dalších možných řešení je použití jednostranného systému, kdy navrácení do výchozí polohy bude zajišťovat obyčejná pružina, která bude vyvolávat předpětí stále přímo úměrné jen její deformaci a ne teplotě.

Sledovače na principu pružin z paměťových slitin nemají stejně jako freonové sledovače žádné nutné nároky na řídící elektroniku, což je jejich nespornou výhodou. Trpí ale při nestálém slunečním záření, kdy se neotáčejí do ideální polohy a nedodržují tak vždy nejoptimálnější pozici vůči dopadajícím paprskům. Ještě větším problémem pohonu

z paměťových slitin je omezená možnost použití při nižších teplotách, kdy se pružina na transformační teplotu zahřeje za neúnosně dlouhou dobu, v chladných měsících až v odpoledních hodinách [3]. Výnos takové solární elektrárny se tak rapidně snižuje.

4.3 Panely zabudované do dopravních prostředků

Tato kapitola je v práci uvedena především kvůli ucelení možnosti využití solární techniky v současné společnosti. Prvním průkopníkem pro smysluplné užití solárních panelů byla kosmonautika, když byla v roce 1958 vypuštěna na oběžnou dráhu Země americká družice Vanguard I (v češtině předvoj I) [17] nesoucí k získávání potřebné elektrické energie solární článek. Družice fungovala výborně a tak v roce 1972 pracovalo na solární energii přibližně tisíc satelitů [17]. Pozice FV panelů v dnešní kosmonautice je zcela nezpochybnitelná a je více než žádoucí, abychom byli schopni využít poznatky získané z vesmírných programů i v naší současné společnosti.



Obr. 13 Obrázek americké družice Vanguard I

Velkou myšlenkou bylo zkonstruování vozidla, které bude spolehlivě schopné převést člověka na větší vzdálenosti jen s využitím energie ze slunce a nahradit tak dopravní prostředky využívající fosilní paliva. Ve světě se pořádají různé závody solárních aut, například v Austrálii se pořádal závod na 3000 kilometrů mezi posádkami ze šestnácti zemí světa. Celou trasu mělo auto urazit za tři dny [7]. Bohužel účinnosti FV panelů v současnosti neumožňuje vznik solárního auta pro běžnou potřebu bez nutnosti stálého slunečního záření.

FV článek může být ale velmi zajímavým doplňkem, například u obytného přívěsu může dodávat dostatek elektřiny pro provoz přívěsu a ušetří tak elektřinu z baterie auta, nebo z dieselových agregátů [2]. U dalších aplikací, například na moři, je FV článek velice vítaným pomocníkem při výrobě elektrické energie. V současnosti je velké procento jachet vybaveno nějakým typem solárního článku [2].

5 Vypracování technického řešení nastavovacího mechanismu pro FV elektrárnu

Technické řešení je vytvořeno na základě daných okrajových podmínek, jimiž jsou maximální výkon elektrárny a její poloha. Snaha o maximální účinnost v konfliktu s co nejnižší cenou je pro konstrukční proces samozřejmostí. Pro splnění těchto podmínek jsou v této kapitole nastíněny tři možné varianty řešení konstrukce nastavovacího mechanismu. Na základě zhodnocení variant bude vypracována jedna varianta, která bude navržena pro solární elektrárnu s daným výkonem.

Konstrukční návrhy i výpočty deformací a napětí pomocí metody konečných prvků jsou provedeny v programu NX 7,5.

5.1 Požadavky na konkrétní solární elektrárnu

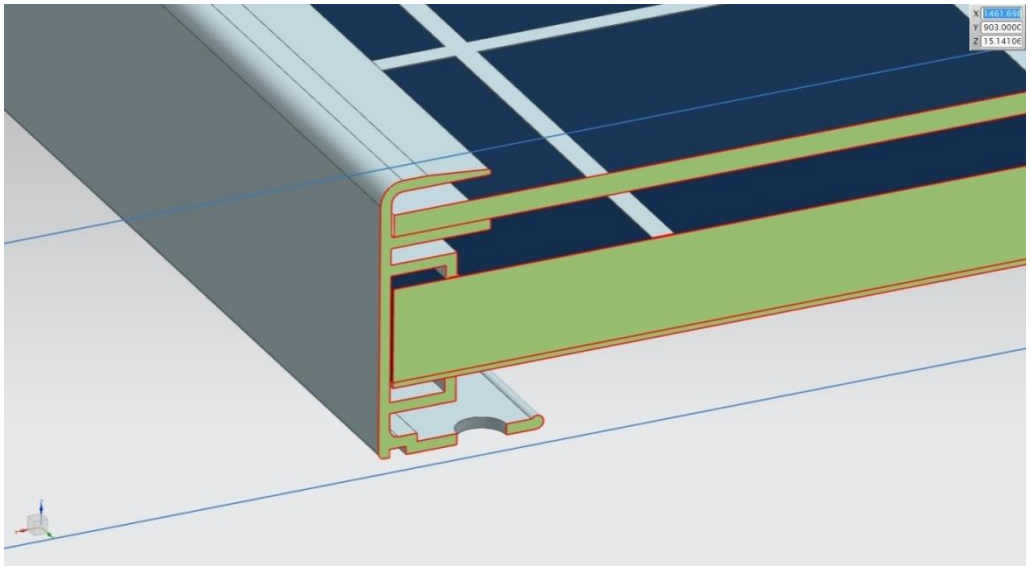
Solární elektrárna bude situovaná v oblasti Plzeňského kraje, do padesáti kilometrů od Plzně. Konstrukce se uvažuje stojící na volné ploše s minimální úrovní zastínění. Maximální možný výkon při normální provozní teplotě 48 °C solární elektrárny bude 2400 W.

Od konstrukce se tedy požaduje:

- nést dostatečný počet FV panelů k dosažení požadovaného elektrického výkonu,
- zaručit panelům dostatečnou tuhost uložení, aby nedošlo k jejich poškození,
- zajistit co nejvyšší účinnost panelů, tj. upravovat jejich polohu vůči slunci.

5.2 Přehled navrhnutých variant

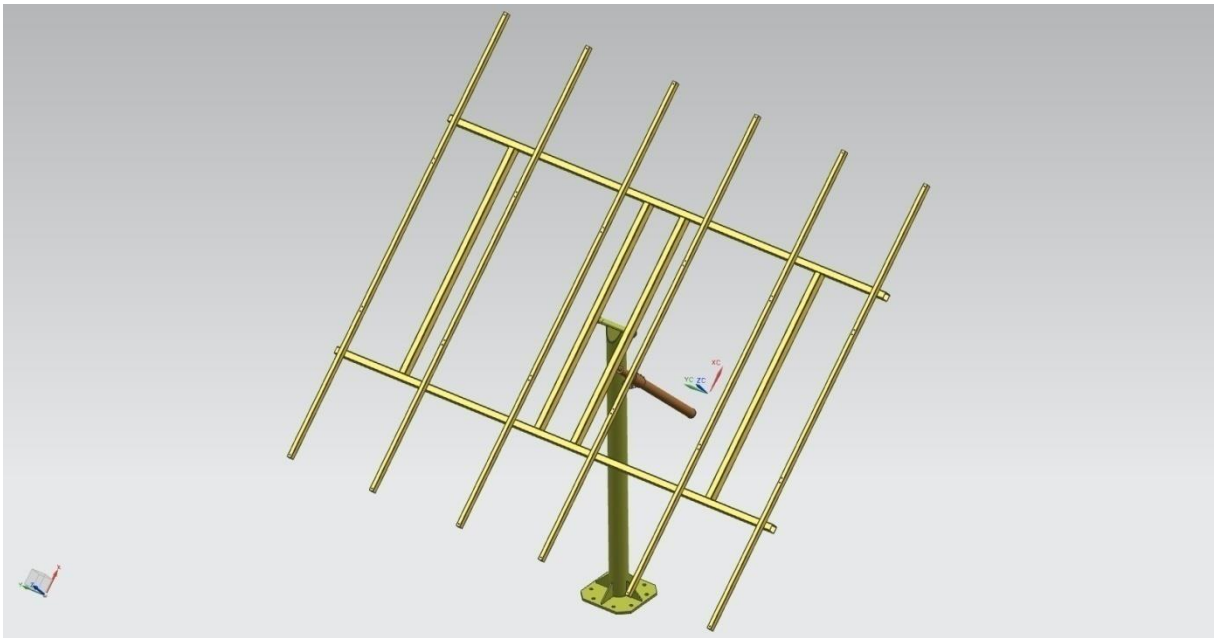
Všechny konstrukční varianty uvažují použití polykrystalických FV panelů schott poly o výkonu 280 Wp. Ty se dodávají s hliníkovým rámem, který slouží i pro uchycení panelu k samotné konstrukci. Řez profilem panelu je zobrazen na Obr. 14. Výrobce panelu garantuje životnost panelu na třicet let. Jeden panel i s kovovým rámem váží 41,5 kg a má rozměry 1313×1685 mm. Veškerá další specifika panelu jsou uvedena v technické zprávě, která je v příloze práce. Pro pohon konstrukcí budou využívány kupované elektrické motory. Ostatní typy pohonů popsány v kapitole 4.2 vyžadují značný technologický vklad. Pro menší solární elektrárnu se jeví výhodněji koupit hotový funkční pohon, který má známou cenu a dá se tak predikovat, kdy se jeho pořízení zaplatí z provozu elektrárny. Vývoj jiného typu pohonu bez nutných znalostí může stát velké množství finančních prostředků, navíc s nejistým výsledkem.



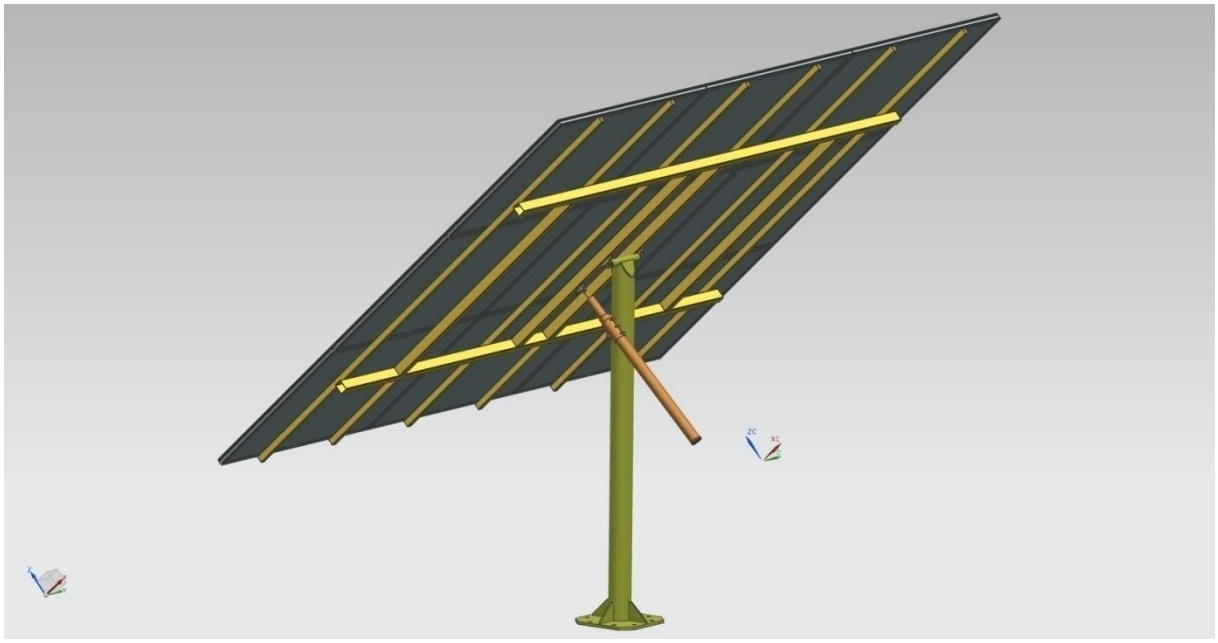
Obr. 14 Řez panelem Schott poly 280

5.2.1 Konstrukce měnící svou polohu v závislosti pouze ve vertikálním směru

Tato konstrukce umožňuje sledování dráhy slunce pouze v jednom směru, a to ve směru vertikálním. Cílem této konstrukce je kompenzovat změnu elevace slunce v závislosti na denní době a ročním období, kdy v létě je slunce vysoko nad obzorem, kdežto v zimě dosáhne menší výšky. Pohon konstrukce zajišťuje jeden lineární motor. Pevná část motoru je připevněna k nosnému sloupu a jeho pohyblivá část je připevněna ke svařované konstrukci.

