

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vývoj solárních systémů**

**vedoucí práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.  
autor: Lukáš Hronek**

**2012**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2011/2012

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš HRONEK**  
Osobní číslo: **E09B0048P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Název tématu: **Vývoj solárních systémů**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Vysvětlíte základní principy solárních systémů.
2. Popište vývoj solárních tepelných systémů.
3. Popište vývoj fotovoltaických systémů.
4. Nastiňte netradiční způsoby využití solární energie.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

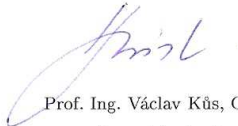
**1. přednášky z předmětu KEE/VEN**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Bělík, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce řeší využití sluneční energie. Ta se využívá nejčastěji dvojitým způsobem - buď se pomocí fotovoltaických panelů mění na energii elektrickou, nebo pomocí slunečních kolektorů získáváme energii tepelnou. Ve vývoji je v současné době tzv. umělá fotosyntéza, jejíž význam by po kompletním osvojení mohl mít velkou budoucnost. Je zde tedy řešen princip fungování jak fotovoltaiky a fototermiky, tak i seznámení s umělou fotosyntézou a dále pak historický vývoj jednotlivých systémů ve světě i v ČR.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, fotovoltaický systém, fotovoltaická elektrárna, princip, vývoj, generace, grid-off, grid-on, solární kolektor, fototermický systém, umělá fotosyntéza

**Abstract**

This thesis discusses the use of solar energy. It is used most often in two ways – by using photovoltaic panels is transformed into electrical energy, or by using solar collectors is transformed into thermal energy. In development is currently the so-called artificial photosynthesis, which could have a great future. Here are solving principle of solar collectors, photovoltaic panels and introduction to artificial photosynthesis, furthermore the historical development of systems in the world and CR.

**Key words**

Photovoltaic cell, photovoltaic panel, photovoltaic system, photovoltaic power, principle, development, generation, grid-off-on grid, solar collector, photothermal system, artificial photosynthesis

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické 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.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 4.6.2012

Lukáš Hronek

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce a také své rodině, která mě po celou dobu studia nejen finančně podporovala.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ PRINCIP FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU</b> .....	<b>11</b>
1.1 STRUKTURA .....	11
1.2 PRINCIP .....	11
1.3 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI .....	13
1.4 SPEKTRÁLNÍ SLOŽENÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ .....	14
1.5 VÝHODY .....	15
1.6 NEVÝHODY .....	15
<b>2 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY</b> .....	<b>15</b>
2.1 SPOJOVÁNÍ ČLÁNKŮ .....	16
2.1.1 <i>Sériově</i> .....	16
2.1.2 <i>Paralelně</i> .....	16
2.2 FOTOVOLTAICKÉ PANELE (ZAPOUZDŘENÍ) .....	18
2.3 OSTROVNÍ SYSTÉMY (GRID-OFF) .....	18
2.3.1 <i>Systémy s přímým napájením</i> .....	18
2.3.2 <i>Autonomní fotovoltaické systémy (= s akumulací energie)</i> .....	19
2.3.3 <i>Hybridní autonomní systémy</i> .....	20
2.4 SÍŤOVÉ SYSTÉMY (GRID-ON) .....	21
2.4.1 <i>Zapojení pro vlastní spotřebu energie a prodej přebytku do sítě</i> .....	22
2.4.2 <i>Připojení na síť samostatnou přípojkou</i> .....	22
2.5 NATÁČENÍ PANELEŮ .....	23
2.5.1 <i>Jednoosé polohování</i> .....	23
2.5.2 <i>Dvouosé polohování</i> .....	23
<b>3 VÝVOJ FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ</b> .....	<b>24</b>
3.1 GENERAČNÍ VÝVOJ .....	26
3.1.1 <i>První generace</i> .....	26
3.1.2 <i>Druhá generace - tenkovrstvé solární články</i> .....	28
3.1.3 <i>Třetí generace</i> .....	29
3.2 ROZVOJ FOTOVOLTAIKY V ČR .....	30
<b>4 CHARAKTERISTIKA TEPELNÝCH SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ</b> .....	<b>32</b>
4.1 KONSTRUKCE, DRUHY A PRINCIP KOLEKTORU .....	32
4.1.1 <i>Plochý kolektor (kapalinový)</i> .....	33
4.1.2 <i>Trubicový vakuový kolektor</i> .....	34
4.1.3 <i>Koncentrační kolektor</i> .....	36
4.2 INSTALACE KOLEKTORU .....	37
4.3 TEPELNÝ SOLÁRNÍ SYSTÉM .....	38
4.3.1 <i>Dvouokruhový kapalinový solární systém</i> .....	39
4.3.2 <i>Jednookruhový kapalinový solární systém</i> .....	40
4.3.3 <i>Teplotzdušný solární systém</i> .....	41
<b>5 VÝVOJ FOTOTERMICKÝCH SYSTÉMŮ</b> .....	<b>42</b>
5.1 ROZVOJ FOTOTERMICKÝCH SYSTÉMŮ V ČR A SR.....	43
<b>6 UMĚLÁ FOTOSYNTÉZA</b> .....	<b>46</b>
6.1 PŘÍRODNÍ FOTOSYNTÉZA .....	46
6.1.1 <i>Světelná fáze</i> .....	47



6.1.2	<i>Temnostní fáze</i> .....	47
6.2	VYUŽITÍ UMĚLÉ FOTOSYNTÉZY .....	48
6.3	PŘÍSTUP K VODÍKU .....	49
6.3.1	<i>Homogenní přístup</i> .....	49
6.3.2	<i>Heterogenní přístup</i> .....	49
<b>ZÁVĚR</b> .....		<b>50</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....		<b>52</b>

## Úvod

Cílem bakalářské práce je podrobné seznámení s některými způsoby využití slunečního záření.

Současná civilizace potřebuje stále více a více elektrické energie. Její nejvýznamnějšími zdroji jsou jaderné a tepelné elektrárny, ale roste i význam alternativních zdrojů, z nichž nejvíce se rozvíjí fotovoltaika - přímá přeměna energie sluneční na elektrickou. Tento progresivní obor patří mezi nejrychleji rostoucí obory posledního desetiletí. Prozatímni trend je růst průměrně o 15 % ročně a podle odhadů se dá minimálně takový vývoj očekávat ještě během příštích 10 až 50 let. Přeměna sluneční energie na elektrickou patří z hlediska ochrany životního prostředí k nejčistším a nejšetrnějším možnostem výroby elektrické energie. Sluneční výkon teoreticky 40 bilionkrát přesahuje potřebu veškerého lidstva. Z této energie jsme ovšem schopni zatím využít jen nepatrný zlomek. [9]

Druhým způsobem využití je tzv. fototermika, což je přeměna slunečního záření na tepelnou energii. Ta se pak používá pro ohřev vody či vytápění domu. Slunce takto využívali už ve starověkém Egyptě, já se zde pokusím nastínit modernější technologie, díky kterým můžeme teplo efektivně získávat a užívat v 21. století.

V poslední části se pokusím seznámit s dalším způsobem využití slunečního záření, jakým je dnes ještě netradiční umělá fotosyntéza, ale právě ta by v budoucnu mohla být hlavní hnací silou světového průmyslu.

Pomocí této práce se může široká veřejnost seznámit s daným tématem a studenti Západočeské univerzity v Plzni mohou rozšířit své znalosti, které mohou později uplatnit při psaní práce své. Protože je tato oblast velmi perspektivní a velmi mě zajímá, tak jsem si ji zvolil jako téma své bakalářské práce. Díky tomu se s touto problematikou mohu lépe seznámit, zamyslet se nad ní a lépe ji porozumět a analyzovat.

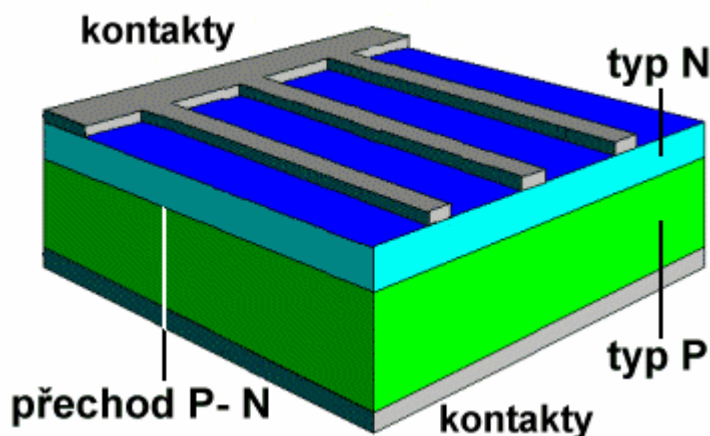
## 1 Základní princip fotovoltaického článku

Jedním z nejvhodnějších materiálů pro výrobu fotovoltaických článků je křemík (Si). Po kyslíku je to druhý nejrozšířenější prvek na Zemi a ačkoli se vyskytuje pouze ve sloučeninách, různými metodami je dnes možno získat krystaly až neuvěřitelné čistoty - 99,99998 %.

