

**Univerzita Pardubice**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Návrh využití solární energie DPmP**

**Tomáš Koval**

**Bakalářská práce**

**2009**

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě  
Akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš KOVAL**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Elektrotechnická zařízení  
v dopravě**  
Název tématu: **Návrh využívání solární energie v DPmP**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je:

- 1) Provést inventarizaci vhodných střešních ploch a svislých stěn budov vozovny DPmP, které jsou vhodné k instalaci fotovoltaických panelů a kolektorů
- 2) Pro jednotlivé plochy provést energetickou rozvahu
- 3) Pro jednotlivé plochy navrhnout způsob využití (ohřev TUV, dodávka elektrické energie do rozvodů DPmP,...)

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

[http://www.photovoltaik-fachhandel.de/site\\_214.html](http://www.photovoltaik-fachhandel.de/site_214.html)

[http://www.photovoltaik-fachhandel.de/site\\_214.html](http://www.photovoltaik-fachhandel.de/site_214.html)

<http://vosaspsekrizik.cz/cs/download/studium/sps/elektroenergetika/fotovolt-premena-solar-energie.pdf>

<http://www.solarni-panely-systemy.eu/>

Obnovitelné zdroje energie, Ústí nad Labem, 1993, MDT:620.9 44657-1

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Zdeněk Šustr, Ph.D.**

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací  
techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **18. prosince 2008**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2009**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



prof. Ing. Vladimír Schejbal, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 18. února 2009

Prohlašuji, že tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci použil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 25. 5. 2009

Tomáš Koval

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňkovi Šustrovi, Ph.D., za odborné vedení bakalářské práce a za metodickou pomoc při její realizaci. Dále pak váženým pánům Ing. Podivínovi, Ing. Bc. Francovi z Dopravního Podniku města Pardubic a panu Bc. Rybovi z firmy Mtech-solar, za cenné rady a poskytnutí podkladů k vypracování této práce. Slova díky patří i firmě Elaz, spol. s.r.o., která mi po dobu studia, jak jen to bylo možné dopřávala prostor ke studiu.

Hlavní díky však patří mé přítelkyni, za projevenou podporu, pochopení a především pevné nervy při vypracování této práce a vůbec celého mého studia.

## Anotace

Práce se zabývá především vhodným výběrem střešních ploch Dopravního Podniku města Pardubic a. s., pro umístění fotovoltaických panelů. Dále pak řeší i dispoziční otázku fotovoltaických panelů a jejich výkon.

## Klíčová slova

Fotovoltaický panel, fotovoltaický šindel, fotovoltaický jev, křemíkové články, úhel sklonu.

## Title

Concept of solar energy utilization DPmP.

## Annotation

The paper mainly focuses on a suitable selection of roof areas of The Pardubice Public Transit Co. Inc., for the placement of photovoltaic panels. Furthermore, it tries to settle the issue of the photovoltaic panels and their performance.

## Keywords

The photovoltaic panel, the photovoltaic shingle, the photovoltaic effect, the silicon elements, the angle inclination.

## Obsah:

Úvod .....	9
1 Historie .....	10
1.1 Objev fotovoltaického jevu .....	10
1.2 Princip fotovoltaického jevu .....	11
1.3 Realizace fotovoltaického článku .....	13
1.4 Výroba čistého křemíku .....	15
2 Dělení fotovoltaických článků .....	19
2.1 Monokrystalické křemíkové články .....	19
2.2 Polykrystalické křemíkové články .....	20
2.3 Amorfni křemíkové články .....	20
2.4 Antireflexní vrstva .....	23
3 Základní fotovoltaické systémy .....	24
3.1 Systémy připojené k elektrické rozvodné síti, v angličtině "Grid on" .....	24
3.2 Systémy bez připojení k rozvodné síti, v angličtině "Grid off" .....	24
3.3 Zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů .....	25
3.4 Umisťování fotovoltaických panelů .....	27
4 Dopravní podnik města Pardubice .....	28
4.1 Základní informace .....	28
4.2 Současná spotřeba energií DPmP .....	30
4.3 Přehled délky svitu slunce na území České republiky .....	31
4.4 Typy použitých fotovoltaických panelů .....	32
4.5 Fotovoltaický panel KD205GH-2P - základní vlastnosti .....	32
4.6 Fotovoltaický šindel Tegosolar PVL 68 Cu - základní vlastnosti .....	34
5 Návrh fotovoltaického systému pro jednotlivé budovy .....	36
5.1 Venkovní přístřešek .....	36
5.2 Administrativní budova .....	38

5.3	Hala Materiálně - technického zázemí.....	40
5.4	Garáže.....	42
5.5	Hala povrchových úprav.....	44
5.6	Stará hala.....	46
5.7	Těžká údržba autobusů.....	48
6	Ekonomické hodnocení.....	50
	Závěr.....	51
	Použitá literatura.....	52
	Seznam obrázků.....	54
	Seznam tabulek.....	56
	Seznam grafů.....	57



## Úvod

Ekologické dopady lidské činnosti na udržitelný rozvoj života směřují k omezování energetické náročnosti průmyslu a k omezování vypouštění oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) do ovzduší. Oxid uhličitý vzniká především nevratným spalováním fosilních paliv na bázi uhlíku. Spalováním fosilních paliv je do ovzduší uvolňován tento vázaný uhlík. Mezi fosilní paliva patří uhlí, rašelina, ropa a zemní plyn. Fosilní paliva vznikala geologickými pochody několik milionů let. Bouřlivý rozvoj průmyslu probíhá déle než 200 let. Tento časový úsek je jen zlomkem času ukládání fosilních paliv.

Jedním z největších producentů CO<sub>2</sub> z fosilních paliv je elektroenergetika. Cestou omezení CO<sub>2</sub> je využití jiných primárních energií. Tímto zdrojem je Slunce, jehož energie je také uložena ve fosilních palivech. Běžné využití sluneční energie je možné formou slunečních kolektorů, které zachycují energii do absorpčních látek (často do vody) nebo přímou přeměnou slunečního záření na elektrickou energii k dalšímu použití. Tímto tématem se tato bakalářská práce zabývá. Fotovoltaická energie je jednou z nejčistších energií. Při fotovoltaické přeměně na elektrickou energii nevznikají škodlivé látky a přeměna pracuje bez hluku a vibrací.

Získávání energie z jiných než fosilních paliv je dotováno státem. V našich zeměpisných šířkách a v závislosti na podmínkách státní podpory se návratnost investice do fotovoltaické přeměny sluneční energie pohybuje okolo 10 až 14 let, což je při životnosti panelů okolo 30ti let přijatelná doba.

Bakalářská práce představuje prvotní návrh a koncepci využití sluneční energie prostřednictvím fotovoltaických panelů na střešních plochách budov Dopravního podniku města Pardubice. V práci je proveden rozbor střešních ploch, vhodných k umístění panelů s ohledem na oslunění během dne, po stránce energetického zisku a stavební stránce. Navrhuje řešení koncepce nosných konstrukcí fotovoltaických článků.

Stručný ekonomický rozbor uvedený v práci je přípravou na zahájení projektových prací a pro rozhodnutí, zda v daném technickém řešení pokračovat

# 1 Historie

## 1.1 Objev fotovoltaického jevu

Fotovoltaický jev objevil v roce 1839 francouzský fyzik Alexander Edmond Becquerel (obrázek 1). Experimentálně zjistil, že při osvětlení dvou kovových elektrod ponořených v elektrovodivém roztoku mezi nimi začal procházet proud. Historicky první fotovoltaický článek, bez použití elektrolytu, vytvořili W. G. Adams a R. E. Day v roce 1877 s použitím selenu pokrytého tenkou vrstvou zlata. [1, 2]



Obrázek 1: Fotografie Alexandera Edmonda Becquerela [3]

Největší význam ve výrobě fotovoltaických článků sehrál polský vědec Jan Czochralski, který vyvinul proces výroby monokrystalu křemíku (pomalé tažení křemíku z taveniny velmi čistého křemíku). Za vynálezce křemíkového fotovoltaického článku bývá označován Russell Ohl. Patent na "převaděč solární energie" však nakonec získali D. M. Chapin, C. S. Fuller a G. L. Pearson z Bellových laboratoří v roce 1954, za vynález fotovoltaických článků s účinností okolo 6 %. Nevýhodou pro sériovou výrobu takovýchto článků byla příliš vysoká cena čistého křemíku. [2]

Významným impulzem, který velice napomohl k výzkumu fotovoltaických materiálů, byla nutnost napájení družic ve vesmíru a zde se fotovoltaika jevila vedle jaderných reaktorů prakticky jako jediné řešení. Samotné rozšíření fotovoltaických panelů do celého světa nastalo až po velké ropné krizi v sedmdesátých letech, kdy se hledaly cesty, jak se alespoň částečně osvobodit od závislosti na ropě a vlády dotovaly výzkum alternativních zdrojů energie nemalými finančními prostředky. [1,4]

Neméně významnou roli zde sehrálo i masové rozšíření polovodičových součástek a z toho vyplývající nižší cena výroby čistého křemíku. I dnes (r. 2009), je

cena za kilogram čistého křemíku dosti velká, je to dáno samotným výrobním procesem, vysoké požadavky na čistotu, pomalý proces krystalizace, vysoká teplota a s ní spojené ceny energií. [4]

Fyzikálně fotovoltaický jev popsal v roce 1904 Albert Einstein, o sedmnáct let později mu byla udělena Nobelova cena za „vysvětlení fotoefektu a zásluhy o teoretickou fyziku“. [2]

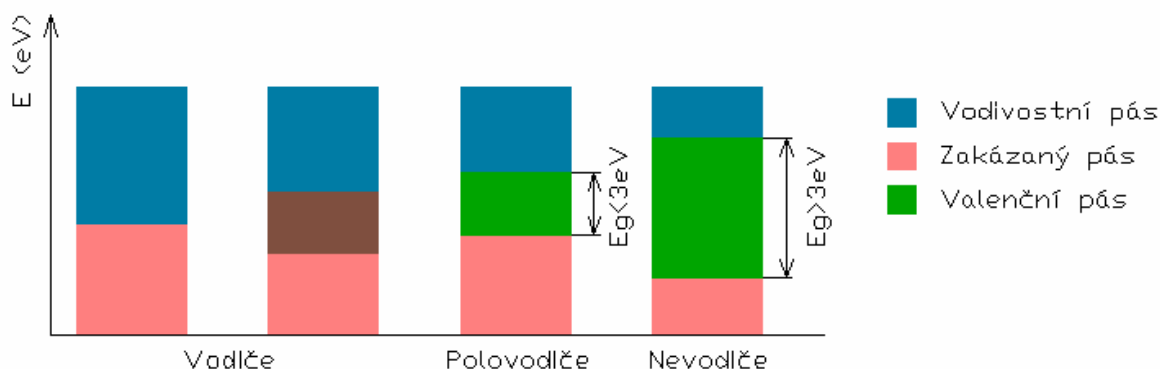
## 1.2 Princip fotovoltaického jevu

Základním kamenem fotovoltaických článků a vůbec celé naší moderní elektroniky jsou polovodiče. Polovodiče jsou látky, jejichž elektrické vlastnosti leží někde mezi vodiči a izolanty, tj. neobsahují volné elektrony, ale relativně snadno zde mohou vzniknout.

*Vodiče* – jejich vodivostní a valenční pás na sebe těsně přiléhají, nebo se dokonce překrývají. Vzhledem k této skutečnosti stačí nepatrné množství energie, aby se některé elektrony dostaly z valenčního do vodivostního pásu.

*Nevodiče (izolanty)* – mezi valenčním a vodivostním pásem je zakázaný pás šířky  $E_g > 3 \text{ eV}$ . Působením velké energie potřebné k přemístění elektronu z valenčního pásu do vodivostního, dochází zpravidla i k porušení krystalové mřížky, což se navenek většinou projeví nevratnou deformací materiálu - spálením.

*Polovodiče* – při teplotě 0 K, mají polovodiče valenční pás zcela zaplněn a vodivostní pás zcela prázdný. S rostoucí teplotou některé elektrony přejdou do vodivostního pásu a polovodič se tak stává vodivým.



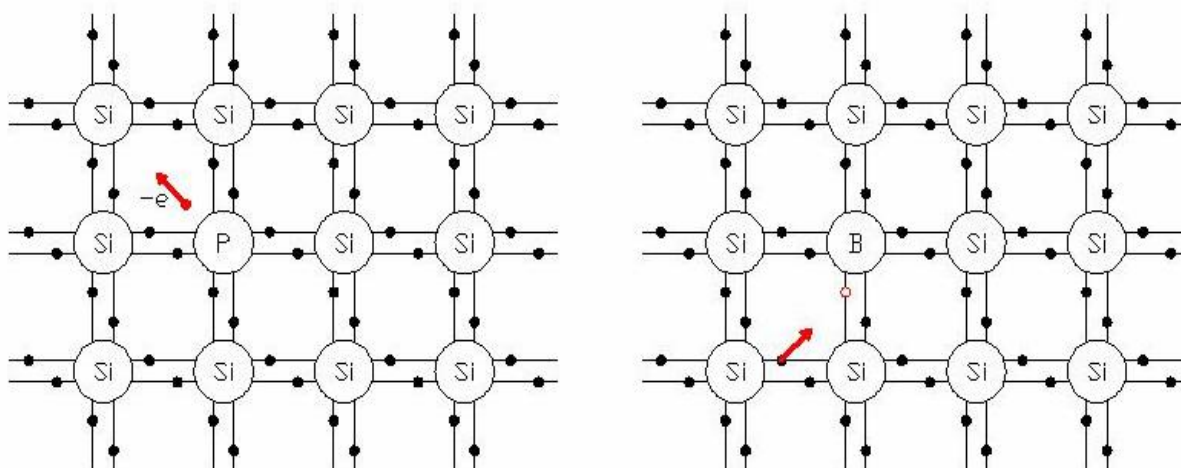
Obrázek 2: Pásová struktura krystalických látek

Nejběžnějším materiálem pro výrobu fotovoltaických článků a polovodičů vůbec je křemík. Atom křemíku má ve valenční vrstvě čtyři elektrony, které se sousedními atomy v krystalové mřížce vytváří kovalentní vazby. Kovalentní vazby křemíku nejsou tak pevné jako např. u uhlíku. K uvolnění elektronů z kovalentních vazeb stačí dodat malé množství energie. Například zahřátím či osvětlením se uvolní některé vázané elektrony z atomové vazby a změní se v elektrony volné - polovodič se stává vodivým. [4]

*Pozn. Tepelná excitace při pokojových teplotách je energie tepelných kmitů  $E = ,025 \text{ eV}$ , takto se uvolňuje velice málo elektronů. S rostoucí teplotou se jejich počet zvyšuje.*

*Světelná excitace – elektron může energii získat dopadem elektromagnetického záření (světla). Záření má energii, která je přímo úměrná jeho frekvenci. Energie viditelného světla se pohybuje v rozmezí  $1,5 - 3,1 \text{ eV}$ .*

Zvýšení vodivosti polovodičů se dosahuje přidáním příměsí, nejčastěji fosforu nebo bóru, jak dokumentuje obrázek 3. Fosfor je prvek s pěti elektrony ve valenční sféře, dopování křemíku tímto prvkem, způsobuje v polovodiči přebytek volných elektronů. Takový-to polovodič označujeme: polovodič typu N (Negativ).