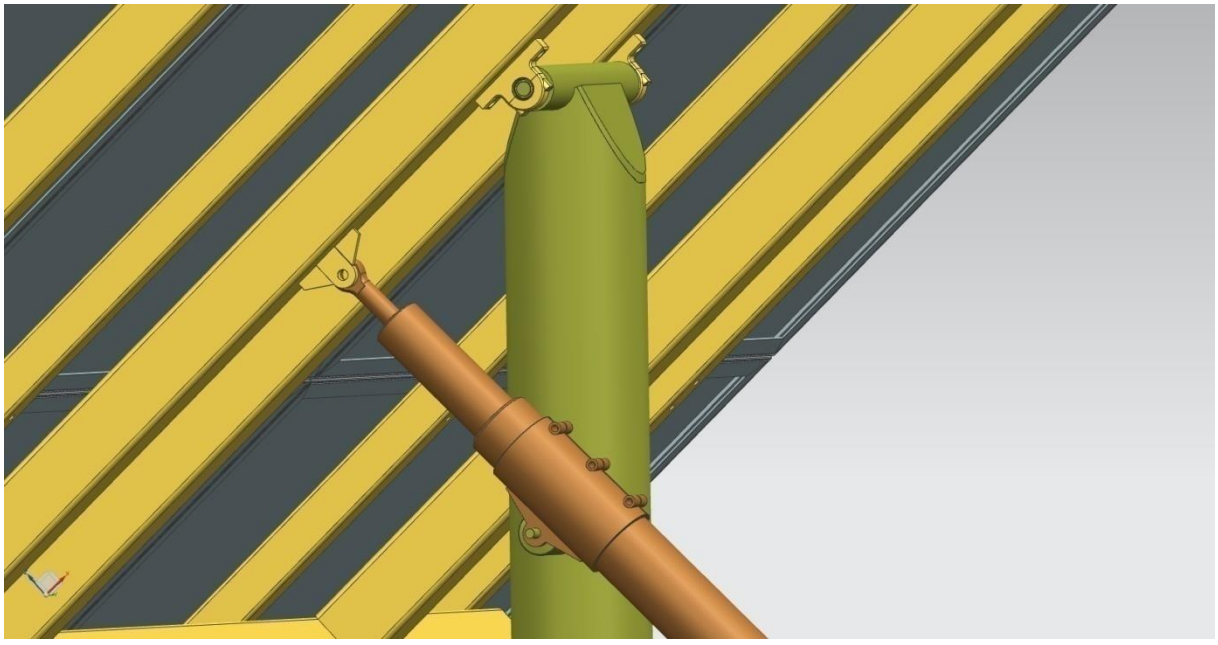


Obr. 15 Pohled na celou konstrukci bez FV panelů



Obr. 16 Zadní pohled na konstrukci s panely

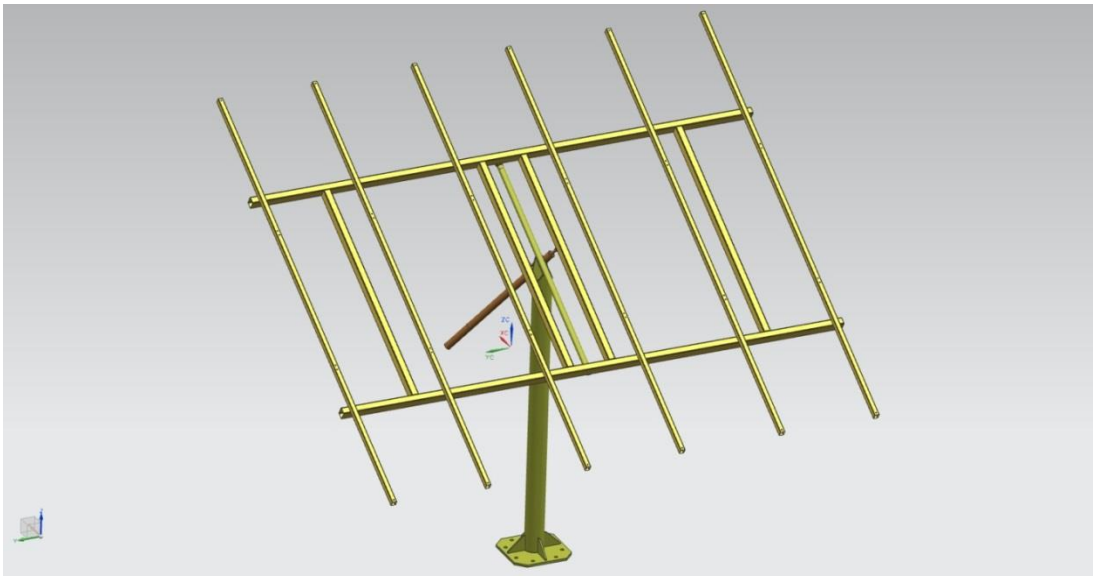
Plocha panelů se otáčí kolem kluzných radiálních kloubových ložisek, které jsou uloženy v prefabrikovaných k sobě sešroubovaných částech. Uložení ložisek je šrouby připevněno k nosné konstrukci panelů. V ložiskách je uložena trubka, která je pevně spojena s vysokým sloupem podpírajícím celou konstrukci. Sloup je zakončen plechem s otvory, za které se šrouby připevní k betonovému základu celé elektrárny. Samotná nosná konstrukce podpírající solární panely je složena z kovových profilů, jejichž rozměry i způsob jejich vzájemného spojování se budou řešeny až pro konečné řešení.



Obr. 17 Pohled na lineární pohon a ložiska s uložením

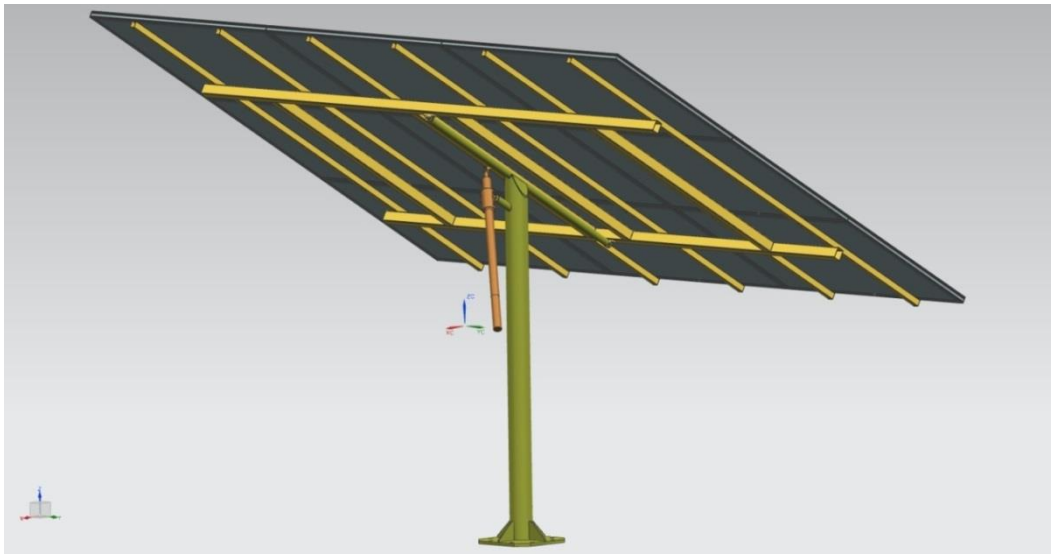
5.2.2 Konstrukce měnící svou polohu pouze v horizontálním směru

Tato konstrukce zajišťuje rotaci FV elektrárny v horizontálním směru. Cílem této konstrukce je co nejvěrněji sledovat průběh dráhy slunce od východu k západu, přičemž celá plocha solárních panelů má stálý sklon 30 °. Pohon znovu zajišťuje jeden lineární motor.

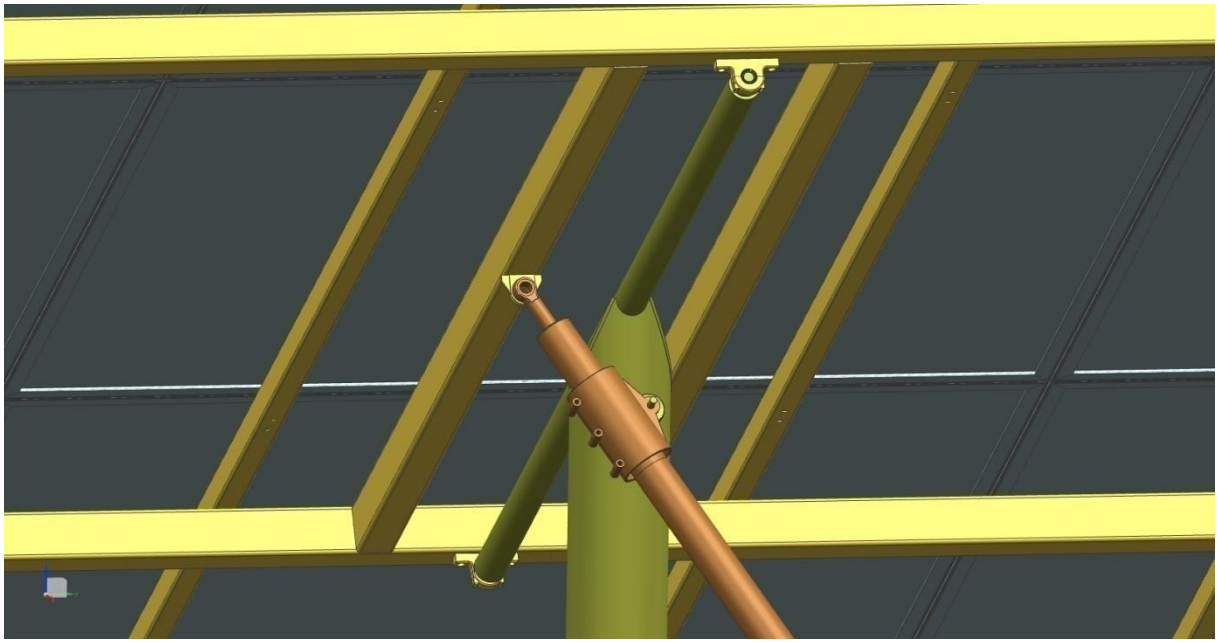


Obr. 18 Celkový pohled na konstrukci bez panelů

Konstrukce se otáčí kolem středové tyče, která je pevně spojena s nosným sloupem. Středová tyč je uložena ve dvou radiálních kloubových ložiskách, které jsou připevněny ke svařované konstrukci z ocelových profilů držících solární panely. Nosnou konstrukcí otáčí jeden lineární motor. Pevná část motoru je přišroubována k nosnému sloupu a pohyblivý píst je přišroubován k nosné konstrukci. Osa lineárního motoru musí být kolmá na osu otáčení nosné konstrukce jen s malou odchylkou. Tuto odchylku zajišťuje kluzné kloubové ložisko, které je v pohyblivé části motoru.



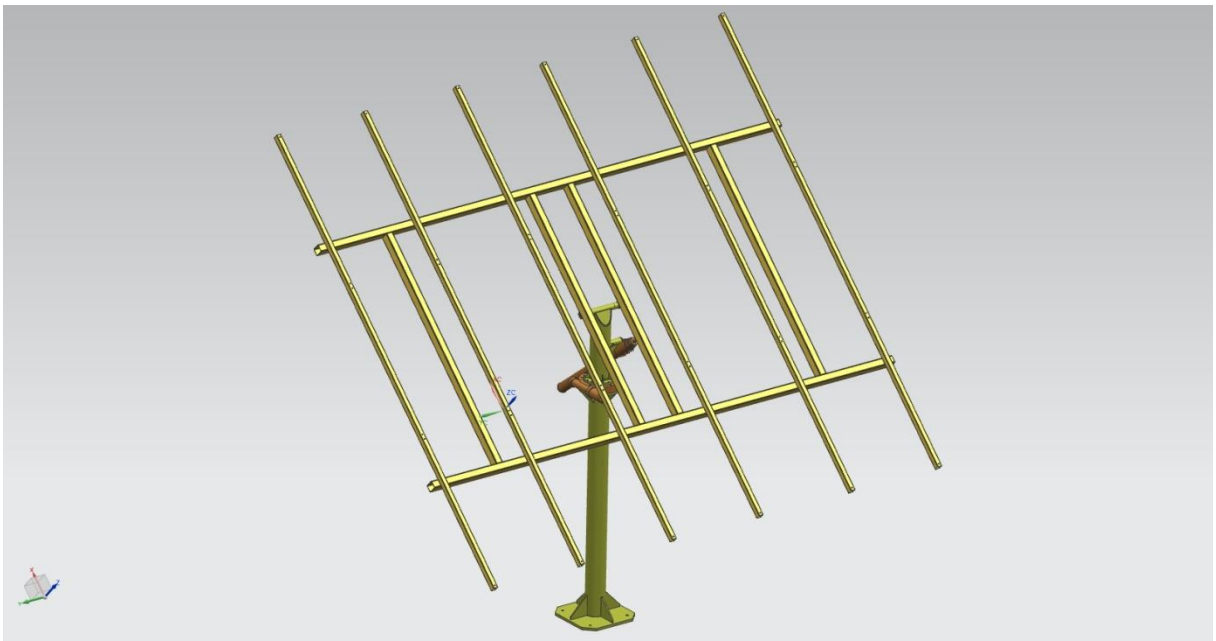
Obr. 19 Zadní pohled na celou konstrukci s panely