Že je to vhodný materiál, fyzikové zdůvodňují tím, že malá šířka zakázaného pásu dovoluje dosáhnout velmi vysoké generace volných nosičů. To si zjednodušeně vysvětlíme dále. Jinak se dají použít i jiné materiály (arsenid galia, telurid kadmia atd.). [9]

### 1.1 Struktura

Každý fotovoltaický systém je složen z jednotlivých článků. Ten vypadá v podstatě jako plošná dioda. Tvoří ho dvě vrstvy krystalického křemíku. Do té horní se zpravidla přidává difúzí fosfor - vzniká polovodič typu N, spodní vrstva je pokryta mřížkou stříbra s příměsí hliníku, ten v průběhu výrobního procesu pronikne do křemíkové vrstvy a vznikne polovodič typu P (ten se často vyrábí také difúzí bóru), kde je nedostatek elektronů (jsou tam díry), ve vstvě N je jich naopak přebytek. Tento rozdíl způsobí vznik PN přechodu - takzvaná elektrická bariéra, viz *obr. 1*. Článek se dále vybaví antireflexní vrstvou nitridu, čímž získá tmavě modrou barvu. Sítotiskem se pak na obě strany nanesou sběrné spoje. [3,9]

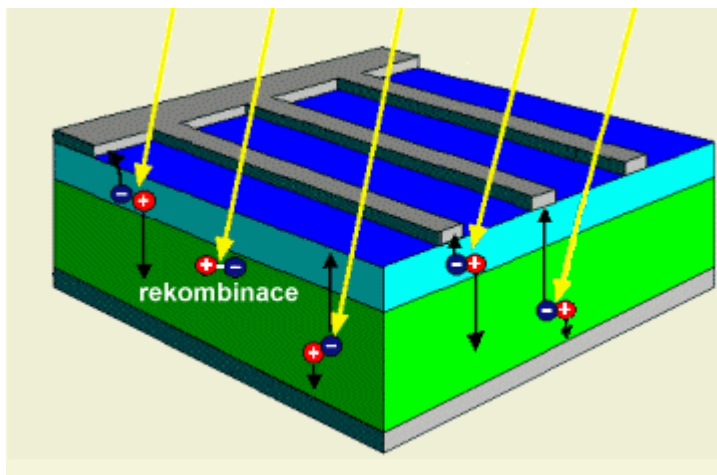


Obrázek 1: Struktura neosvětleného článku - bez volných nábojů [9]

### 1.2 Princip

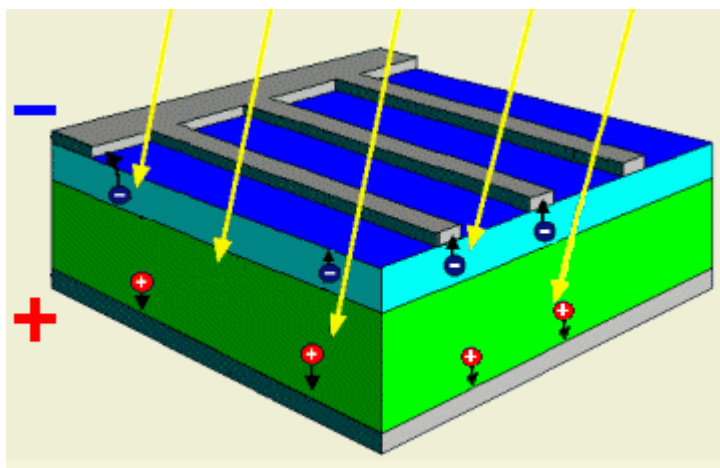
Jedná se vlastně o využití tzv. fotoelektrického jevu (též fotoefekt). Světlo dopadá na horní vrstvu (typ N), kde se energie fotonů absorbuje a tím se z krystalické mřížky uvolňují elektrony. Vytváří se tak páry elektron-díra, což můžeme vidět na *obr. 2*. Fotony jsou částice

záření, přičemž jejich energie závisí na vlnové délce. Čím je kratší, tím větší energii fotony mají. Aby se z krystalové mřížky křemíku elektrony uvolňovaly, musí mít fotony energii alespoň 1,12 eV. Když má foton právě tuto energii, je křemíkem absorbován a v krystalu tak vznikne jeden pár elektron-díra. Této energii odpovídá vlnová délka cca 1105 nm, což je v infračervené oblasti. Fotony s kratší vlnovou délkou také způsobí vznik volného elektronu a díry a zbytek energie se změní na teplo. Záření s větší vlnovou délkou (např. mikrovlny) křemíkem prochází a fotovoltaický jev tak nevyvolají. [3,9]



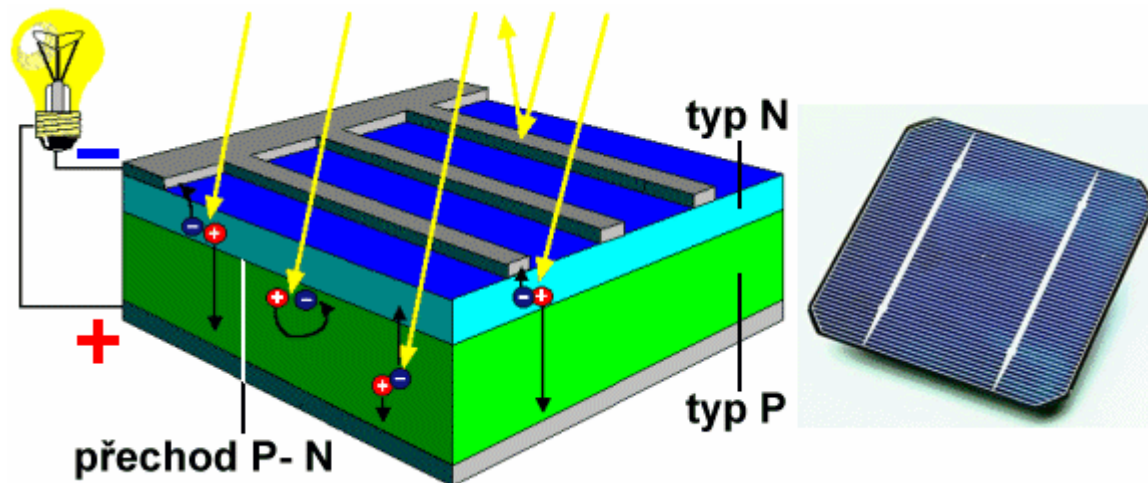
Obrázek 2: Osvětlení článku - vznik volných nábojů [9]

Kdyby mezi vrstvami neexistovala bariéra přechodu PN, přecházely by elektrony volně z místa přebytku do místa nedostatku, tedy z N do P, a spojovaly by se s děrami = tzv. rekombinace. Článek by se tak nemohl stát zdrojem napětí. Ale díky elektrické bariéře z vrstvy N do vrstvy s vodivostí P přecházet nemohou, naopak ano a počet elektronů v N se tak ještě zvyšuje. V každé vrstvě je tedy různý potenciál a jeho rozdíl je roven cca 0,5 až 0,6 V, což je tedy napětí jednoho článku. Rozdělení nábojů můžeme pozorovat na obr. 3. [3,9]



Obrázek 3: Napětí mezi kontakty - rozdělení nábojů [9]