Obrázek 3: Krystalická strukturu křemíku s příměsí fosforu (P) a bóru (B)

Naproti tomu dopování křemíku bórem, způsobuje nadbytek protonů (děr), takovýto polovodič se pak nazývá, polovodič typ P (Pozitiv).

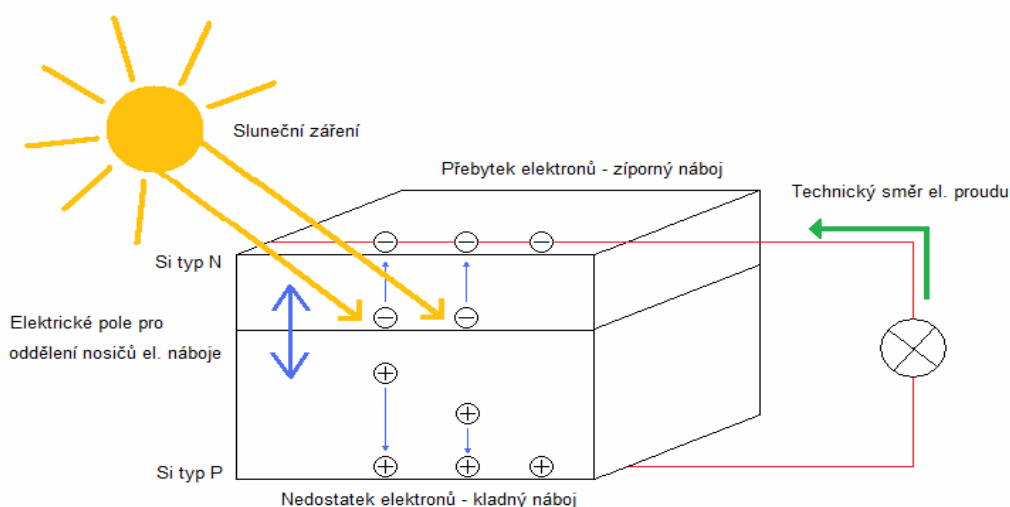
Pokud se těsně spojí polovodič typu N a P, vznikne v místě jejich dotyku tenoučká vrstva, která se nazývá P-N přechod. Takovýto polovodič s P-N přechodem má v moderní technice nezastupitelné místo. [4]

Spojí-li se vodič typu N a typu P, nastává jev, kdy ve snaze vyrovnání koncentrací difundují elektrony (-) do části P a díry (+) do části N. Při každém kontaktu elektronu a díry dochází k rekombinaci nábojů. Takovýto pohyb částic (na opačné strany) brzy ustane, jelikož po elektronech zůstanou v polovodiči typu N kladně nabitě náboje a po dírách v polovodiči typu P náboje záporné. Difuzní napětí, které přesunem částic vzniklo, další pohyby omezí a na přechodu P-N nastane rovnováha, kde stejné množství elektronů, které projde v důsledku difúze, je přetaženo zpět působením elektrického pole. Důsledkem takového procesu je snížení vodivosti okolo přechodu P-N a vznik elektrického potenciálu (na P - části přechodu je záporný náboj a na N - části náboj kladný). [4]

### 1.3 Realizace fotovoltaického článku

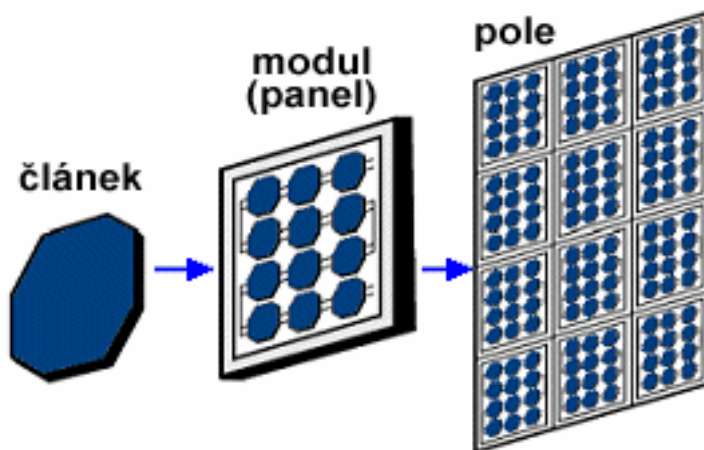
Vlastní fotovoltaický článek lze přirovnat velkoplošné diodě, která je tvořena tak, že na tenký plátek křemíkové destičky typu P se například vakuově napaří vrstva křemíku typu N. Oblast spoje těchto polovodičů se nazývá P-N přechod. Takováto destička je opatřena z obou stran kovovými kontakty pro připojení sběrných vodičů, schéma k vysvětlení funkce je na obrázku 4.

Dopadem slunečního záření (fotonů) na fotovoltaický článek jsou generovány volné elektrony a díry. Elektrické pole P-N přechodu je oddělí a pošle na opačné strany. Elektrony do vrstvy typu N, která se tak stane záporným pólem fotovoltaického článku, a díry do vrstvy typu P, která tvoří kladný pól. [5]



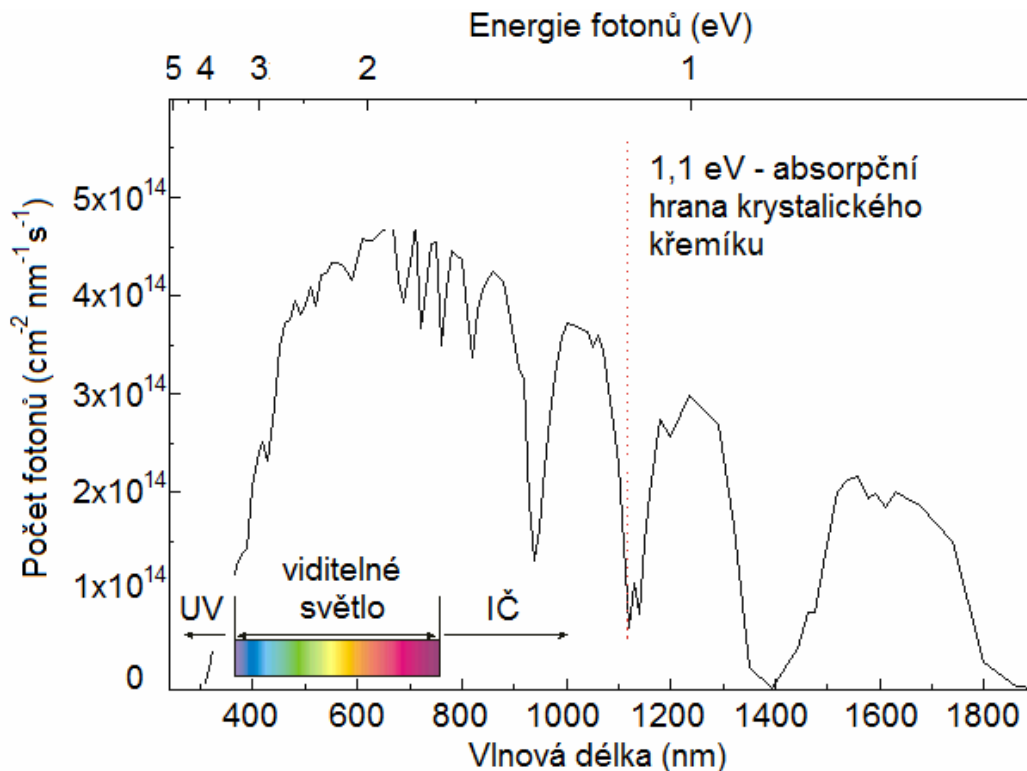
Obrázek 4: Výroba elektřiny z fotovoltaického článku

Napětí fotovoltaického článku závisí na použitém polovodiči, v případě křemíku (Si) je to napětí přibližně 0,6 V, které při zatížení ještě klesá. Udává se, že při optimálním zatížení je napětí 0,5 V. Vzhledem k faktu, že napětí které na článku vzniká je příliš malé spojují se články do série. Zpravidla s 36 nebo 72 články, což odpovídá napětí 18 a 36 V, obrázek 5. [4]



Obrázek 5: Fotovoltaický článek, modul, pole [5]

K tomu, aby docházelo ke generování párů elektron – díra, musí mít dopadající záření (foton) patřičnou energii. Vše je odvozeno od energie, kterou potřebuje elektron daného polovodiče na překonání zakázaného pásu. Křemík, z kterého se fotovoltaické články vyrábí potřebuje na překonání zakázaného pásu energii minimálně 1,12 eV, což odpovídá záření o vlnové délce menší než 1100 nm. Sluneční záření procházející atmosférou obsahuje fotony s energiemi od 0,5 eV (infračervené záření) do přibližně 2,9 eV (ultrafialové záření). Z toho vyplývá, že křemík dokáže využít k výrobě energie větší část slunečního spektra. Energie menší než 1,12 eV projde článkem bez užitku, naopak energie fotonu větší než 1,12 eV sice v polovodiče vytvoří pár elektron – díra, ale zbytek energie se přemění na teplo. Na obrázku 6 je spektrum slunečního záření včetně absorpční hrany krystalického křemíku. [4,5]



Obrázek 6: Vlnové spektrum záření [8]

#### 1.4 Výroba čistého křemíku

Nejpoužívanějším materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křemík (Si). Patří mezi nejrozšířenější chemické prvky na Zemi. V přírodě se nachází například ve formě křemenného písku. [6]

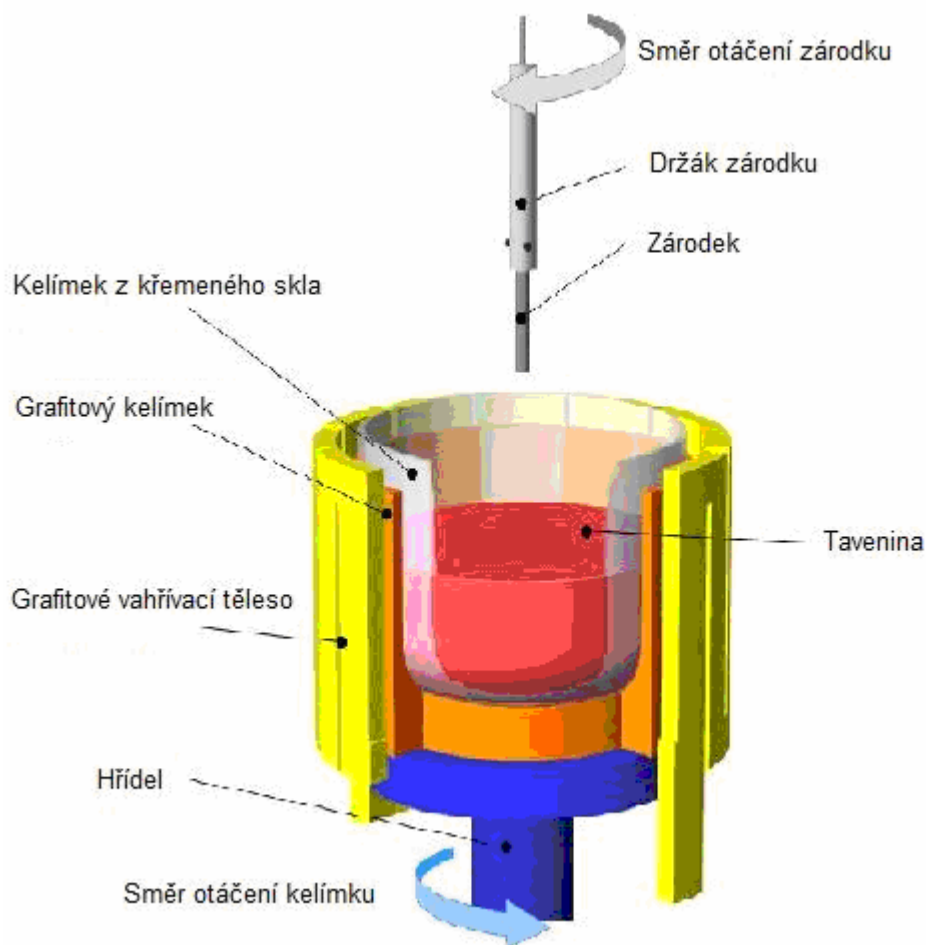
Prvním krokem výroby je přeměna křemenného písku na křemík chemickou reakcí s uhlíkem. Touto reakcí vzniká takzvaný hutní křemík. Hutní křemík však není dostatečně čistý pro využití v elektronice, proto je převeden na tri-chlor-silan, který po čištění destilací a následnou reakcí s vodíkem vytvoří vysoce čistý křemík, který již nachází využití v elektronice. Takto vzniklý křemík je polykrystalický a je základem pro výrobu monokrystalického křemíku. Vzhled polykrystalického křemíku je na obrázku 7. [6]



Obrázek 7: Fotografie křemíku [6]

Polykrystalický křemík je vložen do tavné pece, jejichž nákres je na obrázku 8, spolu s dopujícím prvkem, například s fosforem. Křemík s fosforem je v tavné peci roztaven a celá pícka je roztočena. Poté je z vrchu do pícky ponořen takzvaný zárodek, na který se začne roztavený křemík zachytávat (veškerý proces probíhá za konstantního přísunu argonu). Zárodek je uchycen na lanku, které se otáčí v protisměru vůči otáčení pícky. Lanko spolu se zárodkem je pomalu vytahováno z roztaveného křemíku a vytváří válec. Celá soustava se ze začátku otáčí pomalu, z důvodu zvětšení průměru válce, nakonec se ustálí na konstantní rychlost po celou dobu tažení. Ke konci tažení se rychlost tažení zvětšuje, aby se zmenšil průměr válce a zamezilo se tak teplotnímu šoku na zbytek taženého válce. Po dobu celého procesu se musí kontrolovat teplota, rychlost otáčení i tažení, tlak a rychlost proudění argonu. [6]





Obrázek 8: Pícka na výrobu monokrystalického křemíku [6]

Po ukončení výroby křemíku je výsledkem válec monokrystalického křemíku, takzvaný ingot, jehož podoba o různých průměrech je na obrázku 9.