Obr. 20 Pohled na ložiska a lineární pohon

5.2.3 Konstrukce měnící svou polohu ve dvou osách

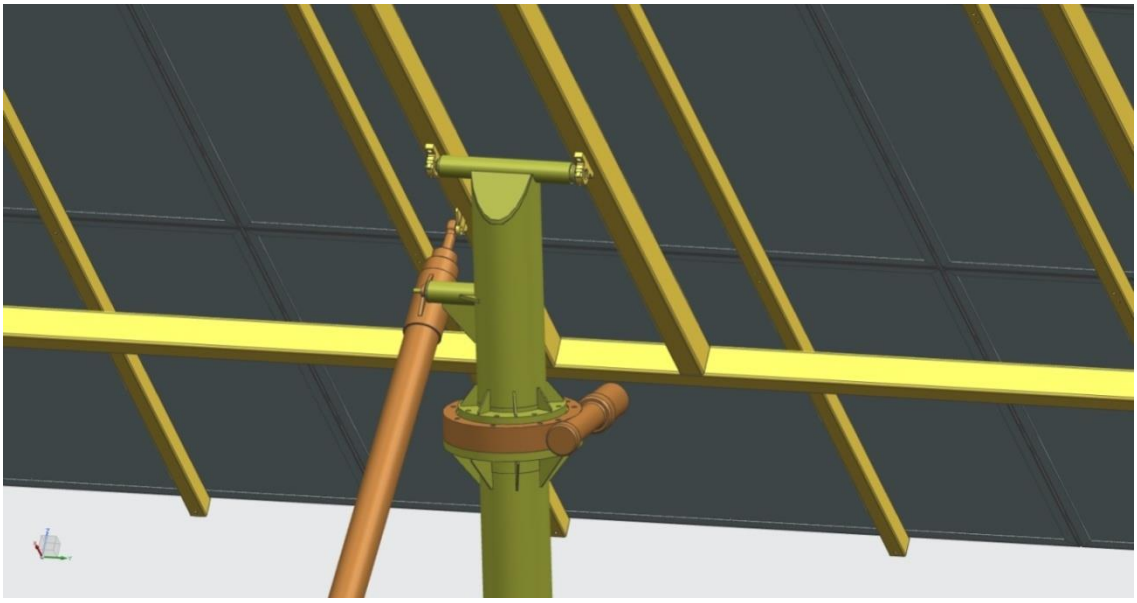
Tato konstrukce umožňuje otáčení ve dvou osách, takže sleduje slunce zhruba po celou dobu jeho svitu. Princip otáčení ve vertikálním směru je stejný jako u první varianty. Pohyb ve vertikálním směru zajišťuje lineární motor, který je připevněn k nosnému sloupu a jeho pohyblivá část je připevněna ke svařované konstrukci.



Obr. 21 Pohled na konstrukci s dvouosou rotací

V horizontálním směru konstrukcí otáčí rotační motor. Rotační motor se skládá z pohyblivé a nepohyblivé části. Nepohyblivá část obsahuje elektrický pohon, hřídel se šnekovým ozubením a ocelové tělo, které tvoří vnitřní část motoru. Pohyblivou částí je kolo,

které má na svém obvodu ozubení a je poháněno hřídelí se šnekovým ozubením. Pohyblivé kolo je vůči tělu motoru také vymezeno valivým ložiskem. Typ ložiska záleží na maximální dovolené zátěži motoru. Do obou částí jsou vyvrtány otvory, za které lze motor upevnit ke konstrukci. V této variantě je pohyblivá část spojena se spodní částí nosného sloupu a nepohyblivá část s horní částí nosného sloupu. Při pohybu motoru se tak tělo motoru pohybuje s otáčenou konstrukcí a snižuje se tak možnost kolize s ostatními prvky konstrukce nebo elektroinstalace elektrárny.



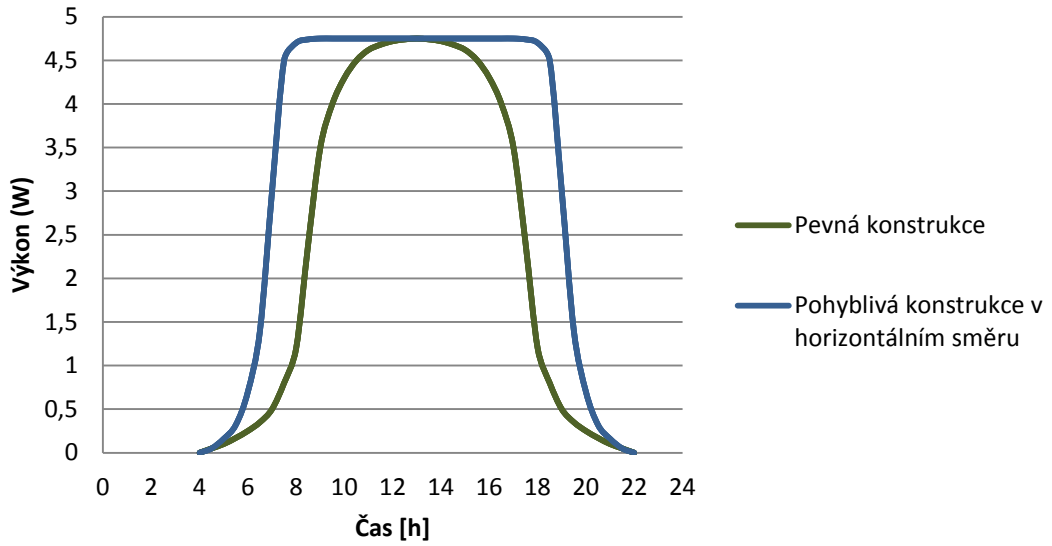
Obr. 22 Umístění ložisek a obou pohonů v konstrukci

5.3 Zhodnocení navržených variant

Z hlediska výtěžnosti FV elektrárny má nejhorší výsledky první varianta založená na konstrukci otáčející se jen ve vertikálním směru. Vykazuje jen o něco málo vyšší souhrnný denní výkon, než elektrárna s pevnou konstrukcí. Je nanejvýše sporné, zda by se vůbec za této varianty vyplatilo do pohonu investovat nejen vstupní náklady, ale i náklady provozní. Motor ke svému provozu potřebuje elektřinu a tím snižuje účinnost elektrárny, nebo zdražuje její provoz. Další investice jsou třeba pro uložení a zakoupení ložisek. Čistě z obecného pohledu, konstrukce, která se otáčí v jednom místě, má do tohoto bodu i směřovanou konstrukci, kdežto u pevné elektrárny lze celá konstrukce rovnoměrněji rozložit a upevnit na více místech k zemi.

Mnohem větší potenciál má konstrukce, která se otáčí v horizontálním směru. Nárůst výkonu již je nezanedbatelný a pořízení motoru i náklady spojené s jeho provozem by se jistě vyplatily. Velkou nevýhodou druhé varianty je uložení otočné trubky do kluzných radiálních kloubových ložisek. Takovéto uložení musí zachytit jak tíhové síly působící vertikálně, tak i síly od větru, které mají obecný směr. Ložiska, která by v požadované poloze osy otáčení obě podmínky splňovala, by byla relativně složitá a zbytečně nákladná. Problém s ložisky by se odstranil výměnou lineárního motoru za motor rotační, který je použitý ve třetí variantě. Tím

by se jen rozdělil nosný sloup na dvě části a pohyblivá část by byla jako celek pevně spojena přírubou s rotačním motorem.



Obr. 23 Diagram závislosti výkonu na čase u pohyblivé a nepohyblivé konstrukce pro letní provoz [11]

Třetí varianta s obecným pohybem ve dvou osách využívá výhody horizontálního otáčení pomocí rotačního motoru s tím, že náklady na operační elektroniku pro jeden motor už budou jistě potřeba a lineární motor navíc nebude takovým zatížením. Konstrukce společně s kvalitní elektroinstalací a ovládáním motorů bude schopna dosahovat nejefektivnějších možných výkonů pro daný typ použitých panelů. Jak bylo popsáno v kapitole 2.1.2, výkon pohyblivé konstrukce se může teoreticky zvýšit až o 56 %. To je ale v praxi nereálná hodnota a navýšení se bude pohybovat kolem třiceti procent, což je ale jistě zajímavé zvýšení.

Třetí varianta pracuje stejně jako první s kluznými radiálními kloubovými ložisky. Ty ale konstrukci zesložiťují a navíc je relativně obtížné je upevnit ke konstrukci tak, aby jejich uložení nepůsobilo jako koncentrátor napětí. Je tedy nanejvýš vhodné je nahradit nějakým typem kloubu nebo páky. Dalším zbytečným oslabením konstrukce ve třetí variantě je velká vzdálenost rotačního motoru od osy otáčení natáčené konstrukce. Snížením vzdálenosti těchto prvků způsobí snížení velikosti momentů sil působících na motor a tím sníží jeho namáhání.

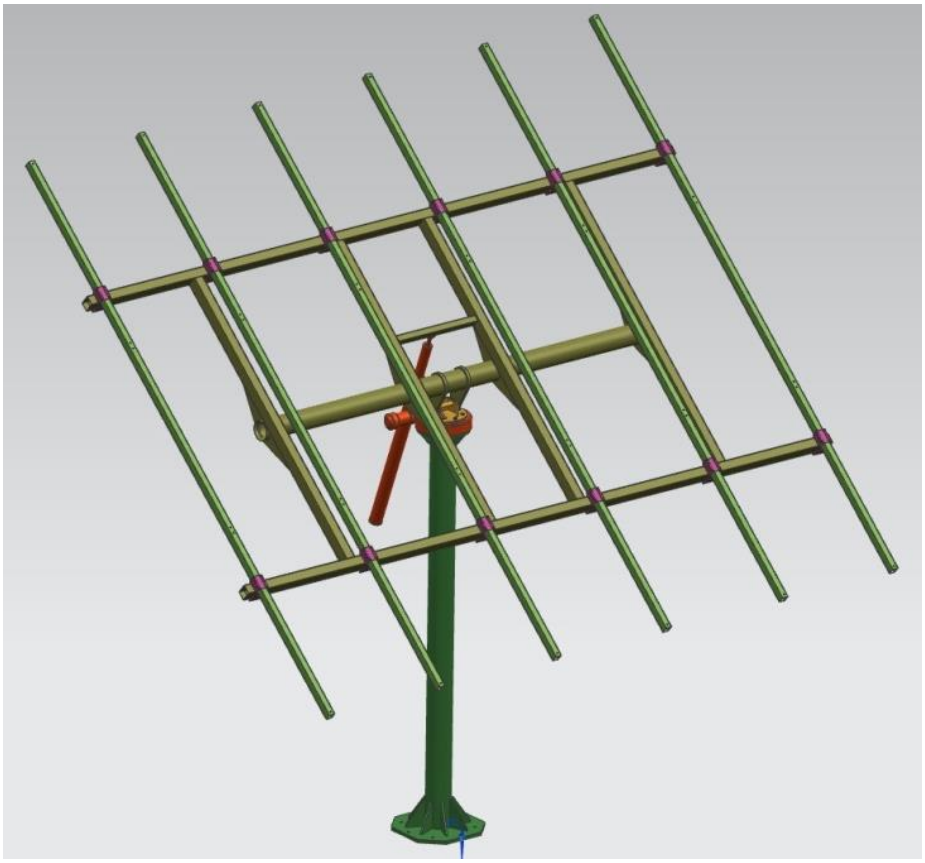
5.4 Vypracování konstrukčního řešení a jeho zpracování

V této kapitole je na základě poznatků z navržených variant konstrukce nastavovacího mechanismu FV elektrárny vypracováno řešení, které by mělo optimálně splňovat požadavky popsané v kapitole 5.1.

5.4.1 Vypracování konstrukčního řešení

Konstrukce vycházející z navržených variant je schopna sledovat slunce ve dvou osách pomocí horizontálního a vertikálního pohybu. Dvouosý pohyb konstrukce má nejlepší poměr výtěžnosti a pořizovací ceny. Pohyb v horizontálním směru umožňuje rotační pohon a pohyb ve směru vertikálním lineární pohon. Veškerý hutní materiál v konstrukci, ať už svařovaný, či

opracovaný, projde finální úpravou pozinkováním. Účelem této povrchové úpravy je zajistit dlouhou a bezúdržbovou životnost konstrukce. Sestavu konstrukce lze rozdělit na pevnou, rotační a natáčecí část.



Obr. 24 Celkový pohled na navrženou konstrukci bez panelů

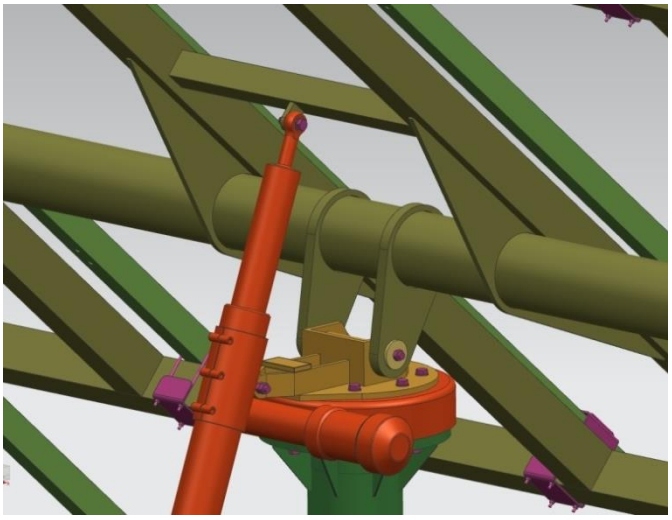
- **Pevná část**

Pevná část je tvořena hlavním sloupem. U paty sloupu je plech s otvory, které slouží k upevnění konstrukce k betonovému základu. Spojení pevného sloupu a základového plechu je zesíleno osmi žebry. V horní části hlavního sloupu je plechová příruba s otvory, které slouží k uchycení rotačního motoru. Stejně jako u paty sloupu je i příruba v horní části sloupu podepřena žebrováním.