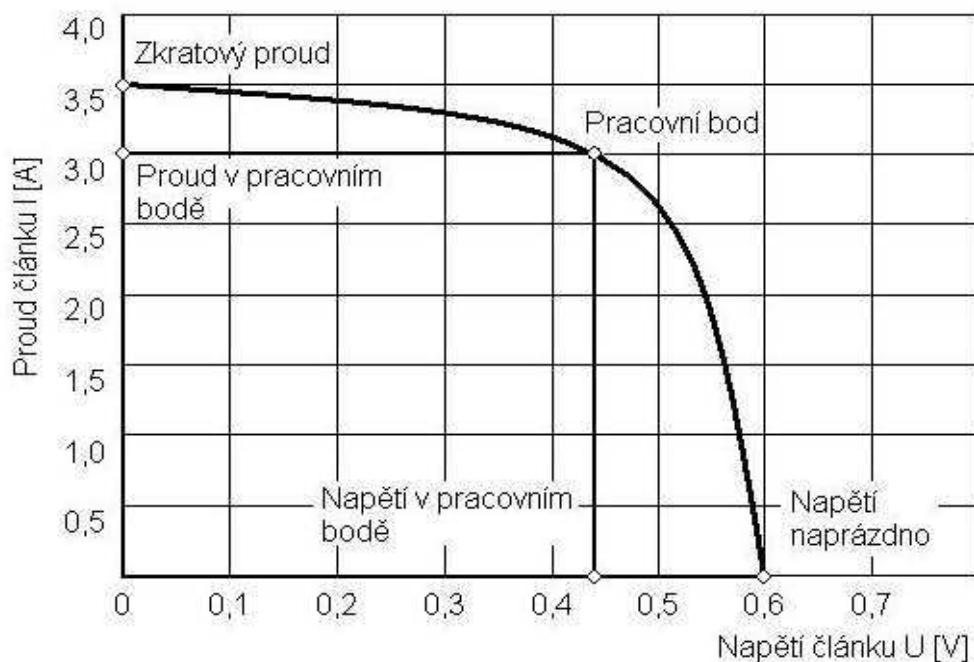
Připojením spotřebiče mezi horní a spodní kontakt článku vznikne uzavřený elektrický obvod a náboje se začnou vyrovnávat (elektrony z N přes spotřebič do P), viz *obr. 4*. Obvodem začne procházet elektrický proud, úměrný ploše solárních článků a intenzitě dopadajícího záření. Energie dopadajícího světla se tak změnila na elektrickou.



Obrázek 4: Článek s připojeným spotřebičem [9]

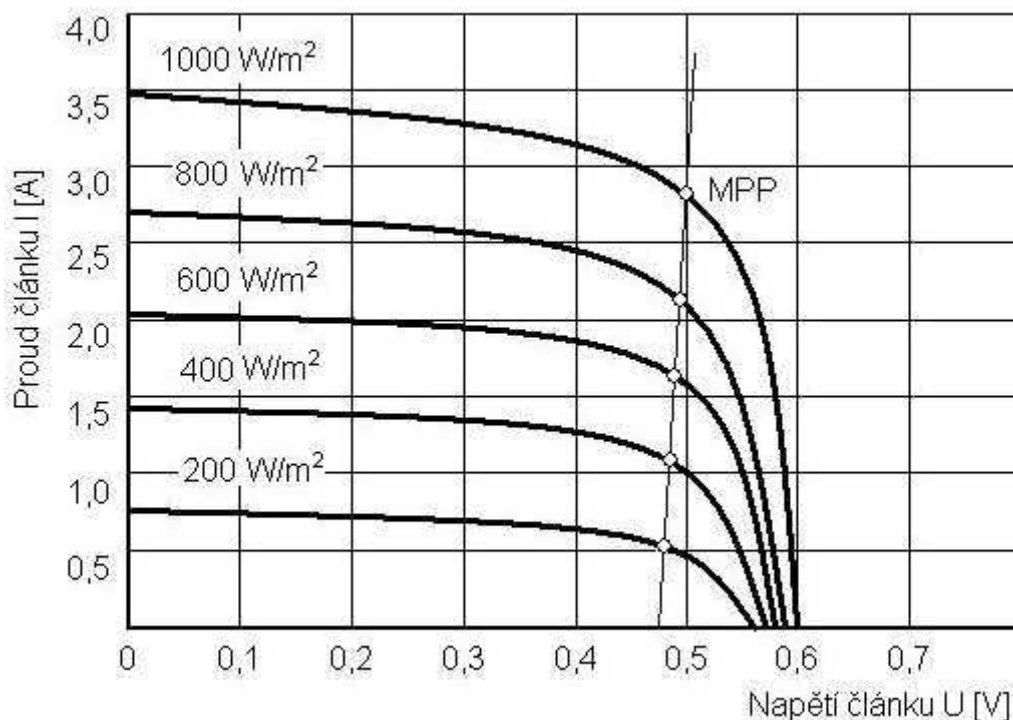
### 1.3 Elektrické vlastnosti

Elektrický proud je stejnosměrný. Na *obr. 5* je vidět průběh voltampérové charakteristiky. Jedná se o monokrystalický solární článek o ploše  $100 \text{ cm}^2$ . Je patrné, že je schopen dodávat proud 3 A při napětí okolo 0,5 V.



Obrázek 5: Příklad voltampérové charakteristiky fotovoltaického článku [5]

S intenzitou záření se samozřejmě výkon článku mění, viz obr. 6.

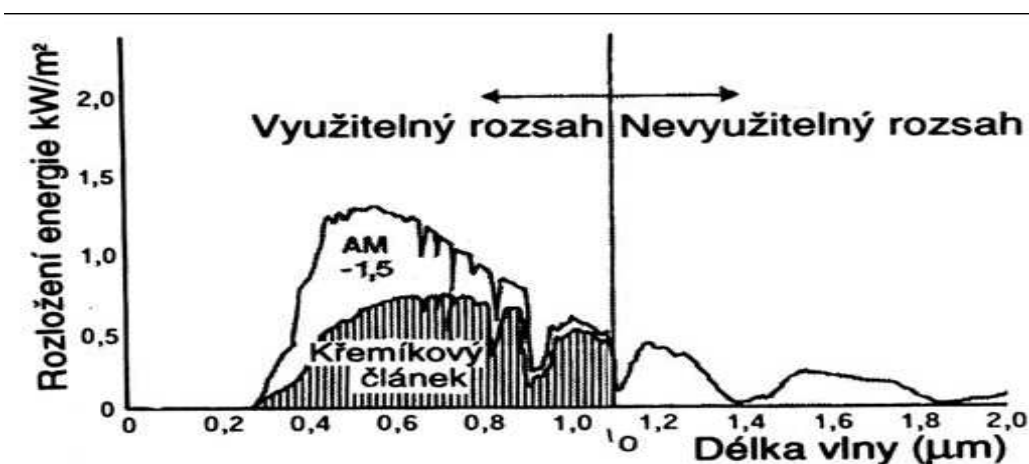


Obrázek 6: VA charakteristiky fotovoltaického článku při různém ozáření [5]

#### 1.4 Spektrální složení slunečního záření

Viditelná oblast se u člověka pohybuje přibližně v rozmezí 380 až 780 nm. Kratší vlnové délky představují ultrafialové světlo, delší pak infračervené.

- Ultrafialové - 7,82 %
- Viditelné - 47,83 %
- Infračervené - 44,85 %



Obrázek 7: Rozložení energie záření podle vlnové délky [7]

Na mezní vlnové délce je využitelné 100 % absorbované energie. U kratších vlnových délek pak už jen určitý zlomek této energie. Z vyhodnocení vyšrafované plochy z grafu na *obr.7* vyplývá, že i při neoptimističtějších předpokladech může být využito jen cca 50 % energie, tedy že účinnost nemůže nikdy výrazně přesahovat 50 %. [11]

### 1.5 Výhody

- Prakticky nevyčerpatelný zdroj energie
- Ekologický provoz (žádné škodlivé látky)
- Bez pohyblivých dílů -> bezhlučný provoz a žádné riziko větší nehody
- Jednoduchá instalace a provoz zařízení
- Vysoká provozní spolehlivost
- Snadná elektronická regulace
- Výroba ve dne - větší shoda s denním průběhem spotřeby energie

[7,8,9]

### 1.6 Nevýhody

- Významná závislost výroby na místních podmínkách a počasí  
Na území ČR není výroba příliš efektivní. Kvůli kolísání počasí se průběh výroby v rámci jednoho dne značně mění a musí být kompenzován jinými zdroji. Také roční zatížení spotřeby se liší od diagramu výroby energie.
- Omezená účinnost přeměny energie
- Velké investiční náklady
- Potřeba záložního zdroje energie

[7,8,9]