Obrázek 9: Ingot monokrystalického křemíku [9]

Tento ingot se po vychladnutí rozřeže na několik částí. Z nařezaných částí jsou odebrány vzorky pro různá měření, například měrného odporu, koncentraci kyslíku

a podobně. Řezání se provádí pilou s otvorem uprostřed, které tvoří vnitřní ostří pily. Ostří pily je pokryto diamantovým borem s niklovou maticí. [6]

Po nařezání monokrystalu křemíku se musí u vzniklých desek zbrousit ostré hrany. Poté následuje proces zvaný lapování, který desky vyhladí a zarovná. Lapování za sebou zanechá rovnoměrnou porušenou vrstvu, která je odstraněna leptáním například v hydroxidu draselném (KOH), po dobu přibližně dvou minut. Poté jsou desky ponořeny do deionizované vody, aby se zastavila reakce s hydroxidem draselným. Dalším krokem, následujícím po leptání je leštění, jedná se o chemicko-mechanický proces, který na rozdíl od lapování není tak agresivní a nezanechává po sobě žádné defekty na desce. Po tomto čištění následuje poslední chemické čištění, které zbaví desky organických zbytků a kovových iontů po leštění. Výsledkem tohoto procesu je monokrystalický křemík s čistotou 99,9999999 %. [6]

## 2 Dělení fotovoltaických článků

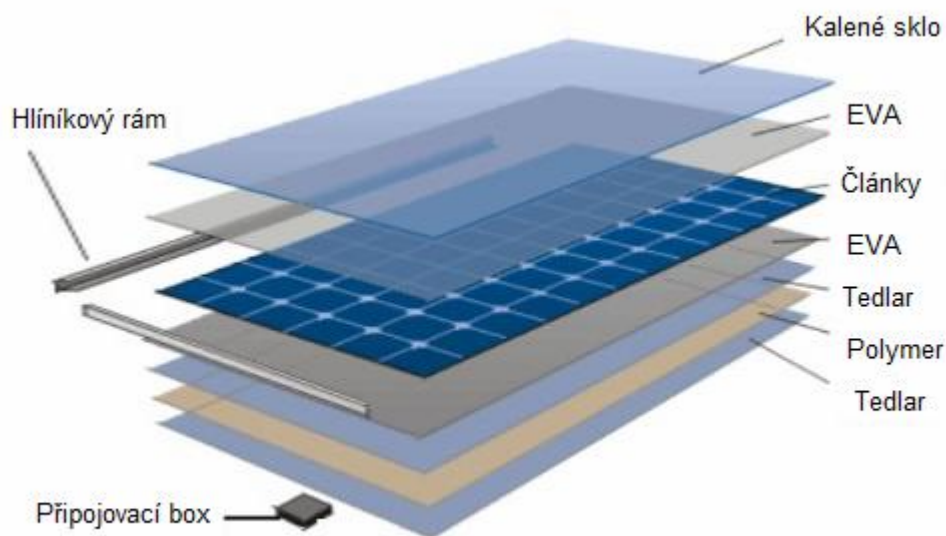
### 2.1 Monokrystalické křemíkové články

Jsou vyráběny Czochoralského metodou (viz. výroba čistého křemíku), jejíž výsledkem jsou ingoty o průměru až 0,3 m a délce i několika metrů. Ingoty jsou nařezány do osmistěnných tyčí (mohou zůstat i kruhové, to však znemožňuje jejich efektivní umístění do panelů), poté jsou nařezány na plátky o tloušťce 0,25 až 0,35 m, takovéto plátky se opatří na zadní straně (strana, na kterou nesvítí slunce) kovovými a neprůhlednými kontakty a na straně přední vysoce průhlednými oxidy kovů. Počet článků v panelu určuje výkon, kterým má panel disponovat. Vyrovnané a vodivě pospojované články jsou zapouzdřeny do EVA fólie (ethylen-vinil-acetát), která brání pronikání vlhkosti. Ukázka článku zataveného v EVA fólii je na obrázku 14.



Obrázek 10: Fotovoltaický článek zapouzdřený v EVA folii [10]

Takto zapouzdřený panel je z přední strany opatřen kaleným sklem a ze zadní strany opatřen tedlarovou (odolný vůči UV záření) a polymerovou vrstvou, z důvodu ochrany článků v panelu před povrchovými vlivy a mechanického namáhání. Podrobné schéma fotovoltaického panelu je na obrázku 11. Účinnost těchto panelů je v rozmezí 14 - 17 %, v laboratořích až 25 %. [6]



Obrázek 11: Části fotovoltaického panelu [10]

## 2.2 Polykrystalické křemíkové články

Jsou vyráběny odléváním čistého křemíku do vhodných forem. Odlévání je podstatně jednodušší metoda než tažení monokrystalu. Další výhodou je možnost vyrobit bloky různých tvarů (čtverce, obdélníky). Takto vyráběné články mají oproti monokrystalickým článkům horší elektrické vlastnosti (menší proud a účinnost), jelikož na styku jednotlivých zrn je větší odpor a tudíž větší ztráty. Výroba panelů z těchto článků je totožná s výrobou panelů s monokrystalických článků. Nespornou výhodou oproti monokrystalickým panelům je cena, která je podstatně nižší. Účinnost takovýchto článků je v rozmezí 13 - 16 %, v laboratoři až 20 %. [6]

## 2.3 Amorfni křemíkové články

Na výrobu těchto článků je oproti výrobě monokrystalických a polykrystalických článků, zapotřebí značně menšího množství základní suroviny - amorfniho křemíku nebo i jiných sloučenin CIS, CdTe. Od toho je také odvozena jejich cena, která je z uvedených typů článků nejmenší. Ukázka fotovoltaické lepenky je na obrázku 12. [6]

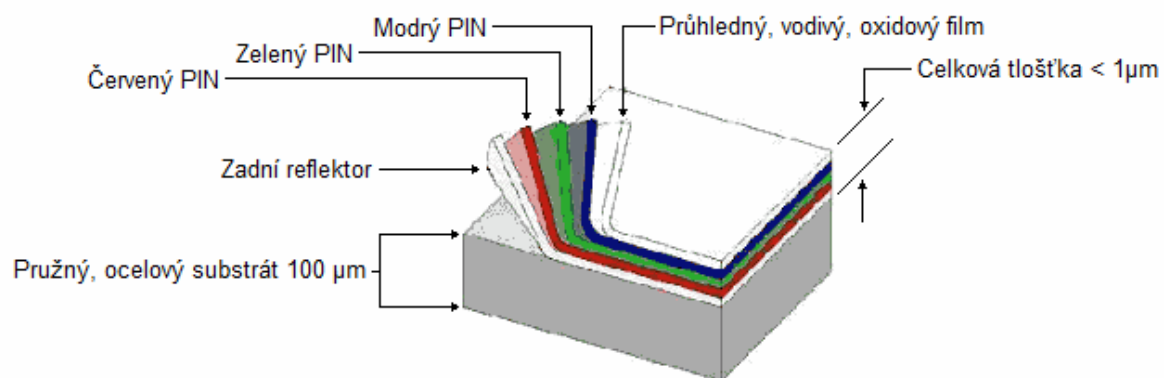


Obrázek 12: Fotovoltaická lepenka z amorfního křemíku [11]

Samotná výroba je založena na rozkladu vhodných sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře (například silanu). Takto je možné vyrobit tenké vrstvy křemíku, nanesené nejčastěji na skleněné, nerezové nebo plastové podložce (v libovolných rozměrech) zapouzdřené v EVA fólii (ethylen-vinil-acetát). Výjimkou nejsou ani panely ohebné, které často tvoří na střeších domů i samotnou krytinu. [6]

Amorfni křemík nemá pravidelnou strukturu jako křemík krystalický, to znamená že atom křemíku nemá kolem sebe další potřebné atomy křemíku, se kterými by mohl tvořit vazby, dochází zde tedy k rekombinaci nábojů a tudíž poklesu účinnosti. Částečně se tento problém řeší navázáním vodíku na volné vazby, takzvaná vodíková pasivace. Dalším problémem je časová nestabilita, vlivem vodíku ve vazbách. Struktura je narušována oxidací vzdušným kyslíkem. Výkon takovýchto článků klesá a za nějaký čas se ustálí zhruba na 80 % procentech původního výkonu. Mezi přechodem P a N je ještě jedna vrstva I, která není nikterak dopována a dochází v ní vlivem slunečního záření k vytvoření párů elektron - díra, které jsou díky vzniklému elektrickému poli na P-N přechodu separovány okamžitě pryč, čímž se snižuje jejich rekombinace. Účinnost takovýchto článků je kolem 7 %. Takové to články je možné vyrábět ve více vrstvách, čímž se dosahuje účinnosti, až 13 %. Příkladem může být technologie trojitého přechodu (Triple junction), kde se na vrstvu pružného, ocelového substrátu nanáší jednotlivé vrstvy PIN. Vrstvy nejsou tvořeny jen křemíkem a-Si, ale například i a-Si-Ge. Kombinací takovýchto vrstev se docílí většího využitelného spektra slunečního záření a dokonce i lepšího využití

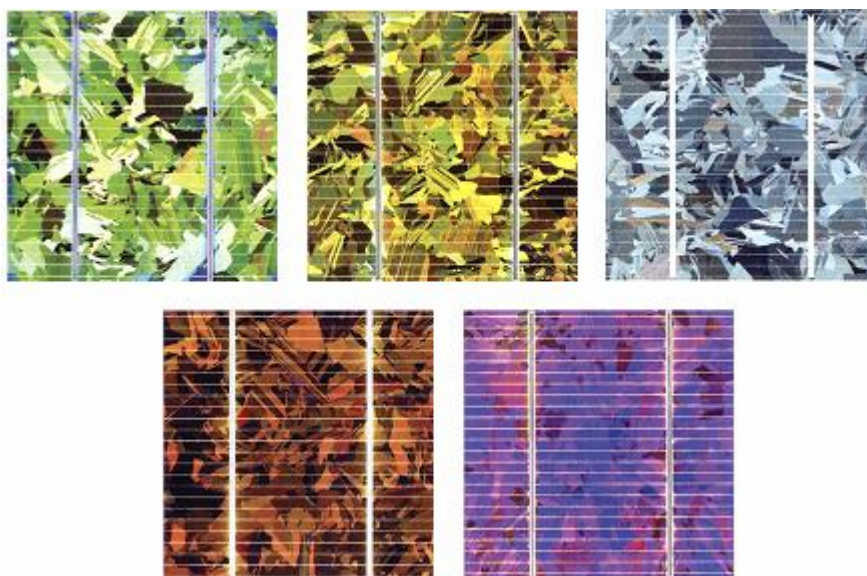
takzvaného difuzního záření, což znamená, že při poklesu intenzity světla nenastává tak velký pokles výkonu jako například u panelů z polykryalického křemíku. Struktura vícevrstvého článku je na obrázku 13. [4,6]



Obrázek 13: Vrstvy amorfního článku [11]

## 2.4 Antireflexní vrstva

Účelem antireflexní vrstvy (AR) je eliminace optické ztráty článku (materiál sám o sobě má velký index lomu, jehož důsledkem je odraz části dopadajícího záření). Druhotným efektem je charakteristické zbarvení krystalických článků od modré po červenou barvu. V současné době jsou vyráběny články v barvách: zelené, zlaté, světle modré, hnědé a fialové (obrázek 14). Cenou za zbarvení je však nižší účinnost, naproti tomu však takovéto články nabízejí více možností architektům. Základní barva fotovoltaických článků je šedostříbrná. [7]



Obrázek 14: Barevné variace polykrystalických panelů [7]

### 3 Základní fotovoltaické systémy

Fotovoltaické systémy lze rozdělit, podle toho, jak bude nakládáno s vyrobenou energií podle toho, zda jsou či nejsou připojeny k rozvodné síti elektřiny.

#### 3.1 Systémy připojené k elektrické rozvodné síti, v angličtině "Grid on"

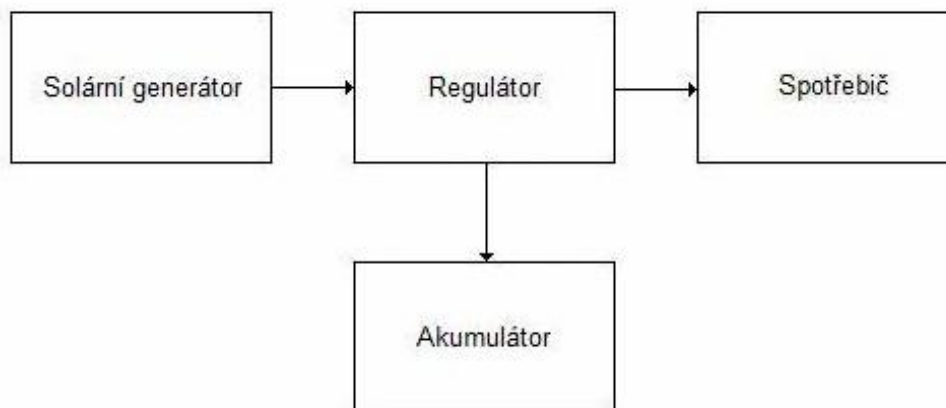
Používají se v místech, kde je připojení k distribuční síti elektrické energie. Tyto systémy se mohou používat ryze pro dodávku do distribuční sítě, nebo mohou vyrábět energii pro vlastní spotřebu a přebytky energie dodávat do distribuční sítě.



Obrázek 15: Schéma systému Grid on

#### 3.2 Systémy bez připojení k rozvodné síti, v angličtině "Grid off"

Používají se všude tam, kde není přístup k rozvodné síti anebo náklady na vybudování samotného připojení k rozvodné síti, převyšují náklady na ucelený fotovoltaický systém.