Obr. 25 Boční pohled na konstrukci s panely

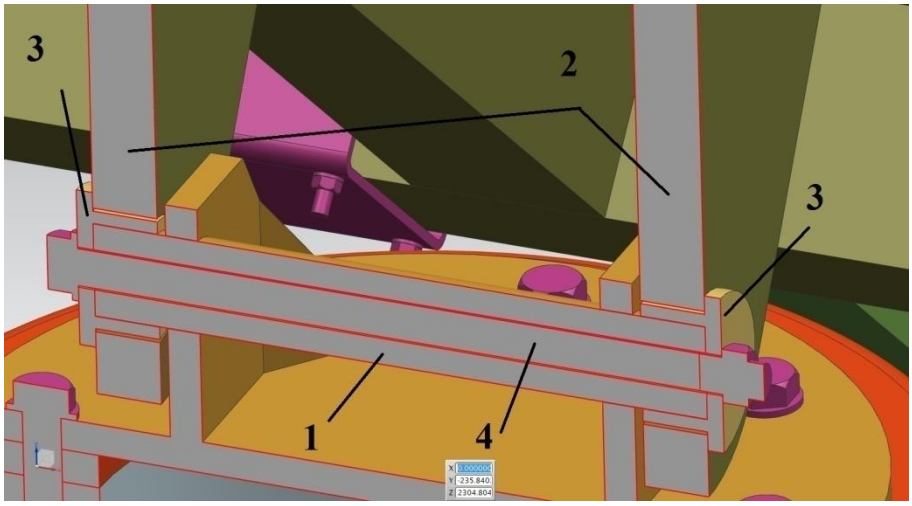
- **Rotační část**

Rotační částí konstrukce lze nazvat lineární motor, tělo rotačního motoru a uložení otočné konstrukce. K rotačnímu motoru je šrouby připevněna příruba, která tvoří základ pro plechový svařenec. Ten slouží k upevnění pevné části



Obr. 26 Pohled na pohonnou soustavu konstrukce

lineárního motoru a k přenesení sil z natáčené konstrukce do sloupu. Do plechového svařence je napevno přivařena ocelová trubka, která má na koncích nasazené bronzové vložky. Ty jsou k trubce připevněny šroubovým spojem a slouží k vymezení vůle mezi plechem v natáčecí konstrukci a ocelovou trubkou uloženou v rotační části konstrukce. Šroub použitý pro upevnění bronzových vložek je relativně dlouhý a jeho správným předepnutím lze zvýšit pevnost celého uložení. Použití bronzové vložky má více důvodů. Jedním z nich je usnadnění výroby. Kdyby plech v natáčecí části přímo dosedal na trubku v části rotační, musela by se tato trubka po zavaření do svařence opracovat, což by bylo relativně složité. Dále kdyby se stýkaly dvě ocelové plochy plechu a trubky, docházelo by k zadírání a poškozování obou ploch.

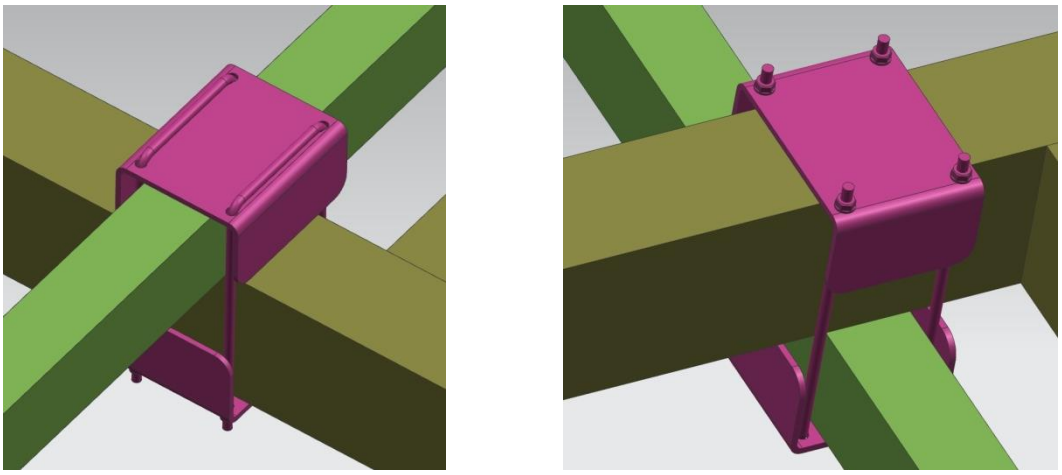


Obr. 27 Řez kloubem uložení natáčecí části: 1- rotační část, 2- natáčecí část, 3- bronzové vložky, 4- šroub

- **Natáčecí část**

Poslední částí konstrukce je natáčecí část, která je k rotační části připevněna přes rotační vazbu. Ta je uskutečněna přes bronzové vložky, které nahrazují kluzná kloubová radiální ložiska z předešlých variant a pro dané rychlosti i zatížení plně dostačují. Řez uložení natáčecí části je na Obr. 27. Základem natáčecí části je ocelová trubka, ke které jsou přivařeny plechové výpalky. Kruhový profil trubky byl zvolen zejména kvůli velkému proměnlivému namáhání tohoto základního dílu. Kruhový profil má vzhledem ke své hlavní centrální ose stejné kvadratické charakteristiky a proti kroucení je odolnější, než profil obdélníkový. Ocelové výpalky ve střední části základní trubky slouží k připevnění natáčecí části k části rotační přes bronzové vložky. Plocha otvorů, které se budou klouzat po ploše bronzové

vložky, musí být po pozinkování konstrukce broušeny. Dále je na základní trubku v natáčecí části přivařena konstrukce z obdélníkových ocelových profilů. Svarové spojení ocelových profilů a základní trubky je zesíleno ocelovými žebry. Svařená konstrukce poskytuje natáčecí části tuhost v ohybu, rovnoměrně rozkládá a přenáší zatížení od tíhy panelů i dalších namáhání konstrukce. Mezi obdélníkové ocelové profily přivařené k nosné trubce je přivařen menší ocelový profil, který slouží k uchycení pohyblivé části lineárního motoru. Ke svařované konstrukci jsou připevněny ocelové obdélníkové profily s menším průřezem, které slouží k uchycení solárních panelů. Spojení je provedeno plechovými výlisky, které jsou navzájem spojeny tyčkami opatřenými na koncích závity a ohnutými do tvaru písmene U. Mezi dosedací plochu rámu panelů a plochu nosných ocelových profilů je nanejvýše vhodné vložit nějaký pružný prvek s dobrými tlumícími vlastnostmi. Při určitých podmínkách, které by začaly na konstrukci působit s frekvencí, která by se shodovala s vlastní frekvencí konstrukce, by mohlo dojít k rozkmitání celého systému. Tato pravděpodobnost je sice malá, ale je vhodné jí předejít. Pružný podklad navíc vytvoří na šroubový spoj stálý tlak, který znesnadňuje jeho povolení.



Obr. 28 Šroubové spojení svařované konstrukce a ocelových profilů nesoucích FV panely

5.4.2 Výpočet sil působících na konstrukci

Při výpočtu namáhání konstrukce nastavovacího mechanismu FV elektrárny se v této práci uvažuje s těmito elementy:

- hmotnost panelů,
- hmotnost vlastní konstrukce,
- zatížení konstrukce osazené FV panely větrem,
- zatížení konstrukce osazené FV panely sněhem.

Síla vzniklá působením větru na spojitou plochu je vypočtena z Newtonova vzorce [22].

$$F = 0{,}5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \ [N]$$

Kde $C_x = 1{,}2$ je bezrozměrný součinitel odporu hladké rovné stěny, $\rho \left[\frac{kg}{m^3}\right]$ zastupuje hustotu vzduchu, $S \ [m^2]$ je plocha panelů a $v\left[\frac{m}{s}\right]$ je rychlost proudícího vzduchu. Mezní hodnotu

rychlosti vzduchu pro danou lokalitu určuje norma EN 1991-1-4, kde se na základě geografické polohy určí maximální rychlost vzduchu z mapy větrných oblastí, která je přiložena v příloze práce. Pro danou oblast Plzeňska se předpokládá nejvyšší rychlost větru do 25 m/s .

Síla, vzniklá působením sněhu je vypočtena dle normy EN 1991-1-3. Ta určuje, jakým součinitelem vynásobit zatížení konstrukce. Hodnota součinitele se určuje podle nadmořské výšky a lokality, ve které se konstrukce nachází. Opět pro oblast v okolí Plzně se zatížení od působení váhy sněhu vypočítá vynásobením ostatního určeného zatížení bezrozměrovým součinitelem 0,2.

Celkové hodnoty jsou uvedeny v Tab. 1, která v programu Excel přepočítává podle zadaných parametrů zatížení konstrukce.

Tab. 1 Tabulka zatížení konstrukce generovaná pro danou variantu

Zatížení konstrukce	
Počet panelů [ks]:	9
Plocha panelů [m^2]:	19,90
Hmotnost panelů [kg]:	373,52
Hmotnost nosné konstrukce [kg]:	246,34
Síla od hmotnosti panelů [N]:	3664,03
Celková síla od hmotnosti [N]:	6077,29
Zatížení větrem [N]:	8993,68
Zatížení od sněhu [N]:	1215,46
Celkové zatížení [N]:	16286

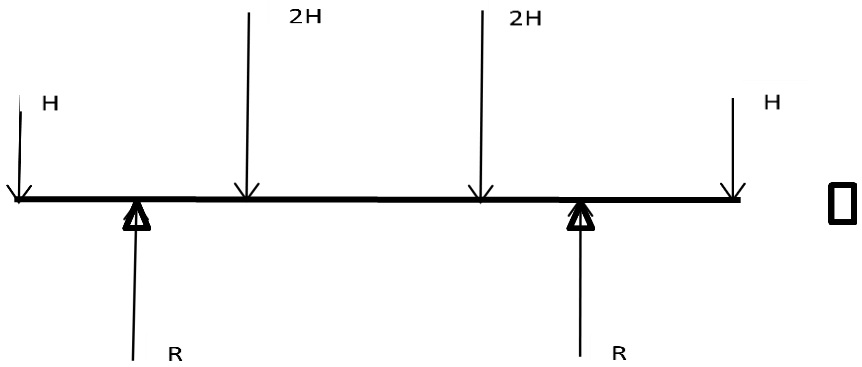
5.4.3 Výpočty namáhání a deformací hlavních nosných částí

Hlavní nosné části nastavovací konstrukce FV elektrárny budou v této kapitole kontrolovány a dimenzovány z hlediska dovoleného napětí a deformací metodou konečných prvků (dále jen MKP). Účelem výpočtu pomocí MKP je kontrola hodnoty napětí v různých částech konstrukce, určení deformací použitých prvků, nalezení koncentrátorů napětí a oblastí, na které je případně třeba upozornit při jejich výrobě a opracování.

- **Profil 50×40×2**

Jako první bude určeno namáhání ocelových obdélníkových profilů, které přímo nesou FV panely. Ocelový profil má průřez o rozměrech 50×40×2 mm a délku skoro čtyři metry. Zatěžující síla je rovna H = 453,5 N. Reakce R reprezentuje reakci od konstrukce, ke které je jekl přišroubován. Hodnota síly H je určena ze zatížení jednoho panelu.

Na obrázku níže je zobrazen prut reprezentující okrajové podmínky pro jednu tyč.