## 2 Fotovoltaické systémy

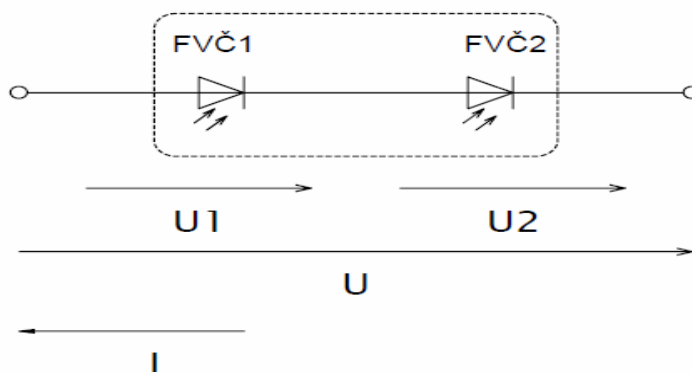
Samotný fotovoltaický článek nemá příliš velké využití. Výstupní napětí i výkon je pro většinu aplikací nedostačující, a proto se podle požadovaného napětí a odebíraného proudu spojují pájenými plochými měděnými pásky a vzniká tzv. fotovoltaický modul. Dále se k nim zapojují další solární komponenty, jako je solární generátor, akumulátor, střídač, regulátor napětí atd. Prvotní uplatnění našly fotovoltaické systémy v napájení vesmírných družic, sond, stanic apod. To je nenahraditelné a používá se dodnes, ale rozvoj fotovoltaiky jí zanesl i do řady jiných odvětví, ať už jako přímé napájení jednoduchých aplikací, dále tzv. ostrovní systémy (off-grid) a dnes hlavně systémy spojené se sítí (on-grid). [1]

## 2.1 Spojování článků

Spojovat by se měli články stejných vlastností. Jednotlivé články lze zapojovat:

### 2.1.1 Sériově

Celkové napětí je dáno součtem dílčích napětí jednotlivých článků. Ukázka pro 2 články je na obr. 8.



Obrázek 8: Sériové spojení fotovoltaických článků [12]

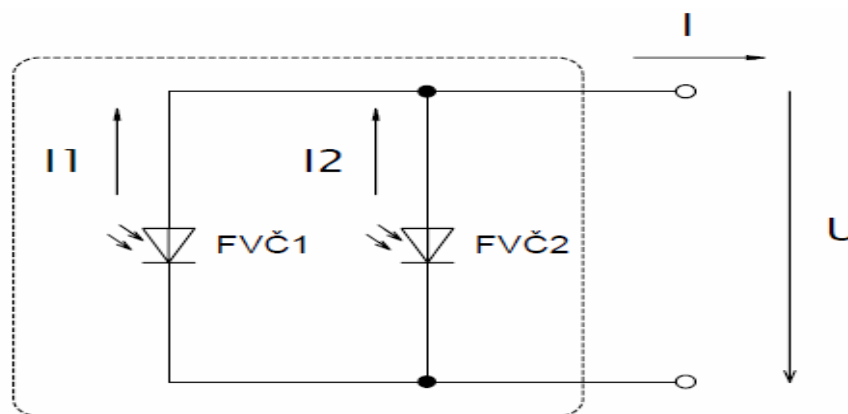
Platí tedy: 
$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = \sum_{i=1}^n U_i$$

Za předpokladu, že jsou všechny články stejné a stejně osvětleny, platí: 
$$U = n * U_1$$

Všemi články teče proud, který odpovídá jednomu článku, v případě nestejně osvětleného osvětlení ovšem tomu nejméně osvětlenému - může se tedy stát, že v případě zastínění byt' jen jediného článku, celkový proud, a tedy i dodávaný výkon bude nulový. [12]

### 2.1.2 Paralelně

Proudy článků se sčítají, napětí odpovídá jednomu článku.

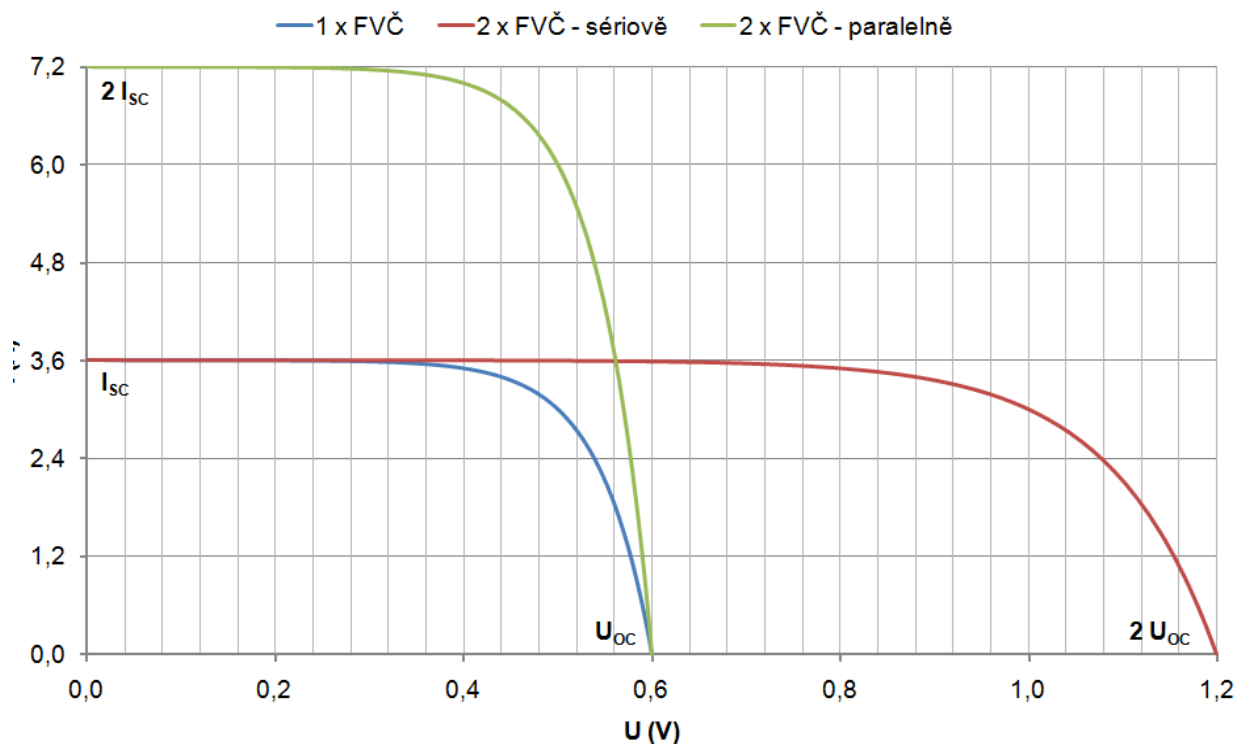


Obrázek 9: Paralelní spojení fotovoltaických článků [12]



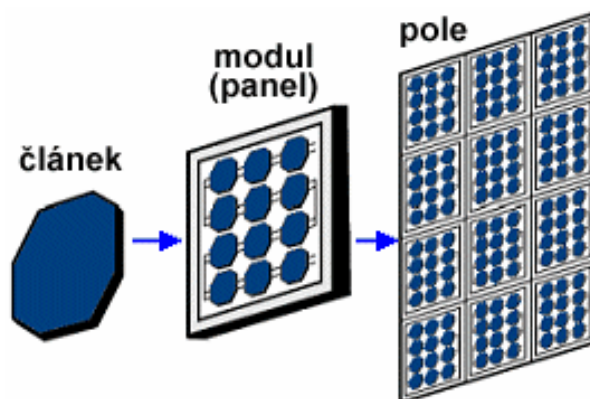
Platí: 
$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^n I_i$$

Za předpokladu, že jsou všechny články stejné a stejně osvětleny, platí  $I = n \cdot I_1$



Obrázek 10: VA charakteristiky dvou sériově a paralelně zapojených článků [12]

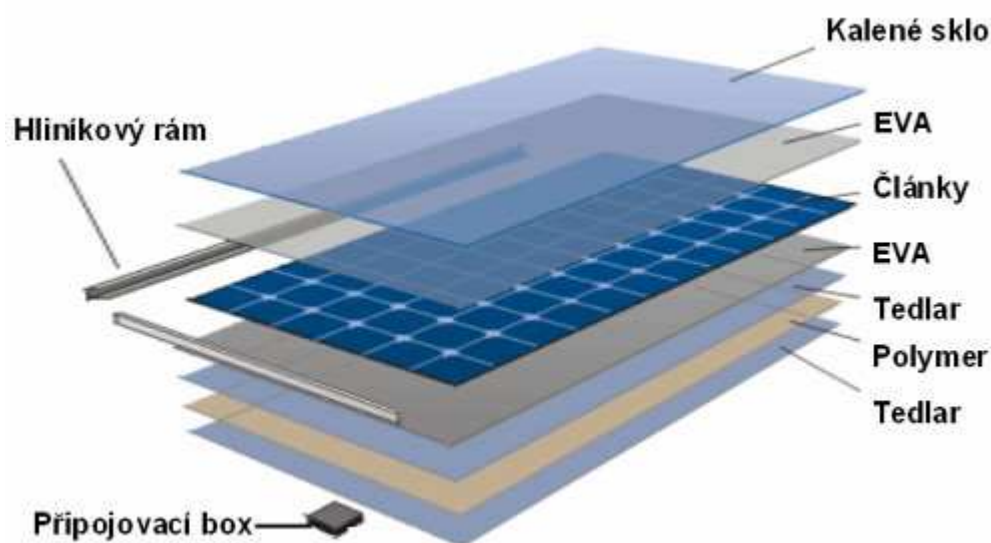
V praxi se používá spojení sérioparalelní pro dosažení požadovaného výkonu. Obdobně se spojují fotovoltaické moduly a vzniká rozměrné fotovoltaické pole, viz *obr. 11*. To se pak po zapouzření může instalovat například na střechu domu.