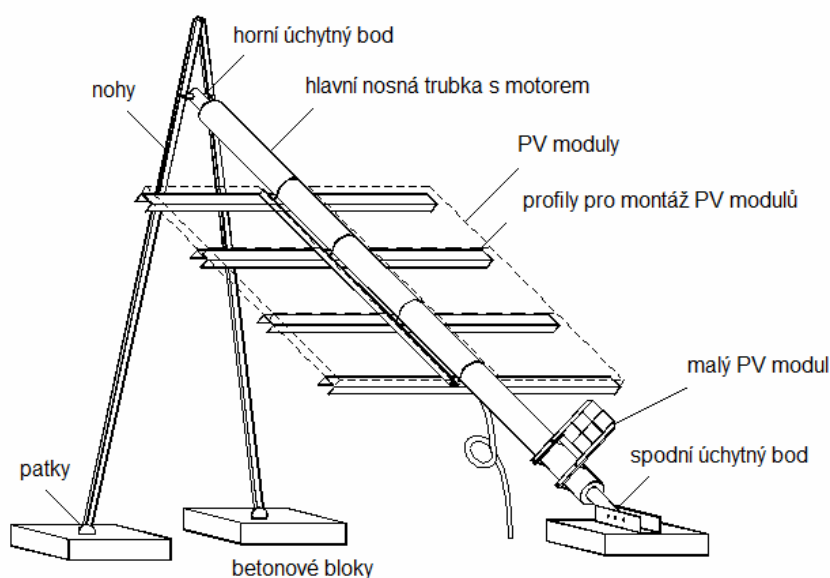
Obrázek 16: Schéma systému Grid off



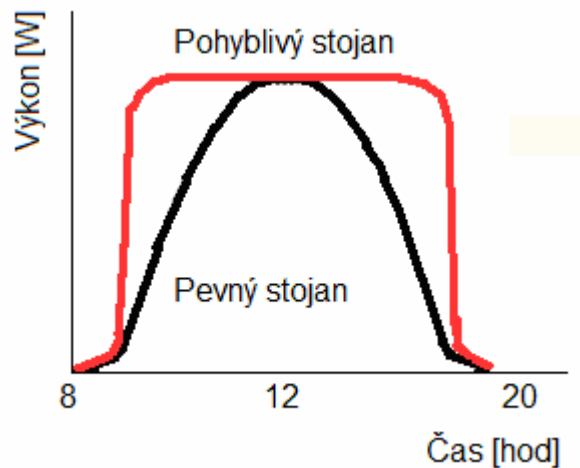
### 3.3 Zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů

První z možností je použití oboustranných modulů, které nachází uplatnění zejména na střechách, které dobře odráží sluneční paprsky. Velkého navýšení produkce energie se dosahuje v případech, jsou-li panely namontovány na bílé nebo stříbrně natřené střeše. Zde se dosahuje nárůstu produkce energie až desítek procent. [4]

Druhou možností je natáčení modulu za sluncem, využívá se zde systému Traxle (obrázek 17, 18). Jedná se o jednoduché, ale velice účinné zařízení. Panely jsou zde uloženy na otočné ose, na které je kolmo k panelům vyrábějícím elektrickou energii umístěn ještě malý modul z obou stran pokrytý fotovoltaickými články, jehož energie se využívá k pohonu stejnosměrného motoru, který natáčí panely za sluncem. Pokud začne svítit na tento modul slunce z jedné strany, začíná modul vyrábět elektrickou energii a motor otáčí přes převodové ústrojí panely. Existují i varianty s čidly, které snímají sluneční záření. Jsou-li čidla stejně osluněna, systém je v rovnováze. V praxi se používají i konstrukce, kde je možné nastavit sklon fotovoltaických panelů ve svislé ose. U malých zařízení bývá tato varianta realizována manuálně (v závislosti na ročním období), nebo vůbec. U větších zařízení je tato problematika řešena pomocí počítače. [4]



Obrázek 17: Sledovací zařízení Traxle [12]



Obrázek 18: Pevný a pohyblivý stojan – výroba elektrické energie [13]

Třetí možností je použití koncentrátorů, neboli zařízení, která jsou schopna soustředit sluneční záření do malé plochy. Z pravidla se rozdělují na: [5]

a) zrcadlové koncentrátoři

**s rovinným zrcadlem** - levná výroba, malá koncentrace záření, vhodné při použití s natáčecím zařízením

**s parabolickým zrcadlem** - složitější výroba, vysoký stupeň koncentrace, nutnost chlazení například vodou, kterou lze využít k ohřevu

b) čočkové koncentrátoři

s běžnou spojnou čočkou

s Fresnelovou čočkou

### **3.4 Umístování fotovoltaických panelů**

Fotovoltaický článek musí být:

- a) Umístěn tak, aby na něho po celý rok dopadalo co nejvíce slunečního záření a v průběhu roku nedocházelo k zastínění panelů, z důvodu různé výšky slunce (například: stromy, okolní zástavbou, apod.).
- b) Umístěn tak, aby kolem něho mohl cirkulovat vzduch, neboť vyšší teplota snižuje výkon fotovoltaického panelu a také může způsobit jeho poškození nebo zničení, zejména za vyšších letních teplot (dnes již se tento technický problém prakticky nevyskytuje).
- c) Umístěn pevně na nosné konstrukci, aby nemohlo dojít k jeho uvolnění, či poškození vlivem nepříznivých povětrnostních podmínek.
- d) Umístěn tak, aby k němu byl dostatečný přístup, pro čištění, opravu nebo nastavení výšky sklonu.

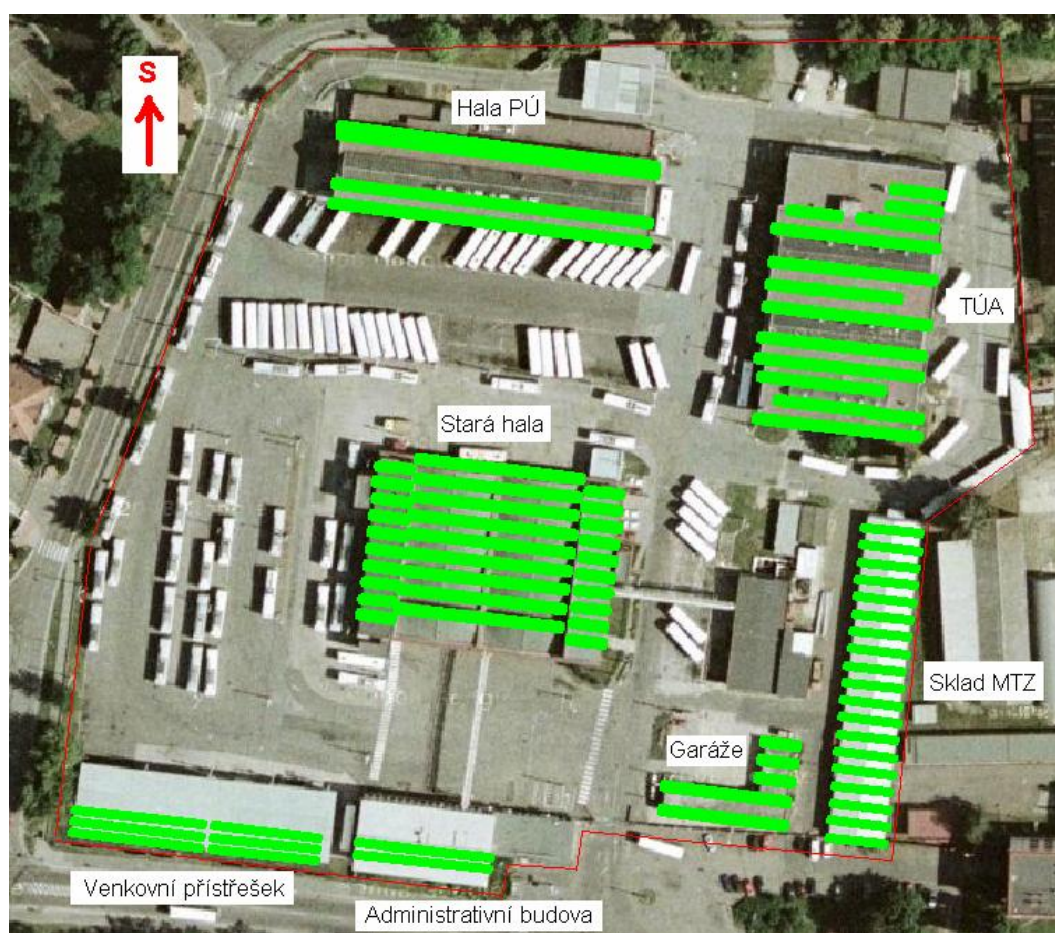
## 4 Dopravní podnik města Pardubice

### 4.1 Základní informace

Dopravní podnik města Pardubice se rozkládá na pozemku o výměře přibližně 40 000 m<sup>2</sup>. Na této ploše je vystavěno celkem dvanáct budov o celkové zastavěné ploše přibližně 11 100 m<sup>2</sup>.

Zeměpisná poloha: zeměpisná šířka: 50°1'40.031"N  
zeměpisná délka: 15°45'24.525"E  
nadmořská výška: 221 m

Celková koncepce fotovoltaických panelů, jejich umístění, využití stávající plochy je zakreslena do leteckého snímku, obrázek 19.

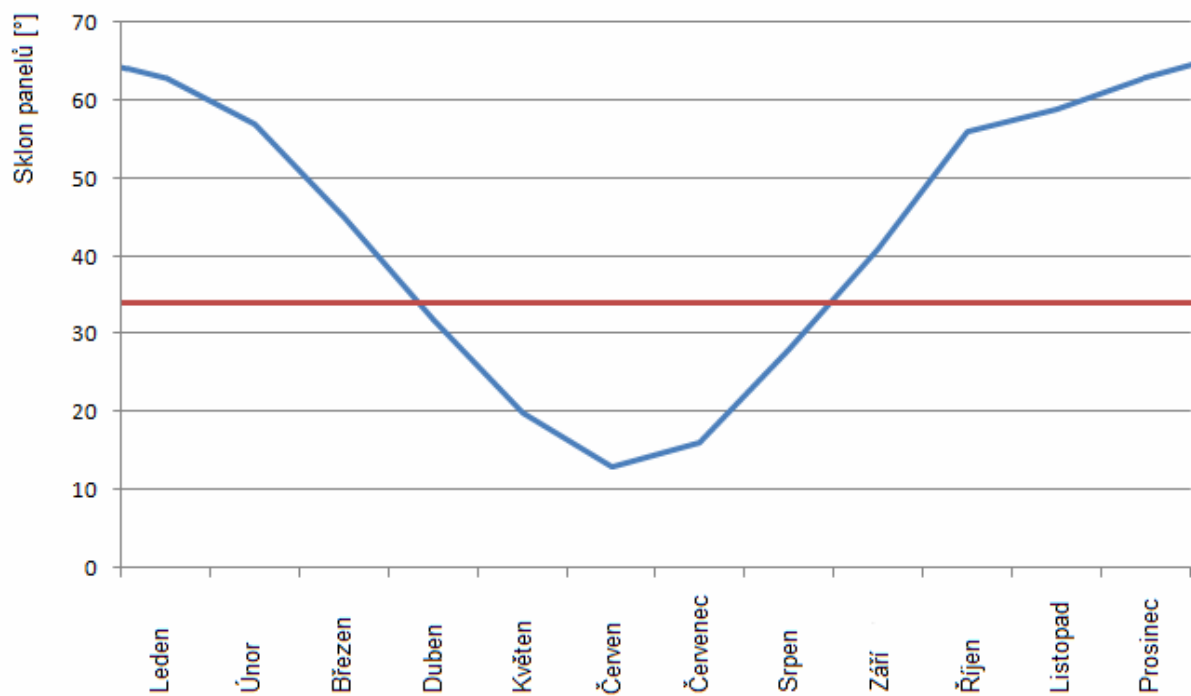


Obrázek 19: Střešní plochy budov vhodných pro instalaci fotovoltaických panelů

Optimální hodnoty náklonu fotovoltaických panelů v závislosti na ročním období jsou uvedeny v tabulce 1 a pro názornost vyneseny do grafu 1.

Tabulka 1: Závislost náklonu fotovoltaických panelů na ročním období

Měsíc	Náklon panelů [°]
Leden	63
Únor	57
Březen	45
Duben	32
Květen	20
Červen	13
Červenec	16
Srpen	28
Září	41
Říjen	56
Listopad	59
Prosinec	63
<b>Roční průměr</b>	<b>34</b>



Graf 1: Závislost náklonu fotovoltaických panelů na ročním období

## 4.2 Současná spotřeba energií DPmP

Spotřeba elektrické energie za rok 2008. Data, která poskytl dopravní podnik jsou uvedena v tabulce 2. Největší spotřeby se dosahuje, dle očekávání v zimních měsících, naopak nejmenší spotřeby elektrické energie jsou v letních měsících, zejména v červenci a v srpnu.

Tabulka 2: DPmP – spotřeba elektřiny [kWh] za rok 2008

Měsíc	Stará hala	Administrativní budova	Výměník, Hala MTZ	Těžká údržba autobusů	Hala povrchových úprav	Veřejné osvětlení	DPmP
1	9960	11580	9900	6500	19080	8507	65527
2	8490	9780	8430	5400	16320	6712	55132
3	7860	8940	8130	4200	14520	5914	49564
4	8670	10920	6780	3800	15000	5888	51058
5	5400	8820	3450	3300	10740	4549	36259
6	5190	7200	2820	2800	11760	4653	34423
7	4050	5880	2430	2400	9360	4304	28424
8	5310	5670	2160	2700	8220	4954	29014
9	8430	6720	5310	3800	14400	6750	45410
10	11220	8760	9840	6500	19260	6540	62120
11	7680	5130	7830	4400	13140	6827	45007
12	11010	8040	12090	6400	19560	7972	65072
Průměr	7772.5	8120	6597.5	4350	14280	6130.8	47251

Spotřeba teplé užitkové vody za rok 2008. Data, která poskytl dopravní podnik jsou uvedena v tabulce 3. Spotřeba TUV je celá poměrně vyrovnaná, až na letní měsíce, kdy je spotřeba opět nejmenší.