Pro rovnováhu sil na prutu platí vzorec:

$$\sum F_i x = 0\,; \;\; 6H = 2R$$

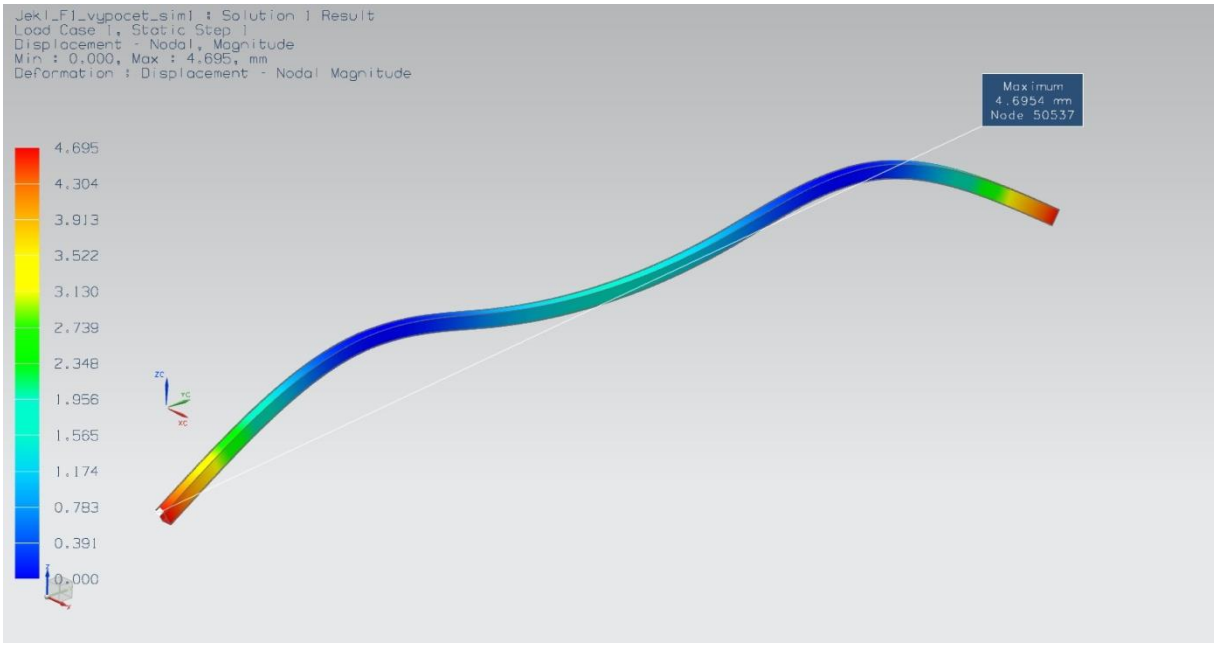
$$R = 1360{,}5\ [N]$$

Dále je pro kontrolu ustanovena momentová podmínka k místu působení první reakce, která obsahuje přesné rozměry převzaté z konstrukce:

$$\sum M_i = 0\,; \; -H \cdot 0{,}92 + 2H \cdot 0{,}382 + 2H \cdot 1{,}696 - R \cdot 2{,}077 + H \cdot 2{,}997 = 0$$

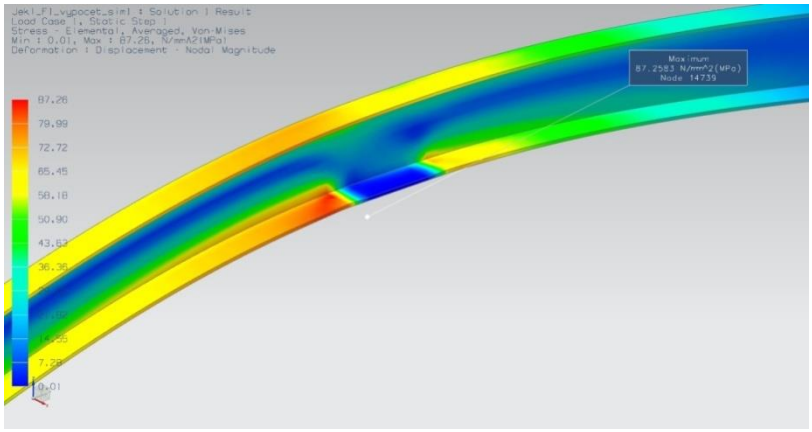
$$R = 1357{,}62\ [N]$$

Rozdíl mezi výpočty je v rámci chyby vzniklé zaokrouhlením, pro výpočet bude použit první výsledek. Hodnota reakce R bude použita jako zatěžující síla u další části počítané konstrukce.

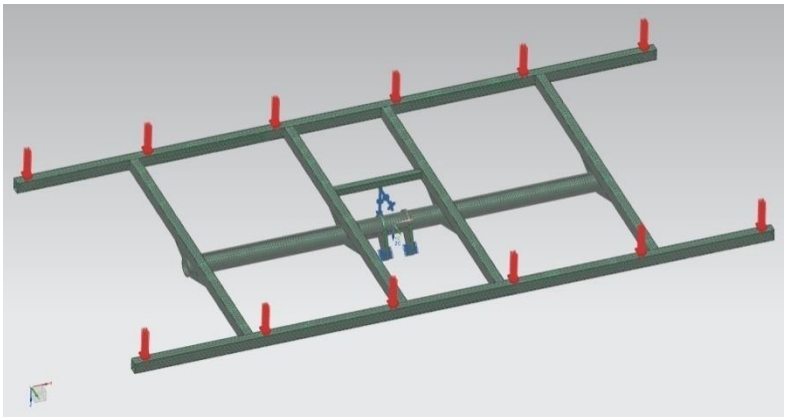


Obr. 29 Deformace podél ocelového profilu

Velikost deformace zobrazená na Obr. 31 je uspokojivá. Velikost deformace tohoto prvku je důležitá, protože nesmí dojít k dotyku zadní stěny solárního panelu s nosnou konstrukcí. Mezi zadní stranou FV panelu a zkoumaným profilem je prostor 12,5 mm. V místě použití šroubovaných spojení mezi menším jëklem a svařovanou konstrukcí je prostor 6 mm. Při použití pružných podložek mezi panel a konstrukcí, obě vzdálenosti se ještě minimálně dvojnásobně zvýší. Vzhledem k tomu, že nejvyšší deformace na počítané součásti je skoro 5 mm, je tuhost tohoto profilu dostatečná. Na obr. 31 je patrná koncentrace napětí u uložení počítaného profilu. Tato koncentrace ovšem u reálných profilů nebude taková, protože pro výpočet pomocí MKP jsou použity profily zanedbávající zaoblení hran ocelových profilů. Toto zaoblení se podle normy ČSN EN 101 19-2 pohybuje v rozmezí 1,6-2,4 T, kde T je tloušťka stěny profilu. Jinak je hodnota napětí uspokojivá a ocelový profil 50×40×2 mm poskytuje dostatečnou tuhost a zároveň není předimenzovaný.



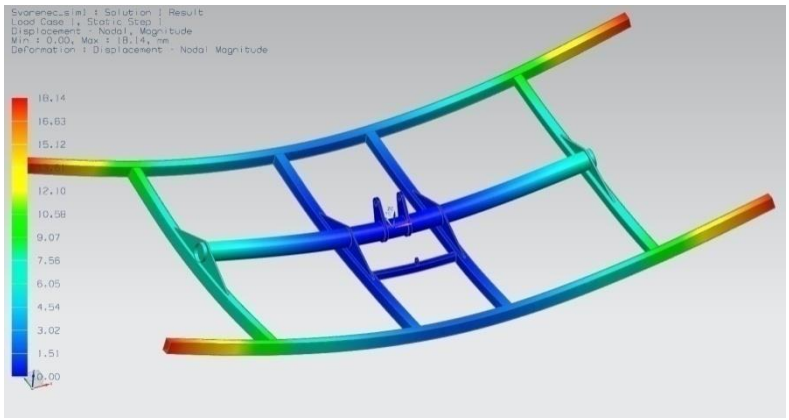
Obr. 31 Pohled na průběh napětí podél profilu v řezu



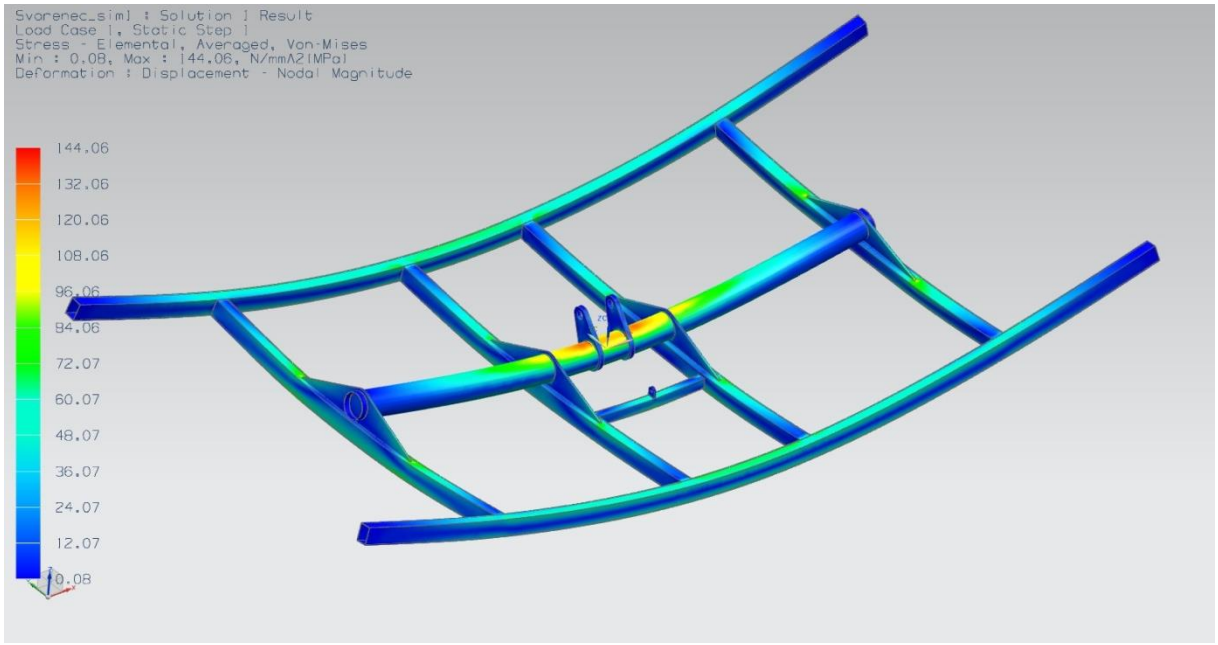
Obr. 30 Zasíťovaný model svařované konstrukce

- **Svařovaná konstrukce**

Další zkoumanou částí je konstrukce svařovaná z ocelových profilů 80×60×3 mm, ocelové trubky o průměru 127 mm a tloušťce stěny 4mm. Pro zesílení jejich spojení jsou použity žebra o síle 10 mm. Ukotvení svařované konstrukce k rotační části elektrárny jsou použity plechové výpalky o síle 20 mm. Síly zatěžující konstrukci byly vypočteny u předchozí komponenty jako R=1360,5 N.

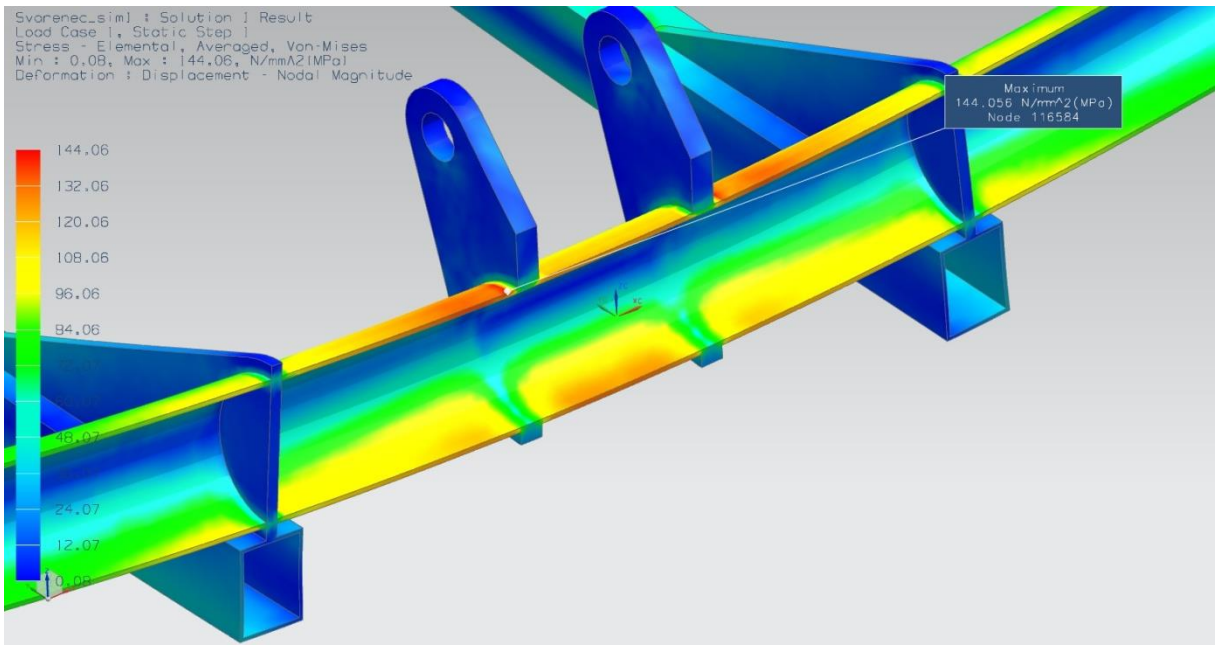


Obr. 32 Deformace svařované konstrukce



Obr. 33 Průběh napětí podél svařované konstrukce

Deformace svařované konstrukce dosahuje přijatelných hodnot, celá konstrukce je dlouhá přes čtyři metry a jeví se tak dostatečně tuhá. Na Obr. 34 je v řezu zobrazena hlavní nosná trubka svařence v místech s největším napětím. Patrná je koncentrace napětí ve spojení trubky a plechů uchycujících konstrukci. V tomto místě závisí hlavně kvalitě provedení obvodového svaru. V případě, že by svářecí technolog nedoporučil vaření takto silného svaru na trubku o stěně silné čtyři milimetry, je relativně snadno možné přes tuto trubku před zavařením ostatních částí převléct trubku ještě jednu větší, která by po přivaření na menší trubku stěnu zesílila. Otvory v plechových částech by se zvětšily na průměr nové větší trubky a přivařili by se k ní. Na Obr. 33 je vidět průběh napětí po celé svařené konstrukci. Dobře působí napětí kolem žebrových spojení, které na konstrukci vhodně rozkládají napětí.