Obrázek 11: Skládání článků [9]

## 2.2 Fotovoltaické panely (zapouzdření)

Aby se dosáhlo vyšší životnosti, ukládají se systémy do vzduchotěsných pouzder - etylenvinylacetátová fólie (EVA). Shora jsou opatřena také speciálním kaleným, vysoce průhledným, tvrzeným sklem. To systémy chrání před povětrnostními vlivy (např. kroupy). Zadní strana je uzavřena buď pomocí vícevrstvé plastové fólie, nebo také tvrzeným sklem. Z boku se pak panely většinou chrání kovovými rámy, zpravidla z hliníku. Dělají se však i panely bez rámu - tzv. lamináty. Jejich výhodou je logicky snadnější manipulace a ušetření nákladů. Udávaná životnost se v současné době pohybuje v rozmezí 20 až 30 let. [7]



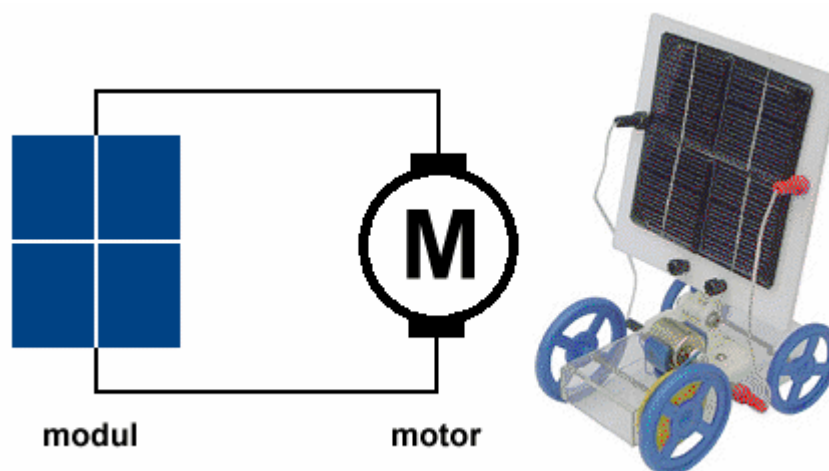
Obrázek 12: Části fotovoltaického panelu [7]

## 2.3 Ostrovní systémy (grid-off)

Ostrovní systémy jsou systémy nezávislé na veřejné distribuční síti. Jsou instalovány na místech, kde není účelné budovat novou elektrickou přípojku a to hlavně z důvodu ekonomických (vzdálenost k rozvodné síti více než 500 až 1000 m). V první řadě se tedy jedná o odlehlé objekty, jako jsou např. rekreační chaty, karavany, jachty, světelné reklamy, zahradní svítidla apod. Tyto systémy se dají ještě rozdělit do 3 podskupin - systémy s přímým napájením, hybridní systémy a systémy s akumulací elektrické energie. [1, 9]

### 2.3.1 Systémy s přímým napájením

Jedná se o nejjednodušší fotovoltaický systém, kdy se jako na *obr. 13* pouze propojí solární panel se spotřebičem.



Obrázek 13: Znáznornění + jednoduchá aplikace [9]

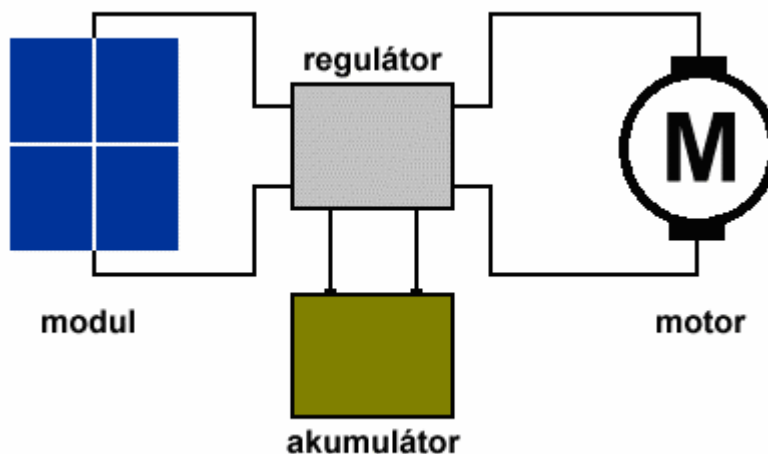
To se realizuje v případech, kdy nevádí, že připojené elektrické zařízení bude fungovat jen v době dostatečné intenzity slunečního záření. S tím se můžeme setkat např. v aplikacích, jako je čerpání vody pro závlahu, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, napájení ventilátorů k odvětrání uzavřených prostor nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů. Tím může být třeba svítilna nebo, jak vidíte na *obr. 14*, mobilní telefon, což může být obzvlášť užitečné ve volné přírodě, v kempu či na dovolených.



Obrázek 14: Solární nabíječka na mobilní telefon [7]

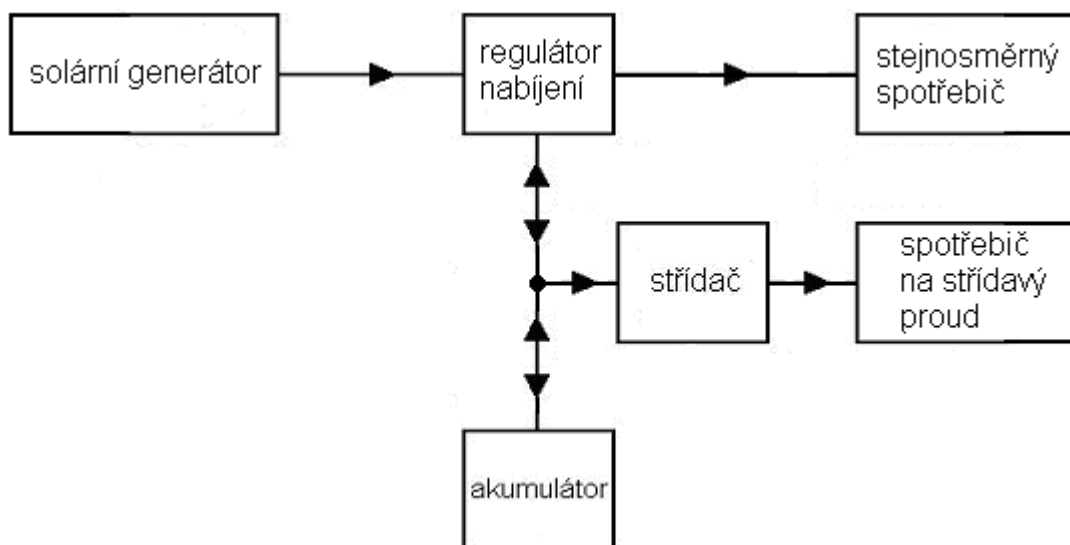
### 2.3.2 Autonomní fotovoltaické systémy (= s akumulací energie)

Doba, po kterou potřebujeme získávat energii ze solárních panelů, je větší než doba, kdy svítí slunce - typicky v noci. Z toho důvodu je nedílnou součástí těchto systémů akumulátorová baterie. Navíc je tam ještě regulátor, který zajišťuje správné nabíjení a vybíjení akumulátoru.



Obrázek 15: Znárodnění základního systému s akumulací energie [9]

K tomuto systému lze většinou připojit kromě spotřebičů napájených stejnosměrným proudem (napětí systému bývá zpravidla 12 nebo 24 V) i běžné síťové spotřebiče (230 V/~50 Hz) napájené přes napěťový střídač.