Tabulka 3: DPmP – spotřeba TUV [m<sup>3</sup>] za rok 2008

Měsíc	Stará hala	Administrativní budova	Výměník, Hala MTZ	Těžká údržba autobusů	Hala povrchových úprav	Hala MTZ	DPmP
1	215	85	35	520	58	80	993
2	200	81	30	505	55	72	943
3	205	80	31	515	51	78	960
4	198	83	32	521	50	79	963
5	204	79	30	509	48	71	941
6	207	75	27	513	54	75	951
7	195	71	25	490	48	68	897
8	194	70	24	485	45	66	884
9	205	79	30	501	51	74	940
10	214	82	31	505	50	81	963
11	203	83	33	526	55	75	975
12	191	74	29	500	49	70	913
Průměr	203	79	29.75	508	51	74	944

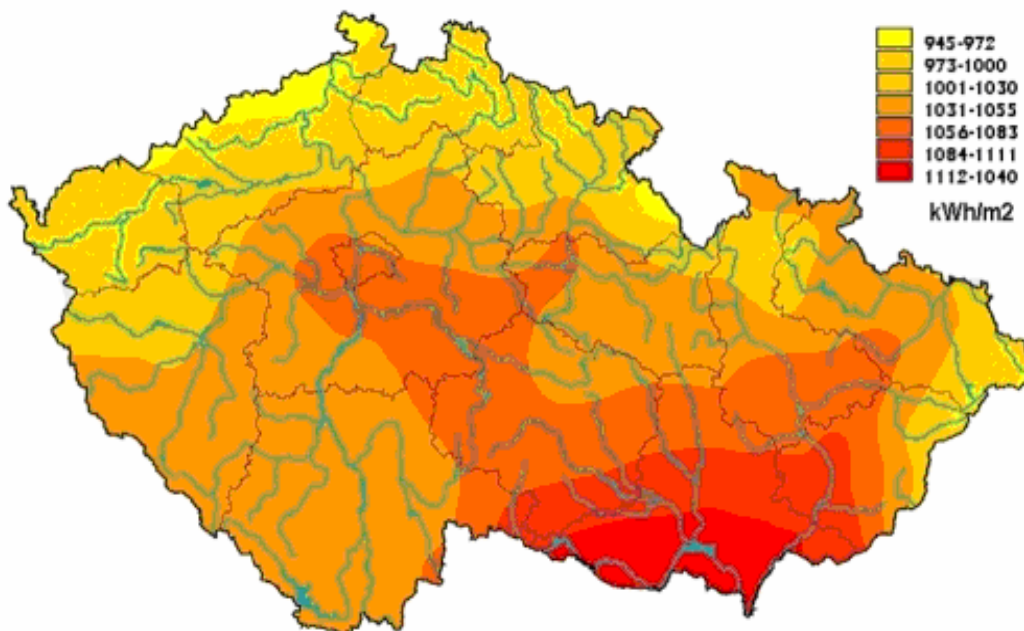
#### 4.3 Přehled délky svitu slunce na území České republiky

V tabulce 4, jsou uvedeny hodnoty svitu slunce v jednotlivých měsících pro oblast České republiky. Pro pardubický kraj jsou tyto hodnoty velice podobné (doba slunečního svitu meziročně přibývá).

Tabulka 4: Doba slunečního svitu na území ČR [14]

Rok 2007	Sluneční svit [hod]	Rok 2008	Sluneční svit [hod]
Leden	22,2	Leden	24,5
Únor	34,9	Únor	92,7
Březen	87,7	Březen	84,3
Duben	234,1	Duben	120,7
Květen	185,5	Květen	172,8
Červen	185,7	Červen	163,3
Červenec	189,6	Červenec	159,2
Srpen	172,6	Srpen	168,9
Září	114,9	Září	103,4
Říjen	66,9	Říjen	91,5
Listopad	23,4	Listopad	25,5
Prosinec	20,9	Prosinec	37,5
Celkem	1338,4	Celkem	1244,3

Na obrázku 20 je mapa České republiky se zakreslením průměrného ročního globálního záření [kWh/m<sup>2</sup>]. Pardubický kraj patří do oblasti s 1031-1055 kWh/m<sup>2</sup>.



Obrázek 20: Průměrný roční úhrn globálního záření [15]

#### 4.4 Typy použitých fotovoltaických panelů

Uvažovaná výroba elektrické energie je realizována pomocí fotovoltaických panelů firmy Mtech-solar a fotovoltaickými šindeli Tegosolar PVL 68 Cu, které nabízí v současnosti firma ONDULINE. Produktová řada firmy Mtech-solar je tvořena zejména z polykrystalických fotovoltaických panelů Koycera, z nichž byl vybrán panel KD205GH-2P.

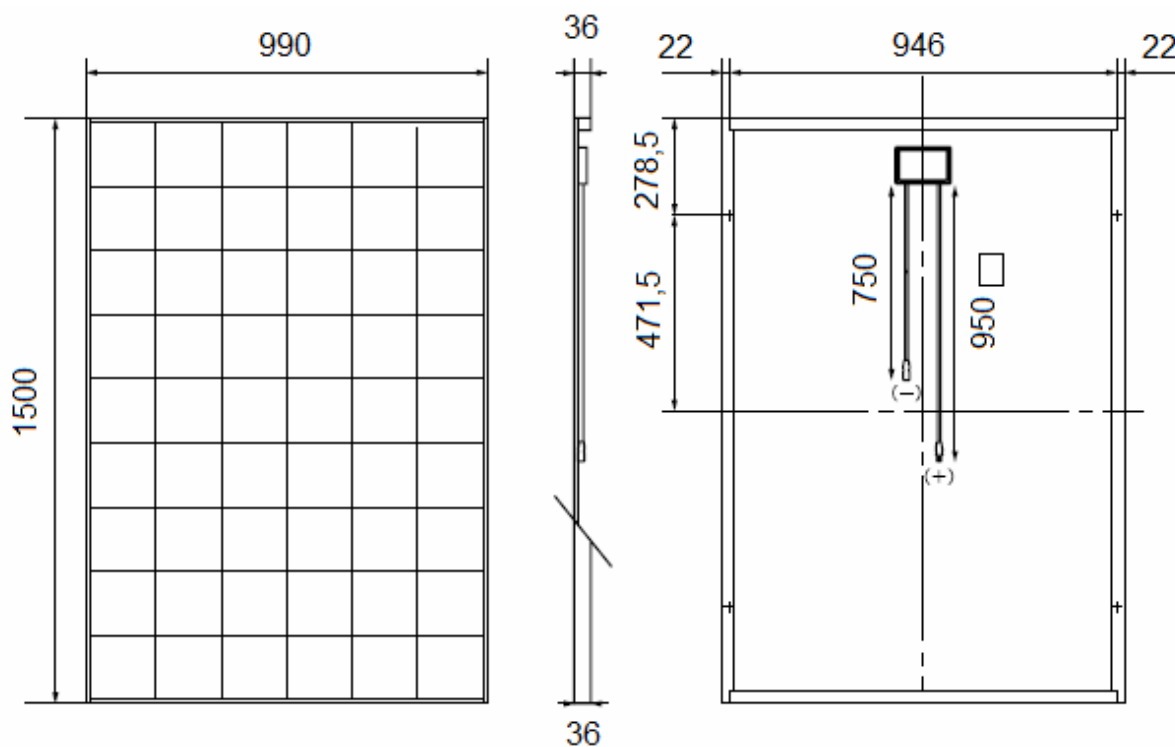
#### 4.5 Fotovoltaický panel KD205GH-2P - základní vlastnosti

Na ochranu před povětrnostními vlivy jsou fotovoltaické panely KD205GH-2P kryty z přední strany tvrzeným sklem a ze strany zadní PET folií. Články fotovoltaického panelu uložené v EVA folii jsou zasazeny do stabilního hliníkového rámu. Hlavní hodnoty tohoto panelu jsou uvedeny v tabulce 5, vzhled a rozměry jsou na obrázku 21 a Volt-Ampérová charakteristika je vynesena v grafu 2.

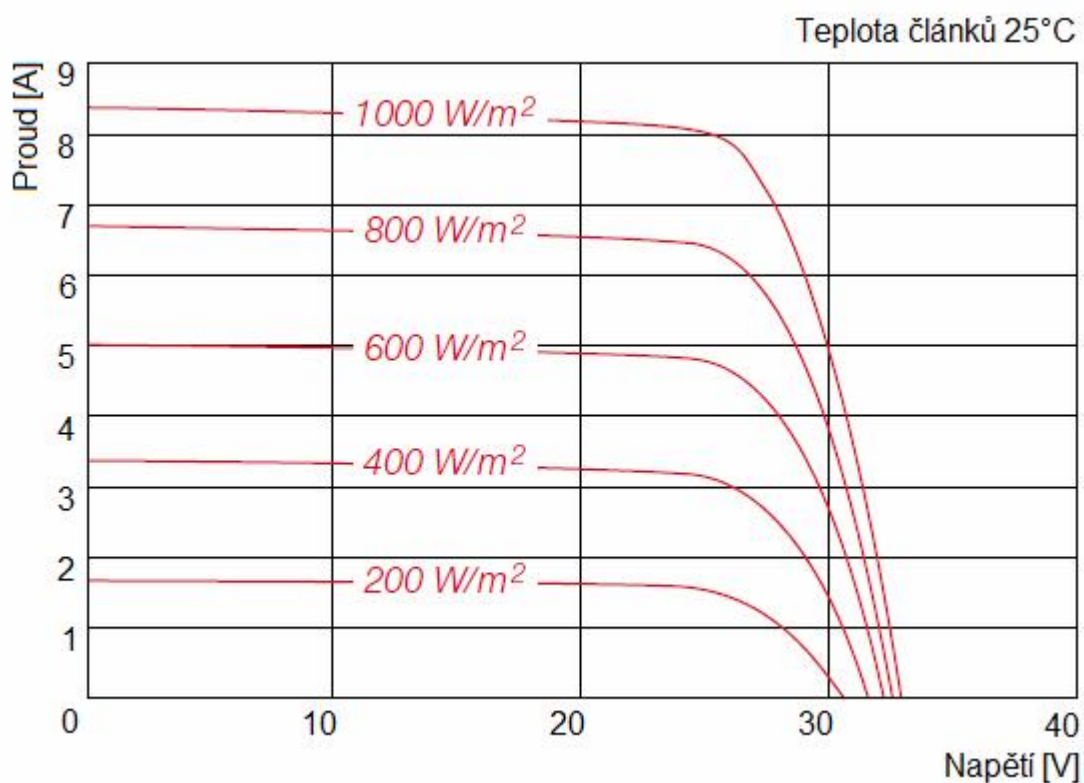


Tabulka 5: Specifikace fotovoltaického panelu KD205GH-2P [16]

<b>Při 1000 W/m<sup>2</sup> (STC)</b>	
Jmenovitý výkon [W]	205
Max. napětí systému [V]	1000
Napětí při jmenovitém výkonu [V]	26,6
Proud při jmenovitém výkonu [A]	7,71
Napětí naprázdno (Voc) [V]	33,2
Zkratový proud (Isc) [A]	8,36
<b>Při 800 W/m<sup>2</sup> (NOCT)</b>	
Jmenovitý výkon [W]	145
Napětí při jmenovitém výkonu [V]	23,5
Proud při jmenovitém výkonu [A]	6,17
Napětí naprázdno (Voc) [V]	29,9
Zkratový proud (Isc) [A]	6,82
<b>Rozměry</b>	
Délka [mm]	1500
Šířka [mm]	990
Výška vč. přípojovací krabičky [mm]	36
Hmotnost [kg]	18,5
Účinnost článků [%]	15,9



Obrázek 21: Rozměry fotovoltaického panelu KD205GH-2P [16]



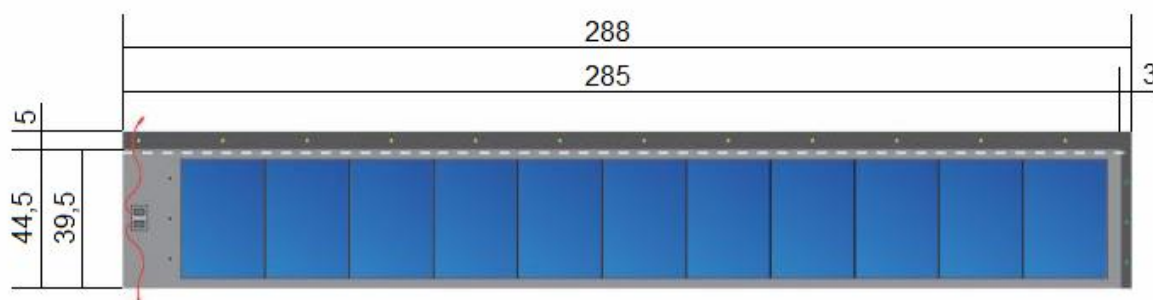
Graf 2: VA – char. panelu KD205GH-2P při různém intenzitě osvětlení [16]

#### 4.6 Fotovoltaický šindel Tegosolar PVL 68 Cu - základní vlastnosti

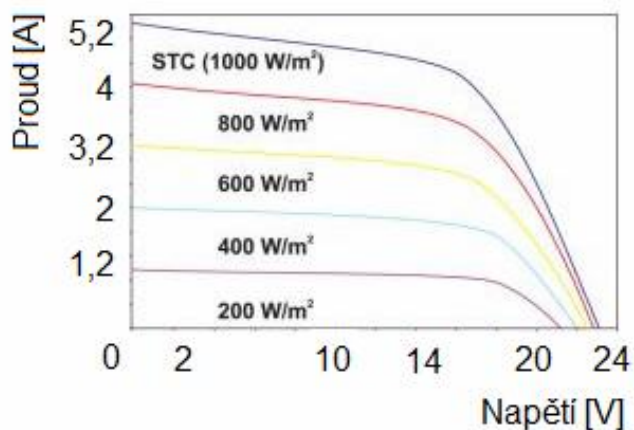
Fotovoltaický šindel Tegosolar PVL 68 Cu představuje jedinečné spojení střešní šindele a fotovoltaického panelu, který neobsahuje sklo. Je elastický a prakticky nerozbitný. Výkon fotovoltaických panelů, není tak vysoký jako u panelů z polykrystalického křemíku, ale díky většímu využití difuzního záření je v celoročním provozu možné dosáhnout i lepších výsledků. Panely se používají v kombinaci se střešní krytinou Tegola, nic však po vhodné přípravě střechy nebrání je použít, jak si představujeme. Hlavní hodnoty této fotovoltaické šindele jsou uvedeny v tabulce 6, vzhled a rozměry jsou na obrázku 22 a Volt-Ampérová charakteristika je vynesena v grafu 3.