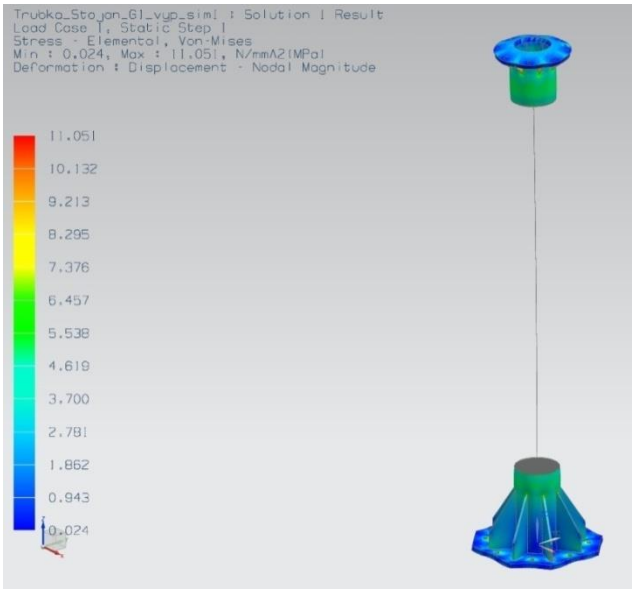
Obr. 34 Napětí zobrazené v řezu trubky

- **Pevný nosný sloup**

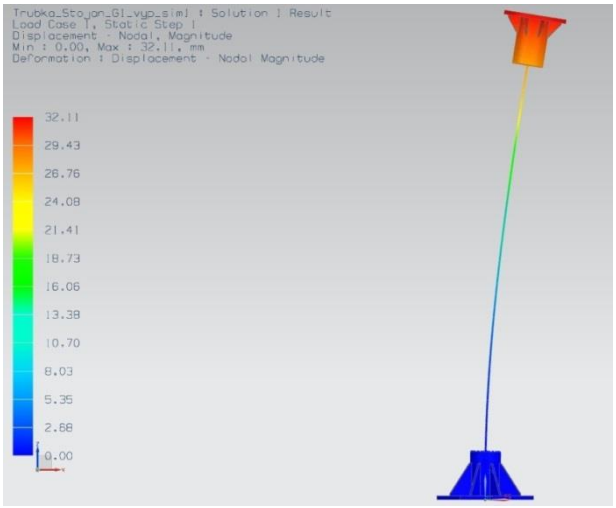
Nosný sloup je zkoumán ve dvou krajních polohách FV elektrárny. Sloup je tvořen ocelovou trubkou o tloušťce 159 mm, síle stěny 4,5 mm a délce 2,5 m. Pata i hlava sloupu jsou z plechů o síle 20 mm. Spojení sloupu a plechů je zesíleno ocelovými žebry o tloušťce 10 mm. První zatížení sloupu se uvažuje při kolmém působení větru na celou plochu elektrárny, která je ve vertikální pozici, tedy v pozici pro konstrukci sloupu nejnevýhodnější. Zatížení větrem je vzato z Tab. 1 a působí kolmo na hlavu sloupu. Zatížení od hmotnosti nesené konstrukce působí rovnoběžně s osou sloupu ve vzdálenosti 0,18 m a vytváří tak na sloup krouticí moment. Zatížení od sněhu se v tomto výpočtu nezohledňuje, protože je plocha panelů ve vertikální poloze. Zatížení od větru dosahuje tedy 9000 N a síla od hmotnosti nesené konstrukce působí velikostí 6120 N. Největší deformace sloupu v jeho horní části je 32 mm, což není na jeho délce žádná výrazná vzdálenost. Větším problémem je ovšem napětí u paty sloupu. Vyobrazení průběhu napětí v patě sloupu je na Obr. 38. Napětí téměř dosahuje hodnoty 290 MPa, což je napětí značné. Pro jeho snížení se bude výpočet opakovat s trubkou většího průměru a s použitím vyšších zpevňovacích žeber.

Pro druhý výpočet je zvolena trubka o průměru 196 mm a tloušťce stěny 5,6 mm. Elastický modul průřezu první použité trubky je 82,05 cm^3, kdežto modul druhé počítané trubky je 151,25 cm^3. Žebra byla zvýšena ze 170 mm na 270 mm. Účinek zesílení trubky a zvýšení žeber na hodnoty deformace a napětí je značný. Maximální deformace sloupu se snížila z 28 mm na 13 mm. Maximální napětí se snížilo z 290 MPa na hodnotu 167 MPa, což je opět mnohem lepší hodnota. Vypočítaný průběh napětí ukazuje relativně značnou koncentraci napětí ve spojení špičky zpevňujících žeber s nosnou trubkou. Podobně jako u spojení natáčecí konstrukce je zde velice důležitá kvalita svarového spojení. Výsledek výpočtu napětí je vyobrazen na Obr. 39.

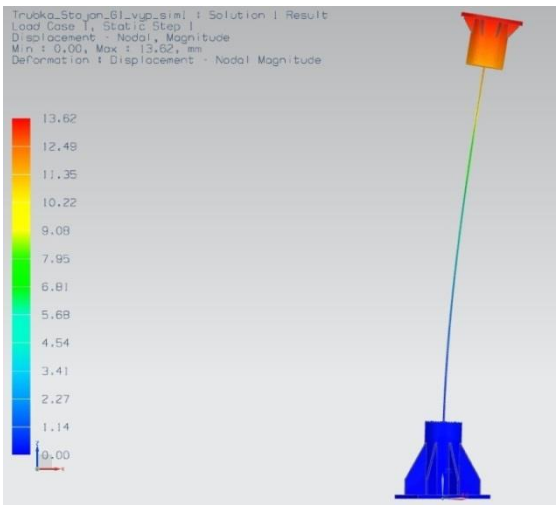
Doplňkový výpočet pevného nosného sloupu se zabývá druhou krajní polohou natáčecí konstrukce FV elektrárny. V této poloze je plocha solární elektrárny v horizontální poloze a síly na sloup působí v ose nosného sloupu. Ve výpočtu se bude uvažovat plné zatížení od nesené hmotnosti, od působení sněhu a trochu nereálně i od působení větru kolmo na plochu FV panelů. Jak je patrné na Obr. 35, pevný nosný sloup nemá s přenesením tohoto zatížení větší problémy.



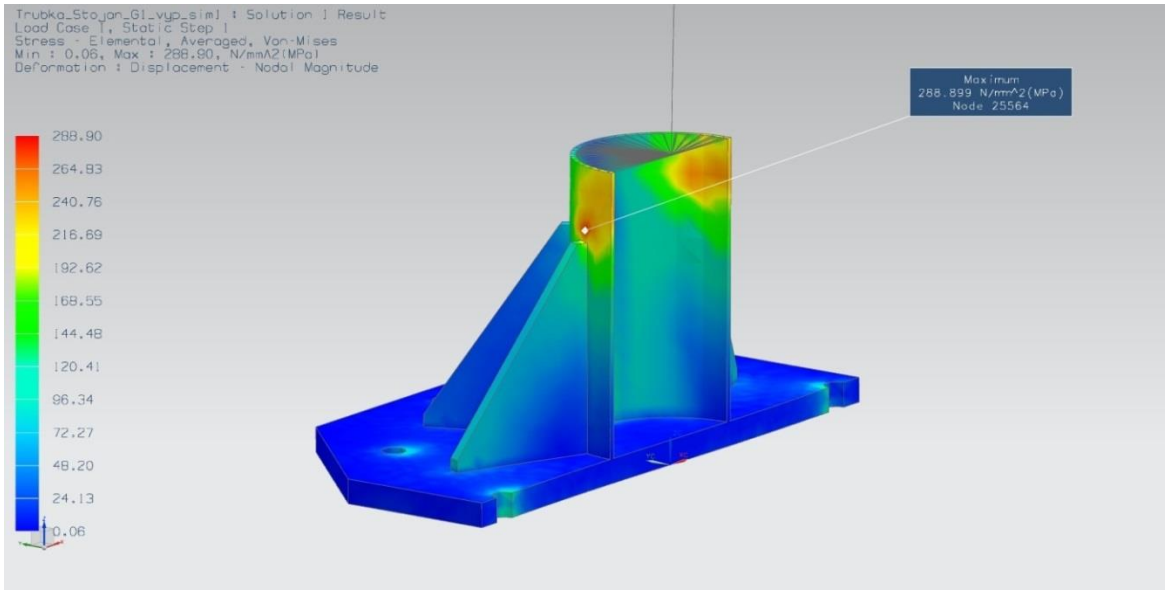
Obr. 35 Napětí od vertikálního zatížení sloupu



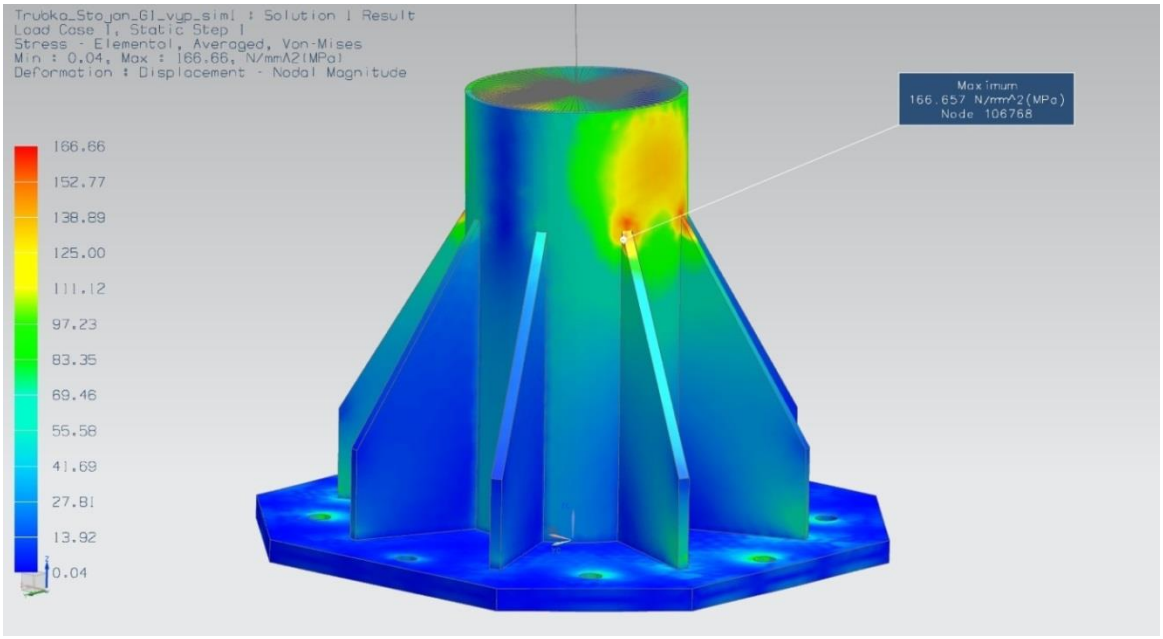
Obr. 36 Deformace sloupu (první výpočet)



Obr. 37 Deformace sloupu (druhý výpočet)



Obr. 38 Napětí v patě sloupu (první výpočet)



Obr. 39 Napětí v patě sloupu (druhý výpočet)

5.4.4 Výběr dostačujících pohonů

V oblasti možných motorů pro pohon nastavitelné solární elektrárny je veliký výběr. Zejména čínská produkce v této oblasti je značná. V této práci jsou tedy vybrány pohony, které vytyčeným potřebám dostačují, a není proveden výběr toho nejlepšího modelu.

- **Lineární motor**

Konstrukce požaduje pro plnou možnost natočení z vertikální do horizontální polohy motor s minimálním zdvihem 470 mm. Lineární motor také bude muset nést část zatížení, které působí na natáčecí konstrukci. Je třeba zvolit motor s větším možným zatížením. Požadavkům vyhovuje motor SM4S900M3C3 [6] od slovenské firmy Sat Control. Disponuje dostatečným zdvihem a jeho maximální dovolené zatížení je 15000 N. Maximální dovolené dynamické zatížení dosahuje hodnoty 8000 N. Motor je vyroben z nerezové oceli. Celý motor lze také uložit do plastového krycího rámu, takže bude chráněn od okolního prostředí. Jeho pohyblivá část je zakončena kloubovým kluzným ložiskem, které dovoluje výchylku ±13 °. Tato odchylka dovoluje nižší požadovanou přesnost při montáži svařované konstrukce. Maximální vůli v nastavení motoru výrobce uvádí 0,15 mm. Vůle v uložení pohonu do dvou rotačních vazeb se bude pohybovat okolo 2 mm. Nastavování pomocí lineárního motoru tak bude dostatečně přesné. Motor muže pracovat v teplotním rozsahu -25 ° až 80 °. Napájení potřebné pro chod pohonu má hodnotu 4A a 24VDC. Jeho spotřeba při provozu se pohybuje od dvaceti do padesáti wattů.