Obrázek 16: Blokové schéma běžného systému s akumulací energie [5]

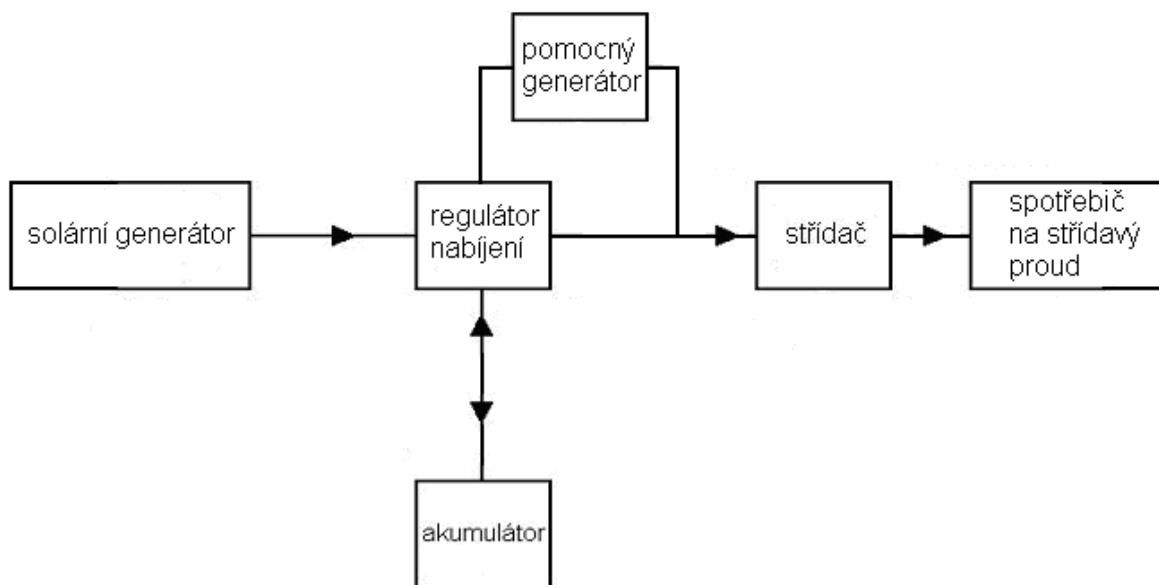
Konkrétní aplikace využívající tento systém jsou napájení pokusných solárních vozidel, světelných signalizací, telekomunikačních zařízení v terénu, zdroj elektrické energie pro chaty a domky, zahradní svítidla, světelné reklamy apod. [7,8]

### 2.3.3 Hybridní autonomní systémy

V zimních měsících se dá samozřejmě z fotovoltaických systémů získat podstatně méně energie než v měsících letních. Systémy s celoročním provozem se tedy musí počítat i na zimní provoz. Ale instalovaný výkon fotovoltaických panelů a s tím i finanční náklady

v takovém případě neúměrně narostou. Proto je vhodnější systém vybavit doplňkovým zdrojem elektřiny, který se dá kromě pokrytí potřeby elektrické energie v případě nedostatečného osvitu využít i při potřebě vyššího výkonu společně se systémem fotovoltaickým. [7,8]

Doplňkovým zdrojem může být například větrný či spalovací generátor nebo malá vodní elektrárna.

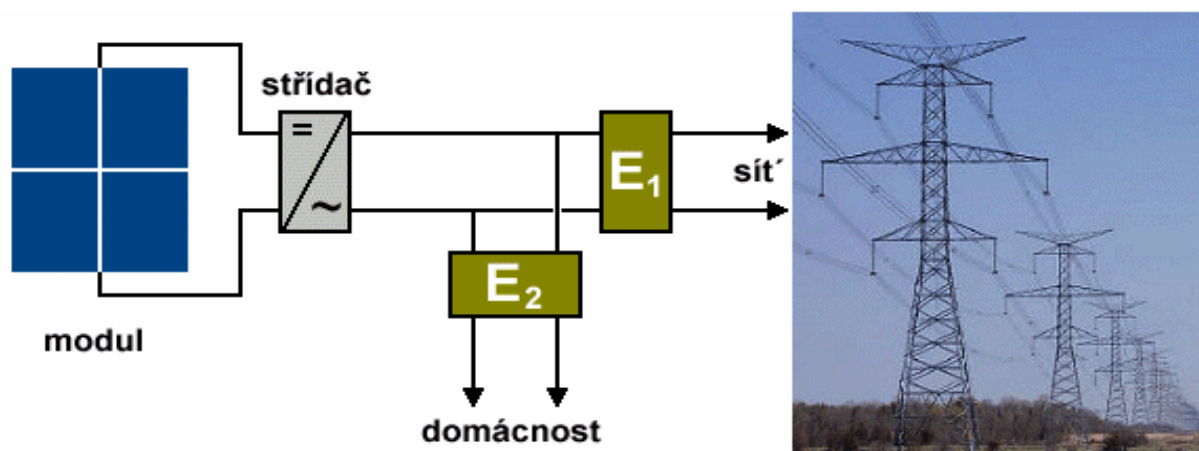


Obrázek 17: Blokové schéma hybridního systému [5]

Tyto systémy se tedy používají hlavně pro napájení budov s celoročním provozem.

## 2.4 Síťové systémy (Grid-on)

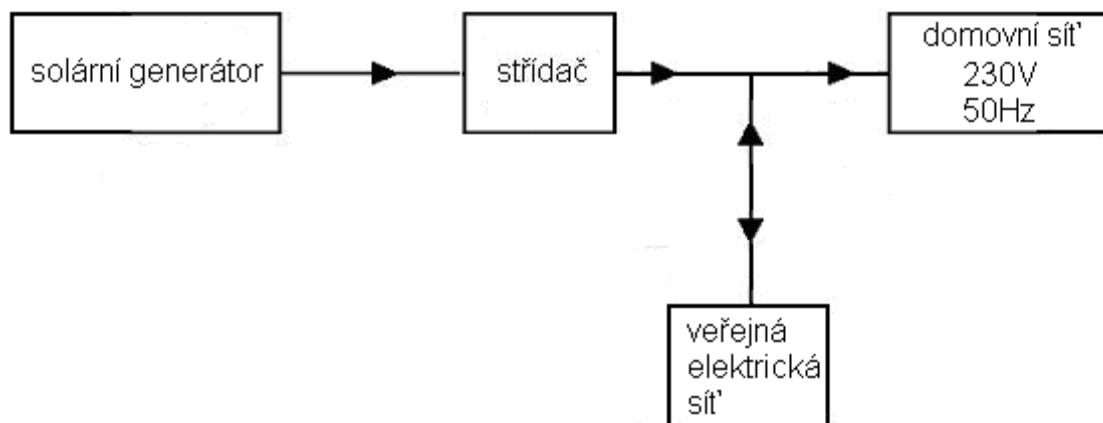
Tyto systémy jsou v současné době nejrozšířenější. Jedná se o přímé propojení s veřejnou rozvodnou sítí a dají se rozdělit do dvou skupin.



Obrázek 18: Znárodnění síťového systému [9]

### 2.4.1 Zapojení pro vlastní spotřebu energie a prodej přebytků do sítě

Typickým příkladem takového systému může být domek s fotovoltaickým systémem. V případě dostatečného slunečního svitu napájí spotřebiče v budově vlastní „solární“ elektrická energie a případný přebytek se dodává do veřejné rozvodné sítě, naopak při nedostatku slunečního svitu je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána. Fungování tohoto systému je zcela automatické a to díky mikroprocesorovému řízení střídače. Hlavní elektroměr je ještě nutno nahradit tzv. čtyřkvadrantním.

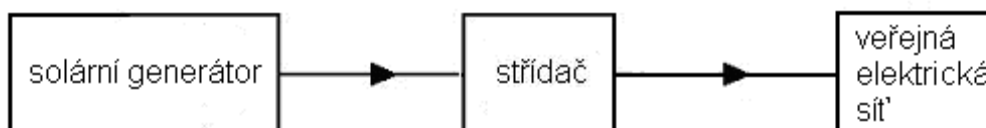


Obrázek 19: Blokové schéma systému pro vlastní spotřebu s přebytky do sítě [5]

S použitím tohoto systému se tedy nejčastěji můžeme setkat na střeších a fasádách budov, ať už rodinných (1 až 10 kW) či administrativních (10 kW až 1 MW).