Tabulka 6: Specifikace fotovoltaického šindele Tegosolar PVL 68 Cu [17]

<b>Při 1000 W/m<sup>2</sup> (STC)</b>	
Jmenovitý výkon [W]	68
Napětí při jmenovitém výkonu [V]	16,5
Proud při jmenovitém výkonu [A]	4,1
Napětí naprázdno (Voc) [V]	23,1
Zkratový proud (Isc) [A]	5,1
<b>Při 800 W/m<sup>2</sup> (NOCT)</b>	
Jmenovitý výkon [W]	53
Napětí při jmenovitém výkonu (Vmp) [V]	15,4
Proud při jmenovitém výkonu (Imp) [A]	3,42
Napětí naprázdno (Voc) [V]	21,1
Zkratový proud (Isc) [A]	4,1
<b>Rozměry</b>	
Délka [mm]	2849
Šířka [mm]	394
Tloušťka [mm]	2,5
Hmotnost [kg]	3,9
Účinnost článků [%]	<5-7>



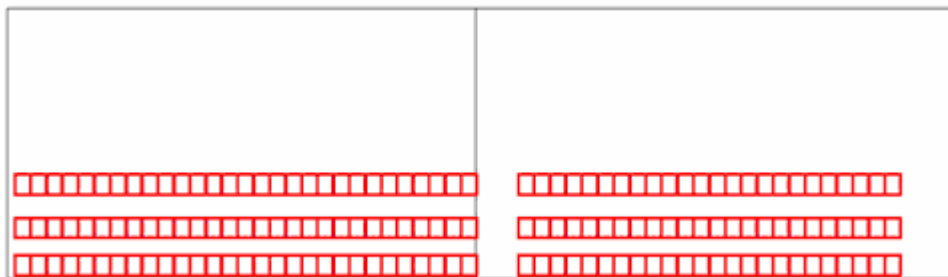
Obrázek 22: Rozměry fotovoltaického šindele Tegosolar PVL 68 Cu [17]



Graf 3: VA – char. šindele Tegosolar PVL 68 Cu při různé intenzitě osvětlení [17]

## 5 Návrh fotovoltaického systému pro jednotlivé budovy

### 5.1 Venkovní přístřešek



Obrázek 23: Venkovní přístřešek – dispozice fotovoltaických panelů

Základem této stavby je masivní, kovová konstrukce z ocelových profilů (U, I). Jako střešní krytina je zde použit trapézový plech, který je upevněn na pevnou svařovanou, trubkovou konstrukci. Dle posudku nosnosti střechy, netvoří navrhnuté rozmístění panelů na střeše žádný problém z hlediska statiky stavby. Návrh nosné konstrukce pro fotovoltaické panely na této budově je individuálního charakteru, to znamená, že se nejedná o žádný sériově vyráběný systém na upevnění panelů, ale o vyvařovanou konstrukci z ocelových profilů, která bude přivařena na stávající konstrukci střechy, čímž bude zaručena stabilita a odolnost vůči povětrnostním vlivům. Zároveň takto navrhnutá konstrukce umožňuje polohovatelnost panelů ve svislé ose (změna sklonu panelů), což umožňuje v jednotlivých obdobích roku přizpůsobit sklon panelů výšce slunce. Umístění panelů na střeše této stavby dokládá obrázek 23.

Spodní hrana panelů bude umístěna minimálně 300 milimetrů nad střešní krytinou, tato vzdálenost nabývá na významu zejména v zimních měsících, za hustého sněžení. Vytváří prostor pro hromadění sněhu, aniž by docházelo k zastínění panelů. Rozestupy mezi panely, které zaručují, že v žádném měsíci nenastane situace, kdy přední panel zastíní následující panel. Rozestupy budou využity k servisním a udržovacím pracem. Podrobné informace o počtu panelů a výkonu udávají tabulky 7 a 8.

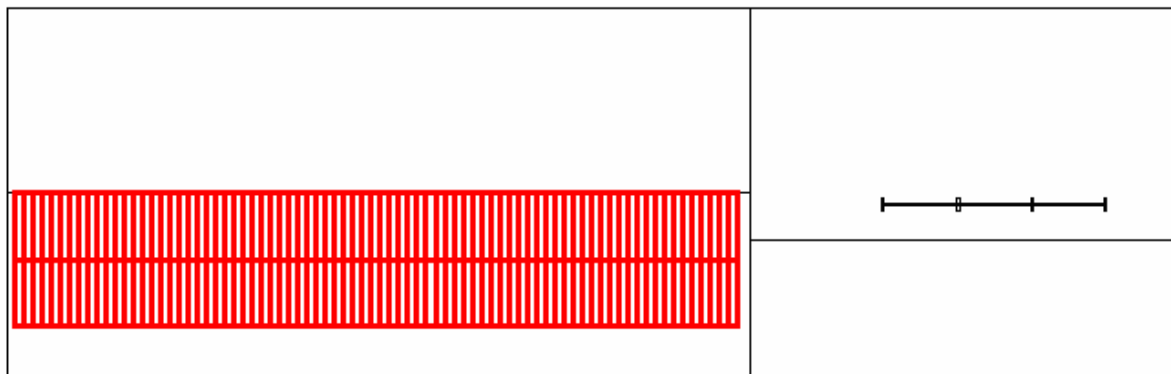
Tabulka 7: Venkovní přístřešek – základní informace [18,19]

<b>Venkovní přístřešek + garáže autoškoly</b>		
Typ fotovoltaických panelů	KD205GH-2P 205	
Počet fotovoltaických panelů	159	
Špičkový výkon [kWp]	32,595	
Náklon panelů [°]	34	
Sklon střechy [°]	<14	
Celková hmotnost panelů [kg]	2941,5	
Hmotnost panelů + konstrukce [kg/m <sup>2</sup> ]	<45	
<b>Předpokládané ztráty</b>		
Ztráty vlivem teploty [%]	6,8	
Ztráty vlivem odrazu [%]	3	
Ztráty na zařízení (kabel, měnič,..) [%]	14	
Celkem [%]	23,8	

Tabulka 8: Venkovní přístřešek – předpokládaná výroba elektrické energie [18,19]

<b>Předpokládaná výroba elektrické energie při špičkovém výkonu 32,595 kWp, ztráty na zařízení 14%</b>		
<b>Měsíc</b>	<b>za měsíc [kWh]</b>	<b>za den [kWh]</b>
Leden	946	31
Únor	1500	54
Březen	2465	80
Duben	3199	107
Květen	3871	125
Červen	3560	119
Červenec	3867	125
Srpen	3566	115
Září	2589	86
Říjen	2200	71
Listopad	924	31
Prosinec	681	22
Roční průměr	2447	80
<b>Celková roční výroba</b>	<b>29369 kWh</b>	

## 5.2 Administrativní budova



Obrázek 24: Administrativní budova – dispozice fotovoltaických panelů

Po stavební stránce se jedná o zděnou stavbu, ke které byla postupem času přistavěna vrátnice. Budova vrátnice však není vhodná pro instalaci panelů, jednak z důvodu malé nosnosti střechy a pak také z hlediska osvětlení slunečním zářením. Problém s nosností, lepenkové střechy vrátnice, by bylo možné vyřešit ocelovou konstrukcí, která by plně odlehčila zatížení této plochy. Cena takovéto konstrukce by byla neúměrně vysoká a neřeší problém se zastíněním této plochy. Teoretickým řešením by bylo nosnou konstrukci nastavit tak, aby fotovoltaické panely byly v úrovni střechy administrativní budovy, takovéto řešení je v praxi nemožné, zejména z estetického a v neposlední řadě z finančního důvodu.

Střešní krytina administrativní budovy je realizována trapézovými plechy, na dřevěné konstrukci. Z hlediska zatížení střechy je však možné na střechu této budovy instalovat lepenkové fotovoltaické panely ovšem jen v omezené míře, jak dokumentuje výkres. Panely mají podstatně menší hmotnost, cenu a vyrábějí podstatně méně elektrické energie, výhodou však je větší zisk z difuzního záření a možnost instalovat je prakticky na jakoukoliv plochu. Umístění panelů na střeše této stavby dokládá obrázek 24. Fotovoltaická šindel se navaří na stávající střešní krytinu buď přímo nebo se před uložení vyrobí lehká nosná konstrukce která oddělí střešní krytinu od fotovoltaických šindelů. Podrobné informace o počtu panelů a výkonu udávají tabulky 9 a 10.

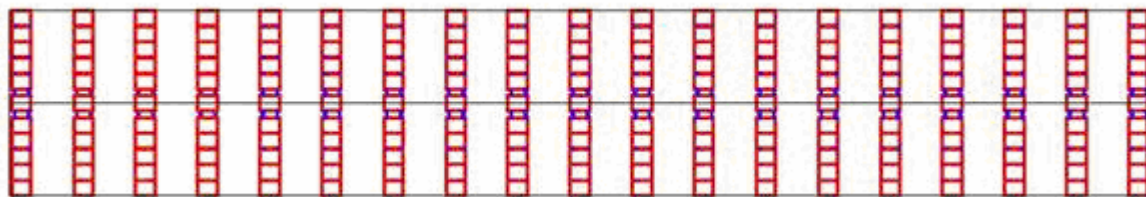
Tabulka 9: Administrativní budova – základní informace [18,19]

<b>Administrativní budova</b>	
Typ fotovoltaických panelů	TEGOSOLAR PVL 68 Cu
Počet fotovoltaických panelů	158
Špičkový výkon [kWp]	10,744
Náklon panelů [°]	16
Sklon střechy [°]	16
Celková hmotnost panelů [kg]	616,2
Hmotnost panelů + konstrukce [kg/m <sup>2</sup> ]	<5
<b>Předpokládané ztráty</b>	
Ztráty vlivem teploty [%]	8
Ztráty vlivem odrazu [%]	3,4
Ztráty na zařízení (kabel, měnič,..) [%]	14
Celkem [%]	25,4

Tabulka 10: Administrativní budova – předpokládaná výroba el. energie [18,19]

<b>Předpokládaná výroba elektrické energie při špičkovém výkonu 10,7 kWp, ztráty na zařízení 14%</b>		
<b>Měsíc</b>	<b>za měsíc [kWh]</b>	<b>za den [kWh]</b>
Leden	234	8
Únor	391	14
Březen	698	23
Duben	989	33
Květen	1283	41
Červen	1219	41
Červenec	1320	43
Srpen	1167	38
Září	781	26
Říjen	596	19
Listopad	242	8
Prosinec	170	5
Roční průměr	758	25
<b>Celková roční výroba</b>	<b>9090 kWh</b>	

### 5.3 Hala Materiálně - technického zázemí



Obrázek 25: Hala MTZ – dispozice fotovoltaických panelů

Budova je po stavební stránce ve velmi zachovalém stavu. Střešní krytina této zděné budovy je provedena trapézovým plechem na dřevěné konstrukci. Z hlediska statiky by bylo možné panely umístit přímo na střešní krytinu díky speciálnímu systému uchycení, avšak nasměrování panelů by nevyhovovalo požadavkům. Instalace fotovoltaických panelů vyžaduje demontáž části střešní krytiny z důvodu dodatečného vestavění ocelové konstrukce, která může být pro každou řadu fotovoltaických panelů zvlášť se samostatným ukotvením do zdiva nebo může být zhotovena obvodová konstrukce, na kterou se navaří podporné konstrukce pro panely (zde se však konstrukce ukotví jen na několika místech do zdiva). Při návrhu bylo opět počítáno se snadným přístupem k panelům pro čištění a opravy fotovoltaických panelů. Umístění panelů na střeše této stavby dokládá obrázek 25.

Nosná ocelová konstrukce zde tedy řeší dva problémy, tím prvním je výškové nastavení panelů a tím druhým je podstatné zmenšení zatížení střechy. Výškové nastavení fotovoltaických panelů nad úroveň střešní krytiny, nachází využití zejména v zimních měsících, kdy tvoří přirozený odpad sněhu a tím usnadňuje samotnou údržbu. Podrobné informace o počtu panelů a výkonu udávají tabulky 11 a 12.



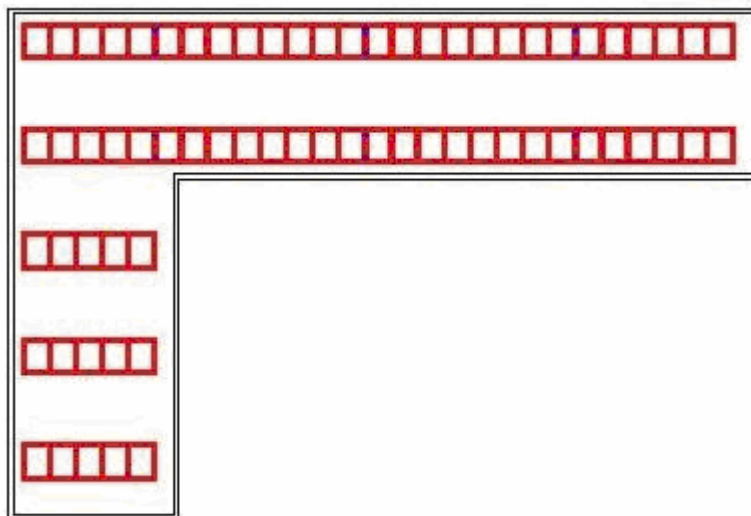
Tabulka 11: Hala MTZ – základní informace [18,19]

<b>Hala MTZ</b>	
Typ fotovoltaických panelů	KD205GH-2P 205
Počet fotovoltaických panelů	209
Špičkový výkon [kWp]	42,845
Náklon panelů [°]	34
Sklon střechy [°]	0
Celková hmotnost panelů [kg]	3866,5
Hmotnost panelů + konstrukce [kg/m <sup>2</sup> ]	<60
<b>Předpokládané ztráty</b>	
Ztráty vlivem teploty [%]	6,8
Ztráty vlivem odrazu [%]	3
Ztráty na zařízení (kabel, měnič,..) [%]	14
Celkem [%]	23,8

Tabulka 12: Hala MTZ – předpokládaná výroba elektrické energie [18,19]

<b>Předpokládaná výroba elektrické energie při špičkovém výkonu 42,845 kWp, ztráty na zařízení 14%</b>		
<b>Měsíc</b>	<b>za měsíc [kWh]</b>	<b>za den [kWh]</b>
Leden	1244	40
Únor	1972	70
Březen	3240	105
Duben	4205	140
Květen	5089	164
Červen	4679	156
Červenec	5083	164
Srpen	4687	151
Září	3404	113
Říjen	2891	93
Listopad	1215	41
Prosinec	896	29
Roční průměr	3217	106
<b>Celková roční výroba</b>	<b>38604 kWh</b>	

## 5.4 Garáže



Obrázek 26: Garáže – dispozice fotovoltaických panelů

Jedná se o zděnou budovu, která nosností střechy vyhovuje pro umístění fotovoltaických panelů včetně lehké hliníkové konstrukce. Základem konstrukce střechy jsou ocelové profily, ve kterých jsou zapevněny hurdisky. Vodorovná střecha pokrytá lepenkou vytváří ideální podmínky pro umístění fotovoltaických panelů. Umístění panelů na střeše této stavby dokládá obrázek 26. Praktický je možné zde panely instalovat jako na „zelené louce“, což vede především k úsporám materiálu a samozřejmě celkové ceny. Podrobné informace o počtu panelů a výkonu udávají tabulky 13 a 14.