- **Rotační motor**

Pro rotaci konstrukce je vybrán motor přímo určený na natáčení solárních sledovačů, který je konstruován pro venkovní použití. Je tedy odolný vůči venkovním vlivům. Typ motoru je GSS300 od společnosti Sunflower Energy [20]. Jeho maximální radiální zatížení dosahuje hodnoty 135 KN a axiální zatížení 338 KN. Motor tedy nadmíru splňuje pevností požadavky. Menší motor s nižším dovoleným namáháním nelze použít, protože je zapotřebí dodržet rozteče děr v přírubách u pevného sloupu. Přesnost natáčení motoru se pohybuje od 0,1 ° do 0,14 °, což je výborná hodnota. Napájení potřebné pro chod pohonu jsou 3 A a 24 VDC. Jeho spotřeba při provozu se pohybuje od dvaceti do padesáti wattů.

6 Zhodnocení navrženého konstrukčního řešení

Konstrukce nastavovacího mechanismu FV elektrárny navržená v této práci je v této kapitole hodnocena z ekonomického a celkového (funkčního) pohledu.

6.1 Ekonomické zhodnocení

K výrobě navržené konstrukce není třeba zvláště náročné vybavení, ani špičkové technické zázemí. K náročnějším technologickým úkonům při výrobě konstrukce patří svařování, které na kritických místech konstrukce musí splňovat nároky na kvalitu svaru. Povrchová úprava konstrukce pozinkováním bude provedena jako zakázka žárovou zinkovnou. Vzhledem k tomu, že žádná součást konstrukce nepřesahuje rozměr tří metrů ve dvou rozměrech, nebude s jejich přepravou žádný větší problém. U větších konstrukcí nad tři metry je třeba povolení a tím se doprava i cena za ní komplikuje. Celkové ekonomické zhodnocení se týká pouze konstrukčních a pohonných prvků. Další výdaje za FV panely, elektroinstalaci i ovládací systém natáčení konstrukce se výrazně mění s typem provedení a pro jejich analýzu již v této bakalářské práci není prostor. Konstrukce umožňující sledování slunce ve dvou osách dlouhodobě zvýší výtěžnost FV elektrárny o zhruba třicet procent [3]. Při předpokládané životnosti FV panelu třicet let, které zaručuje výrobce, se toto navýšení výrazně projeví.

Tab. 2 Celkový přehled finančních výdajů za nastavovací konstrukci

Ekonomické nároky konstrukce	
Položka	Cena [Kč]
Hutní materiál	5800
Bronzové vložky	600
Svařování	16000
Pozinkování	9000
Spojovací materiál	1400
Rotační motor	9000
Lineární motor	6000
Betonový základ	8000
Celkem:	55800

6.2 Technické zhodnocení

Navržená konstrukce natáčecího mechanismu FV elektrárny splnila všechny na ní vytyčené nároky popsané v kapitole 5.1. Umožňuje nést dostatečný počet panelů, pro dosažení maximálního výkonu 2400 W. FV panelům poskytuje dostatečně tuhé ukotvení, i při maximálním zatížení daném příslušnou normou. Konstrukce pomocí dvou elektrických motorů maximálně zvyšuje výtěžnost použitých solárních panelů. Reálné navýšení výtěžnosti oproti pevné konstrukci se bude pohybovat okolo třiceti procent. Konstrukční prvky použité pro konstrukci elektrárny, s výjimkou bronzových obráběných vložek, jsou relativně levné, dostupné a snadno se opracují bez použití náročnějšího strojního vybavení.

Tab. 3 Přehled cen a hmotností použitého hutního materiálu

Přehled použitého hutního materiálu					
Položka	Kg/m	Kč/m	m	kg	Kč
Jëkl 50x40x2	2,5	44,85	23,7	59,2	1062,9
Jëkl 80x60x3	6,44	130,5	16,7	107,5	2179,3
Trubka D127x4	12,13	313	2,83	34,3	885,7
Trubka D196x5,6	26	657,9	2,5	65	1644,7
Celková hodnota:				266,2	5772,8

Připojení elektrických rozvodů ke konstrukci se jeví nejvýhodněji provést pomocí elektrikářských stahovacích pásků. Toto řešení se jeví nejvýhodněji, protože nezasahuje do samotné konstrukce, je ekonomicky nenáročné a snadno se uzpůsobí případným změnám typu, nebo zapojení použitých panelů. Při zapojování elektroinstalace k panelům je třeba brát zřetel na otáčení konstrukce, tj. elektrické kabely musí mít dostatečnou vůli, aby při natočení elektrárny nedošlo k jejich vytržení. Tento problém by byl vyřešen vedením kabelů středem rotačního motoru a nosného sloupu, to by však přineslo více výrobních nákladů a obtíží při montáži i servisu, než nechat kabely prověšené.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vypracování konstrukčního návrhu nastavovacího mechanismu FV elektrárny, zejména s ohledem na výtěžnost FV panelu při jeho uchycení na různé typy konstrukcí.

Za tímto účelem jsou na začátku práce popsány obecné podmínky, které konstrukce nesoucí FV panely musí reflektovat. Podmínkami se rozumí zejména vlivy na výtěžnost článku v závislosti na geografické poloze, zastínění článku, či orientace plochy panelu vůči slunci. Z těchto popsaných podmínek vyšlo najevo, že výtěžnost FV článku se výrazně mění v závislosti na dodržení popsaných podmínek. Pro zjištění různých možností variant nosné konstrukce solární elektrárny je v práci popsán základní princip FV článku, ale hlavně zjištění dostupných druhů FV panelů, jelikož jiný typ FV panelu může zásadně ovlivnit podobu jemu určené nosné konstrukce. V práci je mimo jiné nastíněno obecné schéma FV elektrárny zapojené do sítě a od sítě izolované. Cílem popisu těchto schémat je umožnění získání ucelenějšího pohledu na FV elektrárnu jako celek, protože nosná konstrukce FV elektrárny musí do tohoto celku bez problému zapadat.

V další části této práce jsou popsané možné technické řešení uchycení FV panelů do různých nosných konstrukcí. Nosné konstrukce jsou rozděleny do tří základních typů, jimiž jsou konstrukce pevné, pohyblivé a zabudované do dopravních prostředků. Pevné a pohyblivé konstrukce jsou popsány podrobněji. Jsou u nich nastíněny základní varianty provedení a možnosti použití. Poslední typ zabudovaný do dopravních prostředků je v práci jen pro doplnění přehledu o možnosti využití FV panelů.

Následující část této práce se zabývá samotnou konstrukcí nastavovacího mechanismu FV elektrárny. V práci jsou stanoveny požadavky, které by vyhovující FV elektrárna měla splňovat. Následně je vybrán vhodný typ FV panelu a v programu NX 7,5 vymodelovány tři možné varianty jemu určené nosné konstrukce. Tyto varianty zastupují tři možné způsoby sledování slunce. První varianta se pohybuje ve směru vertikálním, druhá ve směru horizontálním a třetí se pohybuje ve dvou osách. Na základě analýzy těchto tří navržených variant, je vypracován návrh finální konstrukce, která by měla nejlépe splňovat stanovené požadavky. Dvouosá konstrukce je poháněna pomocí dvou elektrických motorů. Následně jsou určeny síly, které na konstrukci mohou působit v průběhu jejího provozu. Zatížení větrem a sněhem je vypočítáno dle norem EN 1991-1-4 a EN 1991-1-3. Na základě určených zatížení je proveden v programu NX 7,5 výpočet pomocí metody konečných prvků (dále jen MKP) hlavních nosných částí navržené konstrukce. Vyhodnocením jednotlivých výpočtů je provedeno i hodnocení jednotlivých částí a případně jejich úprava, aby vyhovovali požadovanému zatížení. Pro navrženou konstrukci jsou určeny podmínky, které musí splňovat

pohony této konstrukce. V práci jsou popsány dva možné konkrétní typy motorů, včetně jejich specifikací.

Navržená konstrukce je ekonomicky a technicky zhodnocena. Ekonomické hodnocení se zabývá zejména vyčíslením hrubé ceny samotné konstrukce a jejích pohonů, bez ohledu na ostrojení FV elektrárny elektronikou a řídicím systémem. Dále jen opakuje navýšení výtěžnosti u konstrukce, která téměř ideálně sleduje dráhu slunce.

Výsledkem této bakalářské práce je návrh plně funkčního mechanismu, který je schopen pracovat s výbornou výtěžností nesených FV panelů a splňuje tak požadavky, které byly stanoveny v této práci.

8 Zdroje

8.1 Knižní zdroje

1. Haselhuln, Ralf. Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu. 1.vyd.Ostrava: HEL, 2010. 176 s. ISBN 978-80-8616733-6
2. Henze, Andreas. Elektrický proud ze slunce: Fotovoltaika v praxi. Werner Hillebrand. 1. Vyd. Ostrava: HEL, 2008. 136 s. ISBN 80-86167-12-7
3. Libra, Martin. Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie 1. Vyd. Praha: ILSA, 2009. 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2
4. Piskač, Luděk. Elektrické pohony: Principy a funkce. Lumír Kule. 2. Vyd. Plzeň: ZČU, 2008. 124 s. ISBN 978-80-7043-688-2

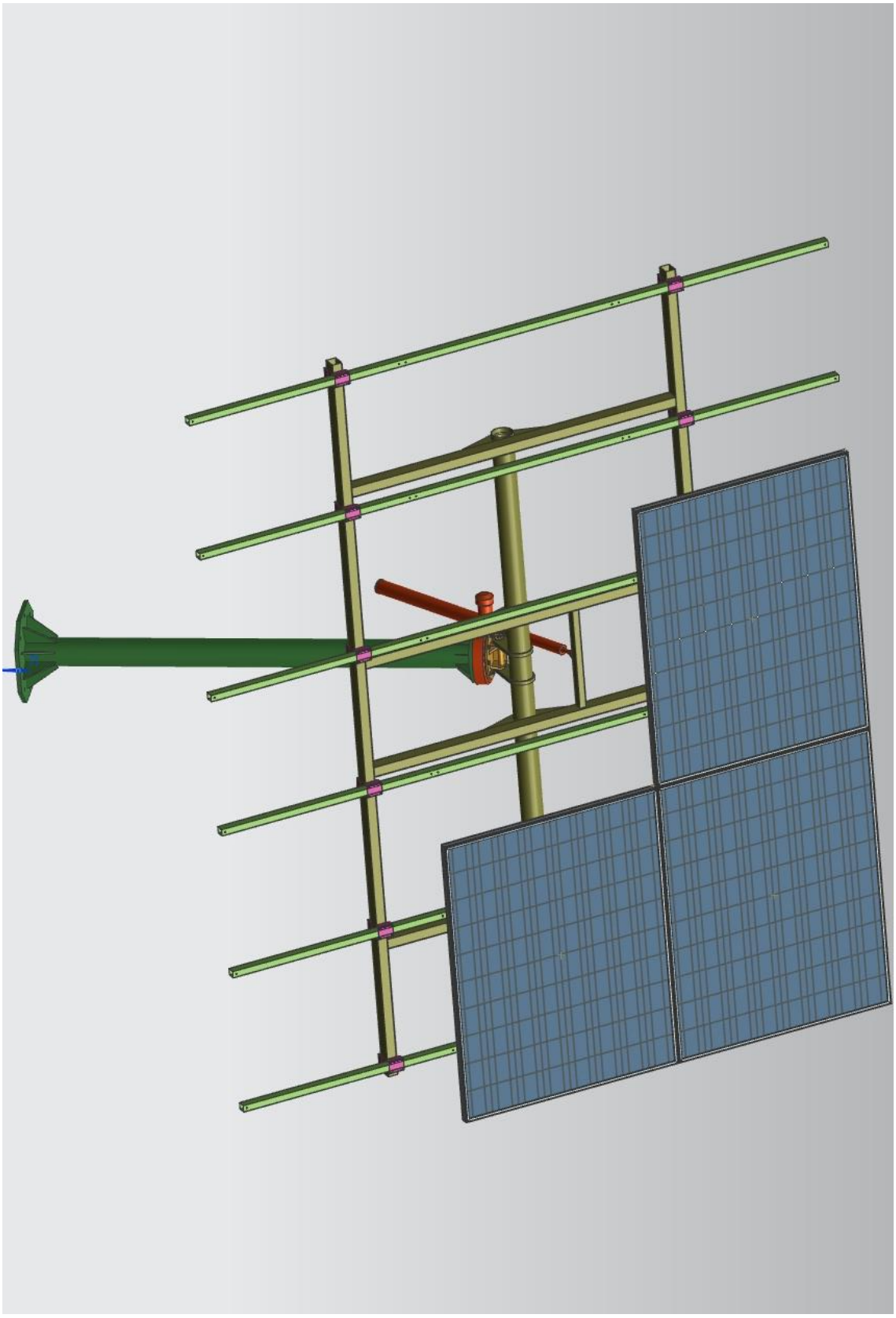
8.2 Internetové zdroje

5. aaasolarnipanely, Obytné auto [online]. c2009. [cit. 11. 2. 2013]. <http://www.aaasolarnipanely.cz/cs/instalace-a-vyuziti/obytne-auto/>.
6. Alibaba.com. Solar Linear Actuator [online]. c2012. 9.6.2012 [cit.14.6.2013]. < http://bogdanbolka.trustpass.alibaba.com/product/126120097-103364940/Solar_Linear_Actuator_Motor_SM4S900M3C3_with_Clamp_C3.html/>.
7. Česká televize. Auta na solární pohon jedou napříč austrálií. [online]. c2013. 26. 10. 2009. [cit. 17. 5. 2013]. < http://www.ceskatelevize.cz/ct24/svet/70680-auta-na-solarni-pohon-jedou-napric-australii/>.
8. Empa, Masivní pokrok tenkovrstvé technologie [online]. 18.1.2013 [cit. 12. 2. 2013]. <http://www.empa.ch/plugin/template /empa/3/131475/---/l=1>
9. Energetická agentura Zlínského kraje, Příklady dobré praxe: Nízkoenergetické a pasivní domy v Německu [online]. c2013. [cit. 16. 3. 2013]. < http://www.eazk.cz /priklady-dobre-praxe-nizkoenergeticke-a-pasivni-domy-v-nemecku//>.
10. ES systems produkt s.r.o. Fotovoltaika [online]. [cit. 5. 1. 2013]. <http://www.es-systems.eu/fotovoltaika/>.
11. Frigomont a.s. Mapa větrných oblastí. [online]. c2013 [cit. 20. 5. 2013]. < http://www.frigomont.cz/oplasteni-budov-informace/mapy-vetrovych-oblasti.html>.
12. Chrobák, Pavel. Alternativní zdroje energie, solární energie [online]. 5.12.2012 [cit. 12. 2. 2013]. <http://www.posterus.sk/?p=14223>
13. Mabelliane SE, Sluneční elektrárna Želany [online]. c2009. [cit. 16. 3. 2013]. < http:// www.mabelliane.cz/index.php?s=reseni&c=3/>.