### 2.4.2 Připojení na síť samostatnou přípojkou

V tomto případě je veškerá vyrobená elektrická energie dodávána do veřejné rozvodné sítě.



Obrázek 20: Blokové schéma fotovoltaické elektrárny [5]

Střídače, které se používají v těchto systémech, musí být schopny pracovat v celém rozsahu napětí, které solární generátor poskytuje.

Příkladem těchto systémů jsou hlavně fotovoltaické elektrárny, dále posilovače koncových větví rozvodné sítě nebo dálniční protihlukové bariéry.



Obrázek 21: Ukázka typické fotovoltaické elektrárny [7]

## 2.5 Natáčení panelů

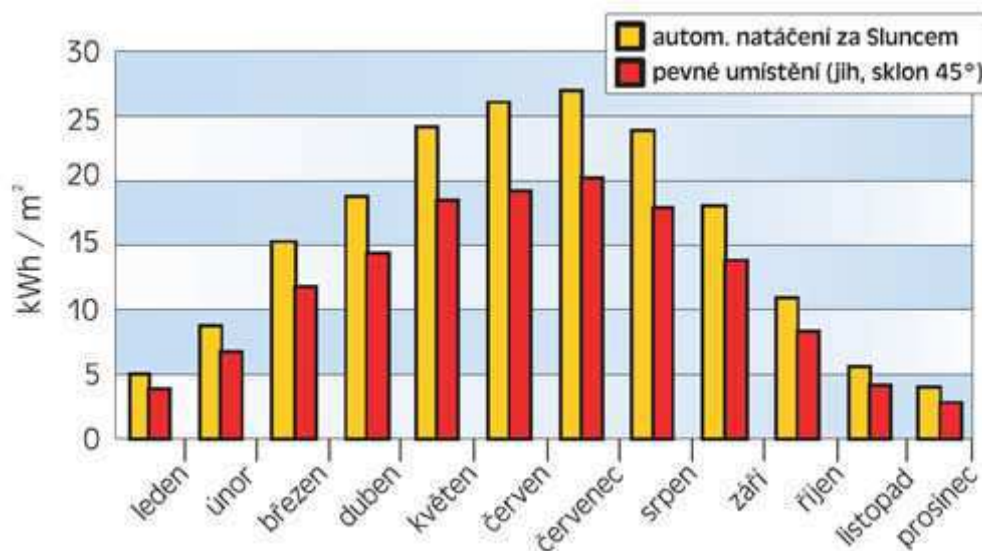
Instalované systémy mohou být buď pevné, což je vhodné pro zejména pro střechy, fasády apod., nebo polohované. Ty obsahují navíc sledovač slunce, díky kterému se solární systém za sluncem otáčí a zachycuje tak záření o větší intenzitě. Polohování se dá rozdělit na jednoosé a dvouosé. [7,8]

### 2.5.1 Jednoosé polohování

Bývá většinou pouhým elevačním polohováním, což znamená jen naklápění panelů do nejnvýhodnější polohy. Tím se zvýší výstup z modulů oproti klasické pevné instalaci o 5-10 %.

### 2.5.2 Dvouosé polohování

Jedná se o nejlepší možnou instalaci fotovoltaických modulů z hlediska jejich optimálního výkonu. Funkční plocha panelů je se natáčí (azimut) a naklání (elevace) zároveň. Výrobci těchto polohovacích zařízení je spousta firem po celé Evropě. Jednou z největších je česká společnost CZ-elektronika s.r.o. se svými polohovacími jednotkami SunFlex. Použitím této jednotky se zvýší výstup fotovoltaických panelů až o 37 % oproti pevným instalacím. K tomuto číslu došla firma CZ-elektronika s.r.o. na základě měření v solárním parku v Passau v roce 2005.



Obrázek 22: Odhad produkce energie fotovoltaických panelů [13]

### 3 Vývoj fotovoltaických článků

Fotovoltaické články fungují na principu fotovoltaického (fotoelektrického) jevu. Ten objevil v roce 1839 mladý francouzský fyzik Edmond Becquerel. Při svých experimentech umístil 2 elektrody do vodivého roztoku a zjistil, že při osvětlení tohoto zařízení se na elektrodách zvýšilo napětí. V roce 1904 tento jev fyzikálně popsal Albert Einstein a v roce 1921 byl odměněn Nobelovou cenou za „práce pro rozvoj teoretické fyziky, zejména objev zákona fotoelektrického efektu“. První článek však vznikl až kolem roku 1883, kdy americký vynálezce Charles Fritts použil polovodivý selen, který potáhl velmi tenkou vrstvou zlata. Měl však účinnost pouze 1 % a neměl tak naději na uplatnění při výrobě elektrické energie. Využívat se ale začaly jako světelný senzor pro určování času expozice snímku ve fotoaparátech, což jim vydrželo až do roku 1960. [15]

Důležitý byl také přínos polského vědce Czochralského, který v roce 1918 objevil způsob růstu monokrystalu křemíku. Ten se i přes postupné zjišťování fotovoltaického jevu u jiných materiálů ukázal jako nejvýhodnější. Jako vynálezce křemíkového článku je dnes označován Američan Russel Ohl, jenž roku 1939 objevil tzv. PN přechod a stál na počátku vývoje křemíkových článků. V roce 1954 vznikl první skutečný křemíkový článek s účinností nejprve 4,5 %, později 6 %. Sestrojili ho Chapin, Fuller a Pearson v Bellových laboratořích (Bell Labs v New Jersey). [15]

Další technologický vývoj urychlil kosmický výzkum, kdy mají sluneční články sloužit jako zdroj energie pro družice. V roce 1958 dosahuje účinnost 9 % a to stačilo na napájení prvních družic. Průkopníky byly samozřejmě Amerika a jejich družice Vanguard 1 (0,1 W,



články cca 100 cm<sup>2</sup>) vynesena do vesmíru 17.3.1958 a Rusko s družicí Sputnik 3, která byla vynesena 15.5.1958. Vývoj v těchto letech probíhal rychle a v roce 1960 dosáhla účinnost 14 %. První telekomunikační družice Telstar tak už byla zásobena zdrojem o výkonu 15 W. Z kosmonautiky, kde energie ze slunce tvořila prakticky jediný zdroj energie, se pomalu mohla fotovoltaika rozvíjet i na zem. [15]

Dalším mezníkem pro výzkum se stala celosvětová ropná krize v roce 1973. Cena je však i přes již komerční výrobu značně vysoká a na Zemi tak články můžeme vidět jen výjimečně, například v odlehlých končinách, kam se nevyplatí vést drahé vedení. V podstatě do roku 2000 se s nimi běžný smrtelník setká jen na solární kalkulače. Výjimkou by mohla být instalace panelů na napájení majáku v Japonsku (242 W) roku 1963, napájení telefonních budek v Anglii nebo rozvoj v 80. letech v Sacramentu (USA), kde byl uzavřen jaderný reaktor. Na domy a kostely zde bylo nainstalováno 420 solárních systémů dodávajících celkem 5,7 MW. Na obr. 23 můžeme vidět zajímavou úpravu parkoviště na letišti. Solární panely zde poskytují stín pro 75 aut a navíc zásobují elektřinou 52 domů (130 kW). [15]



Obrázek 23: Fotovoltaický systém (390 panelů) na letišti v Sacramentu [15]

V dlouhodobějším výhledu má představovat fotovoltaika nejvýznamnější podíl na produkci energie. V současnosti je zatím zanedbatelný (pod 0,5 % spotřeby elektrické energie), konkrétně kolem 30 GWp, viz obr.28, ale neustále exponenciálně roste, takže během několika desetiletí může dosáhnout významného podílu. Dokonce už existují scénáře, podle kterých má celkový instalovaný FV výkon v roce 2065 dosáhnout 75 TWp. Tato prognóza je založena na již známých technických řešeních. Počítá se s instalací s účinností 15 % na ploše 0,5 mil. km<sup>2</sup> (tedy asi 0,8 % plochy souší). [15]

### 3.1 Generační vývoj

Vývoj solárních článků došel k řadě technologií. Ty se dají rozdělit do třech generací. Je však třeba konstatovat, že vývoj ve fotovoltaice se tímto rozdělením neřídí. Pokrok probíhá paralelně ve všech generacích.