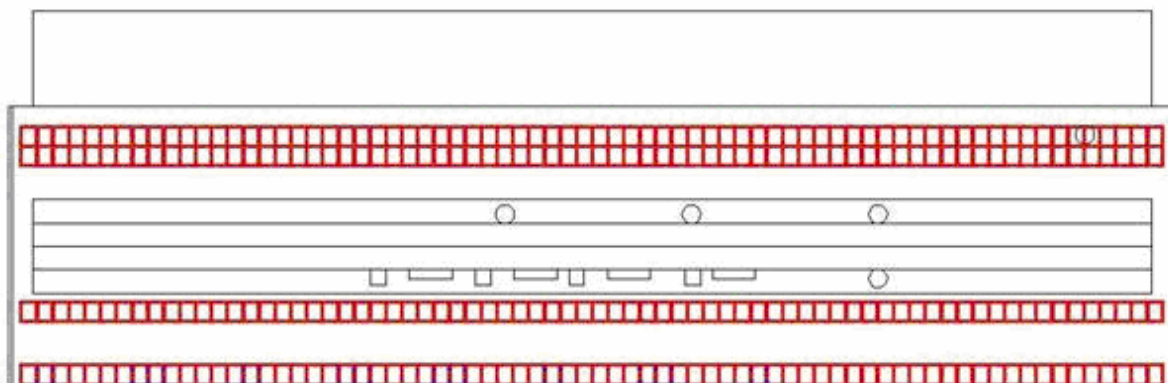
Tabulka 13: Garáže – základní informace [18,19]

<b>Garáže</b>	
Typ fotovoltaických panelů	KD205GH-2P 205
Počet fotovoltaických panelů	69
Špičkový výkon [kWp]	14,145
Náklon panelů [°]	34
Sklon střechy [°]	0
Celková hmotnost panelů [kg]	1276,5
Hmotnost panelů + konstrukce [kg/m <sup>2</sup> ]	<40
<b>Předpokládané ztráty</b>	
Ztráty vlivem teploty [%]	6,8
Ztráty vlivem odrazu [%]	3
Ztráty na zařízení (kabel, měnič,..) [%]	14
Celkem [%]	23,8

Tabulka 14: Garáže – předpokládaná výroba elektrické energie [18,19]

<b>Předpokládaná výroba elektrické energie při špičkovém výkonu 17,8 kWp, ztráty na zařízení 14%</b>		
<b>Měsíc</b>	<b>za měsíc [kWh]</b>	<b>za den [kWh]</b>
Leden	411	13
Únor	651	23
Březen	1070	35
Duben	1388	46
Květen	1680	54
Červen	1545	51
Červenec	1678	54
Srpen	1547	50
Září	1124	37
Říjen	955	31
Listopad	401	13
Prosinec	296	10
Roční průměr	1062	35
<b>Celková roční výroba</b>	<b>12745 kWh</b>	

## 5.5 Hala povrchových úprav



Obrázek 27: Hala povrchových úprav – dispozice fotovoltaických panelů

Střecha této budovy je tvořena ocelovými nosníky, jako střešní krytina je použita lepenka. K upevnění nosné konstrukce fotovoltaických panelů, by bylo vhodné využít stávající konstrukce střechy, na kterou by se nosná konstrukce fotovoltaických panelů pevně navařila, tím by se docílilo vysoké stability a odolnosti vůči povětrnostním vlivům. Rozmístění panelů na střeše této budovy je na obrázku 27. Na střechu haly povrchových úprav by bylo možné instalovat i solární panely pro ohřev vody, která by mohla nahradit stávající mytí autobusů studenou vodou. V hale by musel vzniknout prostor pro umístění zásobníků a dalších zařízení potřebných k ohřevu vody. Podrobné informace o počtu panelů a výkonu udávají tabulky 15 a 16.

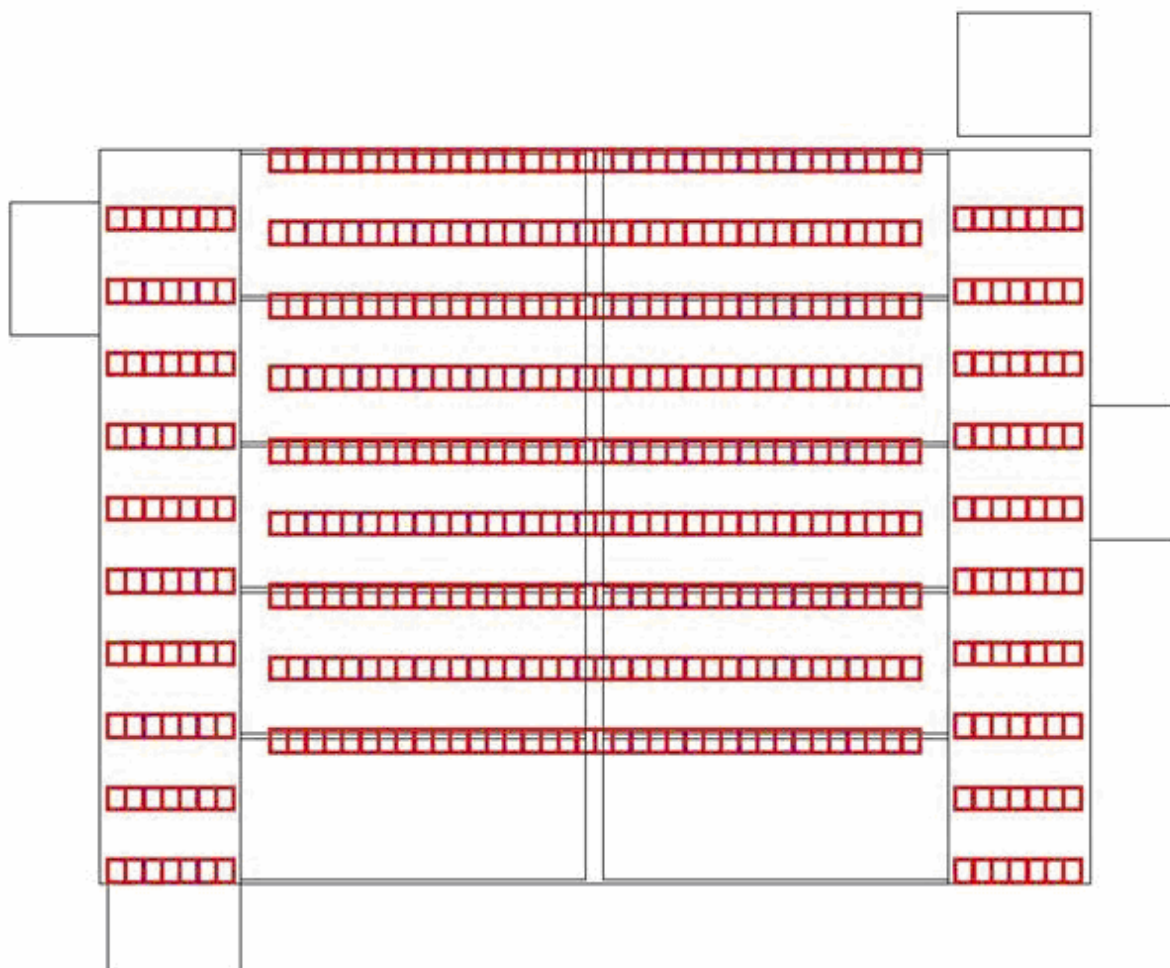
Tabulka 15: Hala povrchových úprav – základní informace [18,19]

<b>Hala povrchových úprav</b>	
Typ fotovoltaických panelů	KD205GH-2P 205
Počet fotovoltaických panelů	288
Špičkový výkon [kWp]	59,040
Náklon panelů [°]	34
Sklon střechy [°]	0
Celková hmotnost panelů [kg]	5328
Hmotnost panelů + konstrukce [kg/m <sup>2</sup> ]	<40
<b>Předpokládané ztráty</b>	
Ztráty vlivem teploty [%]	6,8
Ztráty vlivem odrazu [%]	3
Ztráty na zařízení (kabel, měnič,..) [%]	14
Celkem [%]	23,8

Tabulka 16: Hala povrchových úprav – předpokládaná výroba el. energie [18,19]

<b>Předpokládaná výroba elektrické energie při špičkovém výkonu 59,040 kWp, ztráty na zařízení 14%</b>		
<b>Měsíc</b>	<b>za měsíc [kWh]</b>	<b>za den [kWh]</b>
Leden	1714	55
Únor	2717	97
Březen	4464	144
Duben	5794	193
Květen	7012	226
Červen	6448	215
Červenec	7005	226
Srpen	6458	208
Září	4690	156
Říjen	3984	129
Listopad	1674	56
Prosinec	1234	10
Roční průměr	4433	146
<b>Celková roční výroba</b>	<b>53196 kWh</b>	

## 5.6 Stará hala



Obrázek 28: Stará hala – dispozice fotovoltaických panelů

Tato budova má ze všech budov Dopravního podniku města Pardubice, po stránce nosnosti nejlépe provedenou střechu. Střecha této budovy je odlita z betonu a z venkovní strany je na ni napařena lepenka. Z důvodu členitosti je nutné na střeše budovy vystavět konstrukci z ocelových profilů a na ni fotovoltaické panely instalovat. Nosná konstrukce, která bude záměrně více, jak 1500 mm vyvýšena nad střechou má za úkol jednak usnadnit přístup k panelům, a pak také eliminovat zastínění, které tvoří přístavby z východní a západní strany. Umístění panelů na střeše této stavby dokládá obrázek 28. Podrobné informace o počtu panelů a výkonu udávají tabulky 17 a 18.

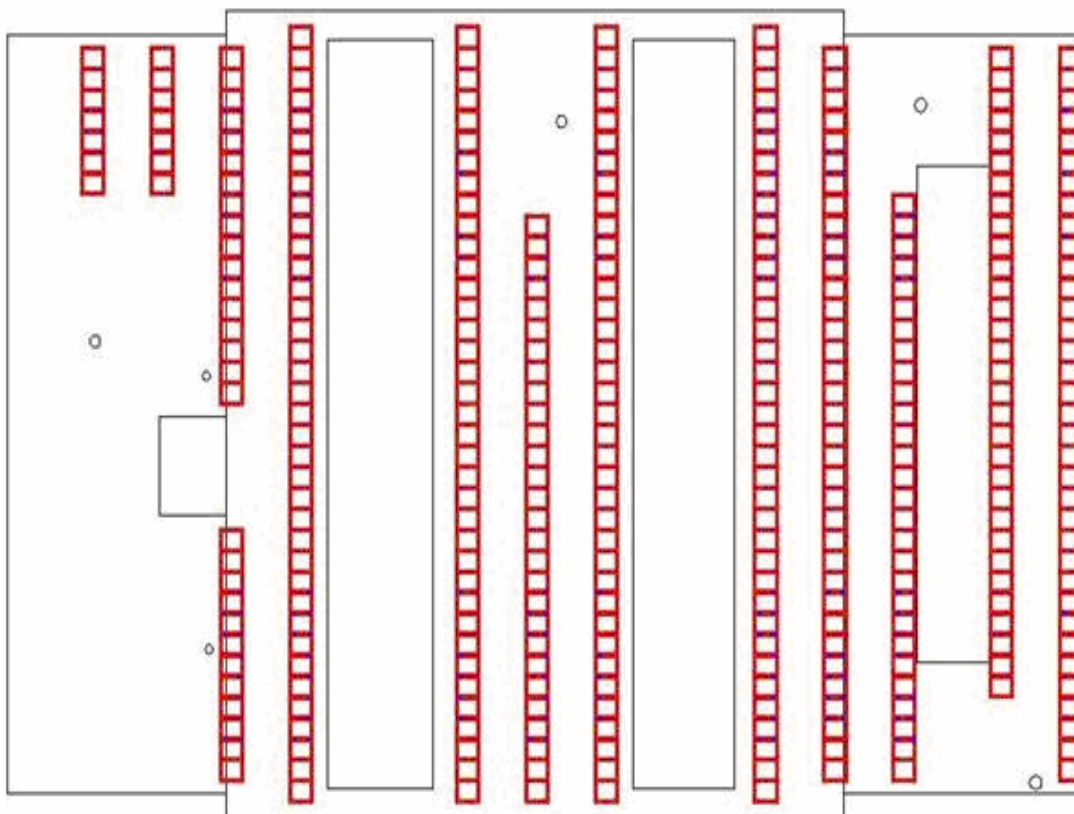
Tabulka 17: Stará hala – základní informace [18,19]

<b>Stará hala</b>	
Typ fotovoltaických panelů	KD205GH-2P 205
Počet fotovoltaických panelů	464
Špičkový výkon [kWp]	95,120
Náklon panelů [°]	34
Sklon střechy [°]	0
Celková hmotnost panelů [kg]	8584
Hmotnost panelů + konstrukce [kg/m <sup>2</sup> ]	<50
<b>Předpokládané ztráty</b>	
Ztráty vlivem teploty [%]	6,8
Ztráty vlivem odrazu [%]	3
Ztráty na zařízení (kabel, měnič,..) [%]	14
Celkem [%]	23,8

Tabulka 18: Stará hala – předpokládaná výroba el. energie [18,19]

<b>Předpokládaná výroba elektrické energie při špičkovém výkonu 59,040 kWp, ztráty na zařízení 14%</b>		
<b>Měsíc</b>	<b>za měsíc [kWh]</b>	<b>za den [kWh]</b>
Leden	2762	89
Únor	4378	156
Březen	7192	232
Duben	9335	311
Květen	11298	364
Červen	10388	346
Červenec	11285	364
Srpen	10405	336
Září	7557	252
Říjen	6419	207
Listopad	2697	90
Prosinec	1989	64
Roční průměr	7142	235
<b>Celková roční výroba</b>	<b>85705 kWh</b>	

## 5.7 Těžká údržba autobusů



Obrázek 29: Těžká údržba autobusů – dispozice fotovoltaických panelů

Na střeše této budovy jsou vývody vzduchotechnických zařízení, strojovna výtahu a světlíky, což značně snižuje počet umístěných fotovoltaických panelů. Krytinou této střechy je lepenka. Na této střeše při realizaci fotovoltaických polí nebude problém s kotvením panelů. Střecha je rovinná, bez velkých složitostí, její nosnost, je naprosto postačující pro tíhu všech neprojektovaných panelů včetně konstrukce. Jako nejjednodušší konstrukcí pro panely, díky rovinatosti střechy se zde jeví klasická konstrukce pro umístování panelů na takzvané „zelené louce“. Umístění panelů na střeše této stavby dokládá obrázek 29. Podrobné informace o počtu panelů a výkonu udávají tabulky 19 a 20.