14. MPO. Výroba elektřiny v roce 2011 [online]. c2005.2012[cit. 13. 12. 2012]. < download.mpo.cz/get/46138/52053/589626/priloha001.pdf>.
15. Poulek Solar s.r.o. sledovač slunce TRAXLE. [online]. [cit. 16. 5. 2013]. < http://www.pvpumps.com/sledovac.htm>.
16. Schnepp, Otta. Obě paroplynové elektrárny již vyrobily první dodávky elektrické energie do sítě. [online]. c2009. 22.6.2012 [cit. 11. 2. 2013]. <http://www.cez.cz/cs /pro-media/tiskove-zpravy/4176.html>.
17. schoolgen. A short history of photovoltaik (PV) cells. [online]. c2006 [cit. 17. 5. 2013]. < http:// http://www.schoolgen.co.nz/se/pv_history.aspx>.
18. Solartec s.r.o., Schéma možných připojení [online]. c2013. [cit. 11. 2. 2013]. < http://www.solartec.cz/male-instalace-do-30kwp/informace-o-fotovoltaice/schema-moznych-pripojeni/>.
19. Solmetric, Inc. SunEye 210 Shade Tool [online]. [cit. 11. 2. 2013]. < http: //www.solmetric.com/buy210.html/>.
20. Sun Flower Energi. Slewing Drives [online]. c2011. [cit. 14. 6. 2013].<http:// www.sunflowerenergyinc.com/GSS-Slewing-Drive.html/>.
21. Šulc, Tomáš. Od písku k procesoru [online]. c2009. 22.6.2012 [cit. 11. 2. 2013]. <http://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/24350-od-pisku-k-procesoru-vyroba-kremikoveho-waferu?start=5/>.
22. Vaněček, Milan. Fejfar, Antonín. Fotovoltaika - jaká je nejlepší dostupná technologie? [online]. 22.3.2010 [cit. 12. 2. 2013]. < http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6327-fotovoltaika-jaka-je-nejlepsi-dostupna-technologie>
23. Wikipedie. Přečerpávající vodní elektrárna [online]. c2013. 10.3.2013 [cit. 11. 2. 2013].<http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99e%C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD_vodn%C3%AD_elektr%C3%A1rna#P.C5.99e.C4.8Derp.C3.A1vac.C3.AD_vodn.C3.AD_elektr.C3.A1rny_v_.C4.8Cesku/>.
24. Wikipedie. Součinitel odporu [online]. c2013. 11.3.2013 [cit.11.6.2013]. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Sou%C4%8Dinitel_odporu/>.

PŘÍLOHA č. 1

CAD model celé konstrukce



Obr. 40 Pohled na navrženou konstrukci částečně pokrytou panely

PŘÍLOHA č. 2

Technická specifikace FV panelu Schott poly

Mapa větrných oblastí ČR

EN

Double glazed module with POLY cells

SCHOTT POLY™ 280/290/300

At a glance

- Long life through double glazing
- Double of the required standard
- High resistance to mechanical loads
- High performance output
- Long-term reliability
- Increased resistance to reverse current
- Improved temperature coefficient

SCHOTT POLY™ 280/290/300

The long-established German company SCHOTT Solar operates worldwide and started with the development and manufacturing of components for the solar industry in 1958.
SCHOTT Solar polycrystalline modules are specifically designed for both roof- and ground-mounted applications. Due to strict internal quality standards, all modules benefit from exceptionally long durability, which results in maximised profitability. The polycrystalline cells within each module are sorted to particularly narrow performance tolerances, thereby allowing series interconnections with minimal mismatch losses.

Long life through double glazing: The exceptionally long life is ensured by the use of double glazing.

Double of the required standard: SCHOTT Solar tests its modules for twice as long as is required by the IEC.

High resistance to mechanical loads: The solid anodised aluminium frame ensures superior torsional resistance. SCHOTT Solar polycrystalline modules are also tested to an extreme loading pressure and suction of 5,400 Pa – which equates to 550 kg per square metre and a reassuring level of security for your investment.

High performance output: All SCHOTT Solar polycrystalline modules hold a positive tolerance of their nominal power rating. This ensures a stable high-energy output and a quick return on investment.

Long-term reliability: SCHOTT Solar offers a power output guarantee of 30 years and a product warranty of five years.

Increased resistance to reverse current: SCHOTT Solar polycrystalline modules have a high resistance to reverse current, minimising the wiring costs.

Improved temperature coefficient: The improved temperature coefficient of the modules lead to an increased module efficiency at high ambient temperature.

SCHOTT solar

Technical Data

Data at standard test conditions (STC)

Module type		SCHOTT POLY™ 280	SCHOTT POLY™ 290	SCHOTT POLY™ 300
Nominal power [Wp]	P_{mpp}	≥ 280	≥ 290	≥ 300
Voltage at nominal power [V]	U_{mpp}	39.1	39.5	39.7
Current at nominal power [A]	I_{mpp}	7.16	7.33	7.55
Open-circuit voltage [V]	U_{oc}	48.1	48.5	48.9
Short-circuit current [A]	I_{sc}	7.95	8.10	8.24
Module efficiency (%)	η	12.7	13.1	13.6

STC (1000 W/m², AM 1.5, cell temperature 25°C)
Power tolerance (as measured by flasher) -0 W / +9.99 W

Data at normal operating cell temperature (NOCT)

Nominal power [Wp]	P_{mpp}	206	213	221
Voltage at nominal power [V]	U_{mpp}	35.8	36.1	36.3
Open-circuit voltage [V]	U_{oc}	44.0	44.4	44.7
Short-circuit current [A]	I_{sc}	6.40	6.52	6.64
Temperature [°C]	T_{NOCT}	48.0	48.0	48.0

NOCT (800 W/m², AM 1.5, windspeed 1 m/s, ambient temperature 20°C)

Data at low irradiation

At a low irradiation intensity of 200 W/m² (AM 1.5 and cell temperature 25°C) 97 % of the STC module efficiency (1000 W/m²) will be achieved.

Temperature coefficients

Power [%/K]	P_{mpp}	-0.43
Open-circuit voltage [%/K]	U_{oc}	-0.32
Short-circuit current [%/K]	I_{sc}	+0.05

Characteristic data

Solar cells per module	80
Cell type	polycrystalline, 156 mm x 156 mm
Junction box	IP65 with four bypass diodes
Connector	Tyco-Connector IP67
Dimensions junction box [mm]	150 x 150 x 25
Front panel	low iron solar glass 3.2 mm
Backside panel	glass
Frame material	anodised aluminium

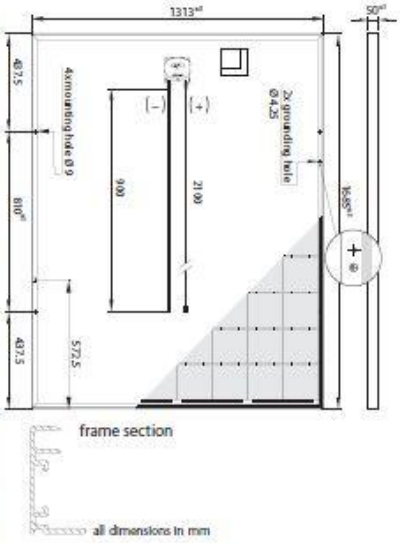
Dimensions and weight

Dimensions [mm]	1,685 x 1,313
Thickness [mm]	50
Weight [kg]	approx. 41.5

Limits

Maximum system voltage [V_{DC}]	1000
Maximum reverse current I_R [A]*	20
Operating module temperature [°C]	-40 ... +85
Maximum load (to IEC 61215 ed. 2)	pressure: 5,400 N/m² or 550 kg/m² suction: 5,400 N/m² or 550 kg/m²
Application classification (to IEC 61730)	A
Fire classification (nach IEC 61730)	C

** No external voltage in excess of U_{OC} shall be applied to the module.*



Permission and certificates

The modules are certified to IEC 61215 ed. 2 and IEC 61730, Electrical Protection Class II and the CE-guidelines. Moreover SCHOTT Solar is certified and registered to ISO 9001 and ISO 14001.

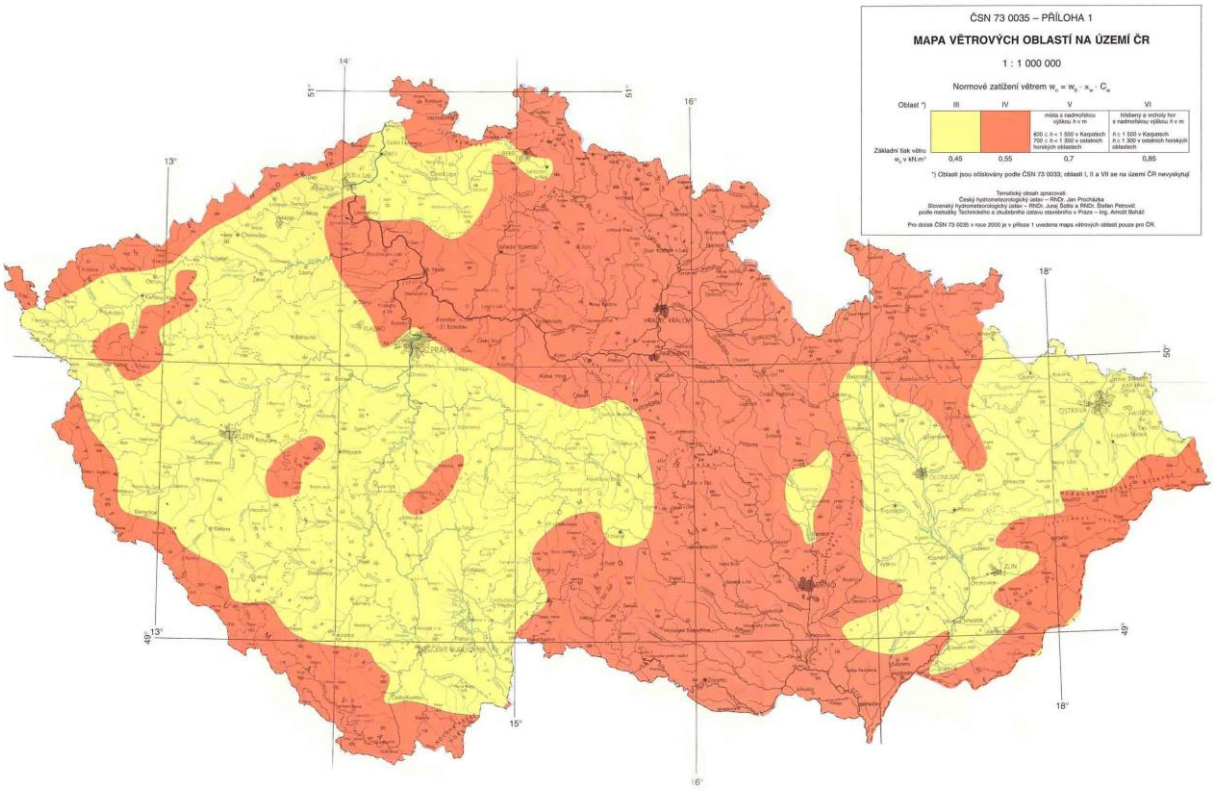
The **installation manual** contains additional information on installation and operation.
Power measurement accuracy: ± 4 %.
All information complies with the requirements of the standard EN 50380.

© June 2010 SCHOTT Solar AG Prod-Data-L020947

SCHOTT Solar AG
Hattenbergstrasse 10
55122 Mainz
Germany

Phone: +49 (0)6131/66-14099
Fax: +49 (0)6023/91-1700
solar.sales@schottsolar.com
www.schottsolar.com

SCHOTT solar



Obr. 41 Mapa větrných oblastí [11]