Tabulka 19: Těžká údržba autobusů – základní informace [18,19]

<b>Těžká údržba autobusů</b>	
Typ fotovoltaických panelů	KD205GH-2P 205
Počet fotovoltaických panelů	311
Špičkový výkon [kWp]	63,755
Náklon panelů [°]	34
Sklon střechy [°]	0
Celková hmotnost panelů [kg]	5753,5
Hmotnost panelů + konstrukce [kg/m <sup>2</sup> ]	<40
<b>Předpokládané ztráty</b>	
Ztráty vlivem teploty [%]	6,8
Ztráty vlivem odrazu [%]	3
Ztráty na zařízení (kabel, měnič,..) [%]	14
Celkem [%]	23,8

Tabulka 20: Těžká údržba autobusů – předpokládaná výroba el. energie [18,19]

<b>Předpokládaná výroba elektrické energie při špičkovém výkonu 63,755 kWp, ztráty na zařízení 14%</b>		
<b>Měsíc</b>	<b>za měsíc [kWh]</b>	<b>za den [kWh]</b>
Leden	1865	60
Únor	2951	105
Březen	4832	156
Duben	6253	208
Květen	7552	244
Červen	6933	231
Červenec	7537	243
Srpen	6963	225
Září	5072	169
Říjen	4326	140
Listopad	1819	61
Prosinec	1343	43
Roční průměr	4787	157
<b>Celková roční výroba</b>	<b>57446 kWh</b>	

## 6 Ekonomické hodnocení

Na střechách budov Dopravního podniku města Pardubice, a.s., Teplého 2141, je předpokládána instalace 1500 kusů fotovoltaických panelů a 158 kusů fotovoltaických šindelů o celkovém špičkovém výkonu 283 155 kWp. Celková předpokládaná cena fotovoltaických panelů a šindelů je 40 562 620 Kč. Pořizovací cena nosných konstrukcí fotovoltaických panelů se bude pohybovat ve výši zhruba 60 % pořizovací ceny fotovoltaických panelů.

Dle rozhodnutí Energetického regulačního úřadu ze dne 18. listopadu 2008, je pro fotovoltaické elektrárny s instalovaným výkonem nad 30 kW, garantována na dobu 20 let, výkupní cena 12,79 Kč (bez DPH) za dodanou 1 kWh .

Předpokládaná roční dodávka elektrické energie do sítě je 254 000 kWh, což odpovídá zisku 3 248 660 Kč. Od této sumy je třeba odečíst náklady na provoz, pojištění a elektřinu (řídící systém), které v tomto případě tvoří zhruba 8 - 10 %.

Tabulka 21: Pořizovací náklady fotovoltaické elektrárny

Počet [ks]	Položka	Typ - Označení	Cena za kus [Kč]	Celkem cena [milionů Kč]
1 500	Fotovoltaický panel	KD205GH-2P 205	26 000	39
158	Fotovoltaický šindel	Tegosolar PLV 68 Cu	9 890	1,6
1	Nosné konstrukce			25
	<b>Celkové přibližné pořizovací náklady</b>			<b>66</b>

Tabulka 22: Předpokládané roční zisky fotovoltaické elektrárny

Špičkový výkon	283 155	kWp
Výkupní cena energie bez DPH	12,79	Kč·kWh-1
Roční dodávka elektrické energie	254 000	kWh
Roční zisk	3 300 000	Kč
Roční provozní náklady	300 000	Kč
Celkový zisk	3 000 000	Kč

## Závěr

Střechy budov Dopravního podniku města Pardubice, a.s., který se nachází na adrese Teplého 2141, představují vhodné plochy pro vybudování fotovoltaické elektrárny.

Rozhodujícím faktorem při realizaci fotovoltaické elektrárny je ekonomické vyhodnocení. Ekonomické vyhodnocení porovnává náklady na pořízení a provoz fotovoltaické elektrárny se zisky z prodeje dotované elektrické energie dodávané do energetické rozvodné sítě. Na stranu nákladů budou zahrnuty náklady za pořízení a zhotovení projektové dokumentace. Náklady na úpravu střešních ploch, provedení stavebních prací, zhotovení a montáž nosných konstrukcí fotovoltaických panelů. Nákupní ceny fotovoltaických panelů, střídačů s řídicím systémem a propojovací vedení - kabeláže. Před samotným spuštěním musí být provedena montáž elektrického rozvodu fotovoltaických zdrojů, úpravy elektrického rozvodu DPmP (trafostanice a el. vedení) a připojení k rozvodné síti DPmP. Do nákladů zahrnuty jsou předpokládané provozní náklady na obsluhu, servis, pojištění apod.

Uvažovaná fotovoltaická elektrárna na střešních plochách Dopravního podniku města Pardubice bude mít celkovou plochu fotovoltaických panelů 2433 m<sup>2</sup>. Projektově vypočítaná roční výroba elektrické energie je 254 000 kWh. Za podmínky garantované výkupní ceny energie jsou předpokládané roční tržby 3,3 milionů Kč.

Celkové náklady na pořízení fotovoltaických panelů je možno odhadnout při současných cenách na částku 66 milionů Kč. Ostatní roční provozní náklady je možno odhadnout na částkou 0,3 miliony Kč. Roční tržby za dodanou jsou odhadnuty částkou 3 miliony Kč. Porovnáním těchto údajů vychází ekonomická návratnost přibližně 22 let.

Přímé srovnání fotovoltaické elektrárny dopravního podniku s jinými fotovoltaickými elektrárnami je obtížné. Porovnáním může být fotovoltaická elektrárna Bušanovice I, která má projektově vypočítanou roční výrobu energie 628 000 kWh a její realizace stála přibližně 85 milionů Kč. Její předpokládaná návratnost byla stanovena na 10 let. Tento předpoklad se plní. Na základě těchto předpokladů je možné předpokládat, že i akce v DPmP bude mít podobný ekonomický efekt.

## Použitá literatura

- [1] Solární elektrárny: <http://www.solarni.info/component/content/article/40-objevfv> (10.4.2009).
- [2] Wikipedia: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaick%C3%BD\\_%C4%8DI%C3%A1nek](http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaick%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek) (15.4.2009).
- [3] Nobelprize.org: [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-bio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-bio.html) (15.4.2009).
- [4] Karel Murtinger, Jiří Beranovský, Milan Tomeš, Fotovoltaika, elektřina ze slunce. ERA group spol. s r.o. PK: S0181, ISBN: 978-80-7366-133-5.
- [5] Fotovoltaika: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm> (10.4.2009).
- [6] ON Semiconductor firemní materiály - výuková prezentace (2008).
- [7] Fotovoltaika <http://fotovoltaika.fsv.cvut.cz/main.php?modul=teoriefv.komponenty> (5.5.2009).
- [8] Mtech-solar: firemní materiály, poskytl Bc. Martin Ryba (4.3.2009).
- [9] Fotovoltaika: <http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/vyroba.php> (16.3.2009).
- [10] Technická zařízení budov: <http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5470> (20.5.2009).
- [11] Technická zařízení budov: <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4251&h=303&pl=49> (18.5.2009).
- [12] Poulek solar: [www.pvpumps.com/sledovac.htm](http://www.pvpumps.com/sledovac.htm) (15.5.2009).
- [13] Solární liga: <http://www.solarniliga.cz/poulek.html> (4.4.2009).
- [14] Amatérská meteostanice Počátky: <http://meteo-jirkalina.com/wx38.php> (2.3.2009).
- [15] Solarhit: <http://www.solarhit.cz/index.asp?menu=775> (18.3.2009).
- [16] Mtech-solar: [http://www.mtechsolar.cz/editor/image/stranky3\\_soubory/kd205gh-2p\\_cz\\_march-2008.pdf](http://www.mtechsolar.cz/editor/image/stranky3_soubory/kd205gh-2p_cz_march-2008.pdf). (14.2.2009).

- [17] Onduline: <http://www.onduline.cz/cs/produkty/fotovoltaika/tegosolar/> (14.2.2009).
- [18] European Commission:  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/solarec/index.htm> (14.2.2009).
- [19] Výpočtový program firmy Mtech-solar: Schletter Vers 2(1).1 (25.2.2009).

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Fotografie Alexandera Edmonda Becquerela [3].....	10
Obrázek 2: Pásová struktura krystalických látek.....	11
Obrázek 3: Krystalická strukturu křemíku s příměsí fosforu (P) a bóru (B) .....	12
Obrázek 4: Výroba elektřiny z fotovoltaického článku.....	13
Obrázek 5: Fotovoltaický článek, modul, pole [5].....	14
Obrázek 6: Vlnové spektrum záření [8].....	15
Obrázek 7: Fotografie křemíku [6] .....	16
Obrázek 8: Pícka na výrobu monokrystalického křemíku [6] .....	17
Obrázek 9: Ingot monokrystalického křemíku [9].....	17
Obrázek 10: Fotovoltaický článek zapouzdřený v EVA folii [10] .....	19
Obrázek 11: Části fotovoltaického panelu [10].....	20
Obrázek 12: Fotovoltaická lepenka z amorfního křemíku [11] .....	21
Obrázek 13: Vrstvy amorfního článku [11].....	22
Obrázek 14: Barevné variace polykrystalických panelů [7].....	23
Obrázek 15: Schéma systému Grid on .....	24
Obrázek 16: Schéma systému Grid off .....	24
Obrázek 17: Sledovací zařízení Traxle [12].....	25
Obrázek 18: Pevný a pohyblivý stojan – výroba elektrické energie [13] .....	26
Obrázek 19: Střešní plochy budov vhodných pro instalaci fotovoltaických panelů ...	28
Obrázek 20: Průměrný roční úhrn globálního záření [15] .....	32
Obrázek 21: Rozměry fotovoltaického panelu KD205GH-2P [16].....	33
Obrázek 22: Rozměry fotovoltaického šindele Tegosolar PVL 68 Cu [17].....	35
Obrázek 23: Venkovní přístřešek – dispozice fotovoltaických panelů.....	36
Obrázek 24: Administrativní budova – dispozice fotovoltaických panelů .....	38
Obrázek 25: Hala MTZ – dispozice fotovoltaických panelů .....	40
Obrázek 26: Garáže – dispozice fotovoltaických panelů .....	42

Obrázek 27: Hala povrchových úprav – dispozice fotovoltaických panelů.....	44
Obrázek 28: Stará hala – dispozice fotovoltaických panelů.....	46
Obrázek 29: Těžká údržba autobusů – dispozice fotovoltaických panelů.....	48

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Závislost náklonu fotovoltaických panelů na ročním období .....	29
Tabulka 2: DPmP – spotřeba elektřiny [kWh] za rok 2008.....	30
Tabulka 3: DPmP – spotřeba TUV [m <sup>3</sup> ] za rok 2008.....	31
Tabulka 4: Doba slunečního svitu na území ČR [14].....	31
Tabulka 5: Specifikace fotovoltaického panelu KD205GH-2P [16] .....	33
Tabulka 6: Specifikace fotovoltaického šindele Tegosolar PVL 68 Cu [17].....	35
Tabulka 7: Venkovní přístřešek – základní informace [18,19].....	37
Tabulka 8: Venkovní přístřešek – předpokládaná výroba elektrické energie [18,19]	37
Tabulka 9: Administrativní budova – základní informace [18,19].....	39
Tabulka 10: Administrativní budova – předpokládaná výroba el. energie [18,19].....	39
Tabulka 11: Hala MTZ – základní informace [18,19] .....	41
Tabulka 12: Hala MTZ – předpokládaná výroba elektrické energie [18,19].....	41
Tabulka 13: Garáže – základní informace [18,19] .....	42
Tabulka 14: Garáže – předpokládaná výroba elektrické energie [18,19].....	43
Tabulka 15: Hala povrchových úprav – základní informace [18,19].....	44
Tabulka 16: Hala povrchových úprav – předpokládaná výroba el. energie [18,19]...	45
Tabulka 17: Stará hala – základní informace [18,19].....	47
Tabulka 18: Stará hala – předpokládaná výroba el. energie [18,19].....	47
Tabulka 19: Těžká údržba autobusů – základní informace [18,19].....	49
Tabulka 20: Těžká údržba autobusů – předpokládaná výroba el. energie [18,19]....	49
Tabulka 21: Pořizovací náklady fotovoltaické elektrárny.....	50
Tabulka 22: Předpokládané roční zisky fotovoltaické elektrárny.....	50



## **Seznam grafů**

Graf 1: Závislost náklonu fotovoltaických panelů na ročním období .....	29
Graf 2: VA – char. panelu KD205GH-2P při různém intenzitě osvětlení [16] .....	34
Graf 3: VA – char. šindele Tegosolar PVL 68 Cu při různé intenzitě osvětlení [17]...	35