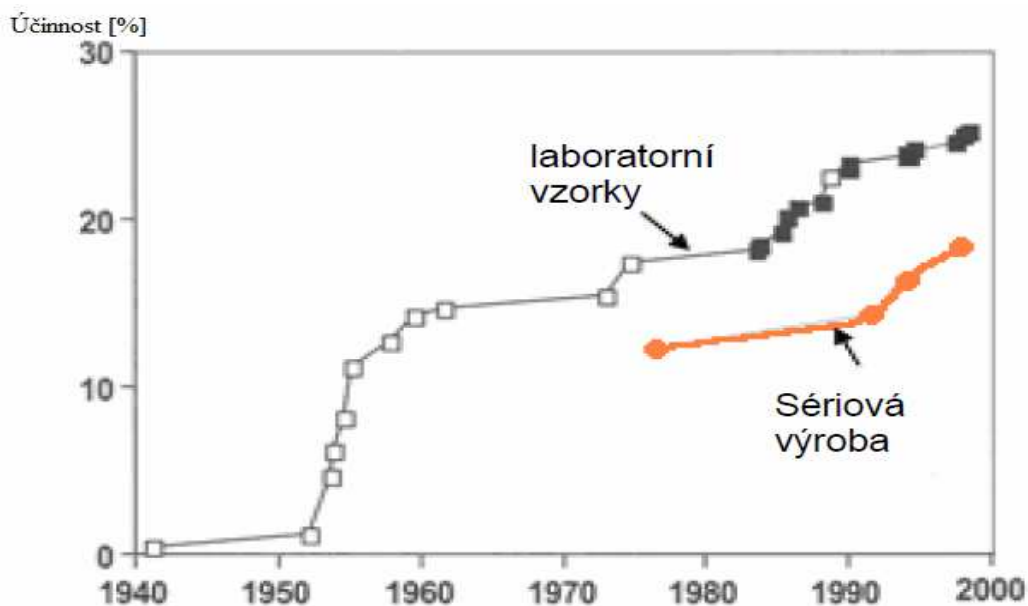
#### 3.1.1 První generace

První generací se nazývají články, které využívají jako základ křemíkové desky. Zatím jsou na trhu suverénně nejrozšířenější technologií (cca 90 %) a nejspíš ještě nějakou dobu budou. Hlavním problémem této generace jsou vysoké výrobní náklady kvůli náročné výrobě a vysoké spotřebě materiálu (tloušťka křemíku dříve kolem 0,5 mm, dnes 0,2 mm). Křemíkové desky jsou buď monokrystalické, ty dnes v sériové výrobě sahají k účinnosti 20 %, a polykrystalické, které se vyrábějí z levnějšího materiálu. Tím je polykrystalický křemík, ovšem jejich ceny se v poslední době začínají přibližovat. Jejich účinnost je oproti monokrystalickým nižší (k 15 %), ale zase dokáží lépe zachycovat rozptýlené (difúzní) světlo a světlo přicházející z boku, čímž se monokrystalickým článkům v podstatě vyrovnají. [7]



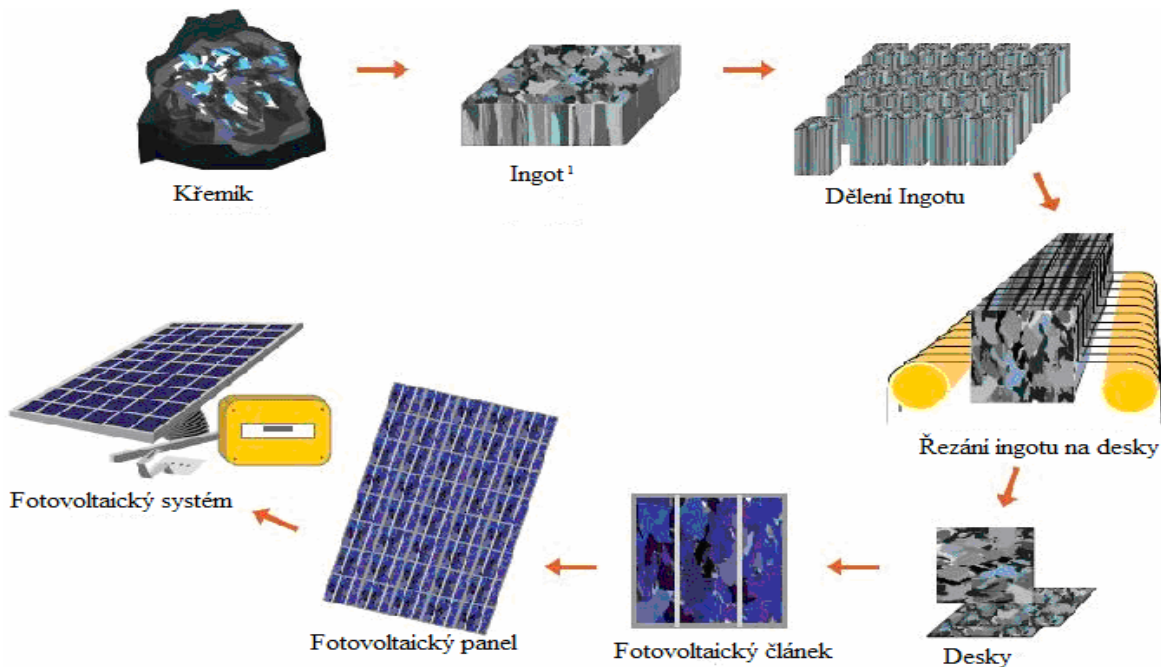
Obrázek 24: Rozdíl mezi články z monokrystalického (od nás dále) a polykrystalického křemíku [7]

Jak je vidět na obr. 24, články z monokrystalického křemíku jsou sytě modré až černé a obvykle mají čtvercové články zkosené rohy. Články z polykrystalického křemíku jsou jasně modré a je u nich zřejmá krystalická struktura.



Obrázek 25: Historický vývoj účinnosti článku z krystalického křemíku [7]

Z obr. 25 vidíme, jak se účinnost článku vyvíjí. Ta má teoretický strop ohraničený tzv. Shockley-Queisserovou hranicí. Tu stanovili v roce 1961 Shockley a Queissar s tím, že limit účinnosti přeměny sluneční energie jednoduchých solárních článků je okolo 31 %. [7] Na obr. 26 je znázorněna výroba článků první generace z polykrystalického křemíku.

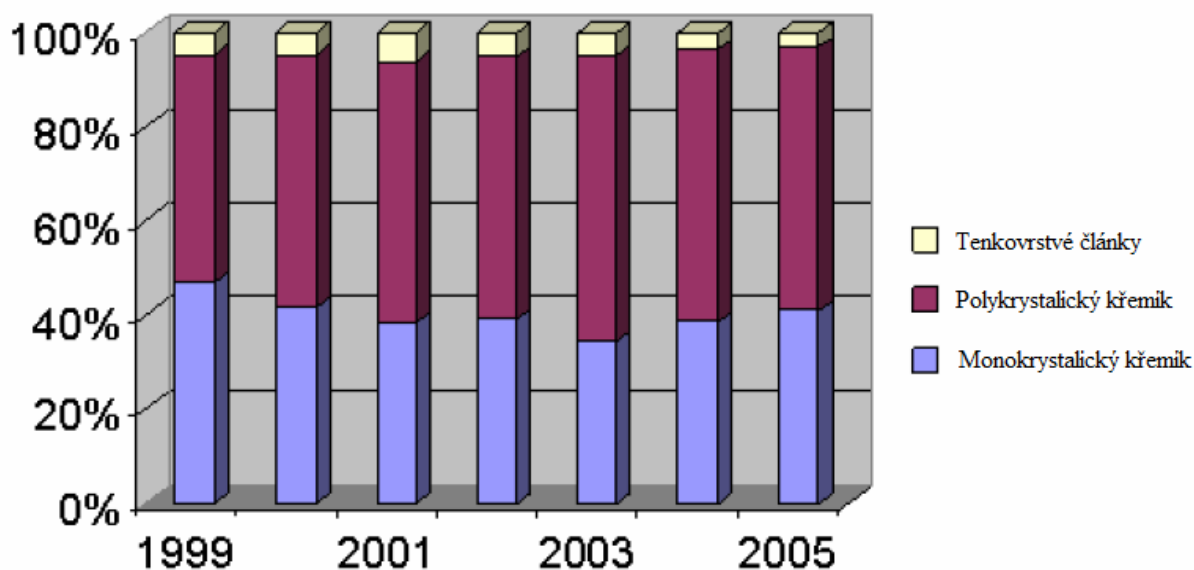


Obrázek 26: Schéma výrobního cyklu od surového polykrystalického křemíku až k instalaci fotovoltaického systému [16]

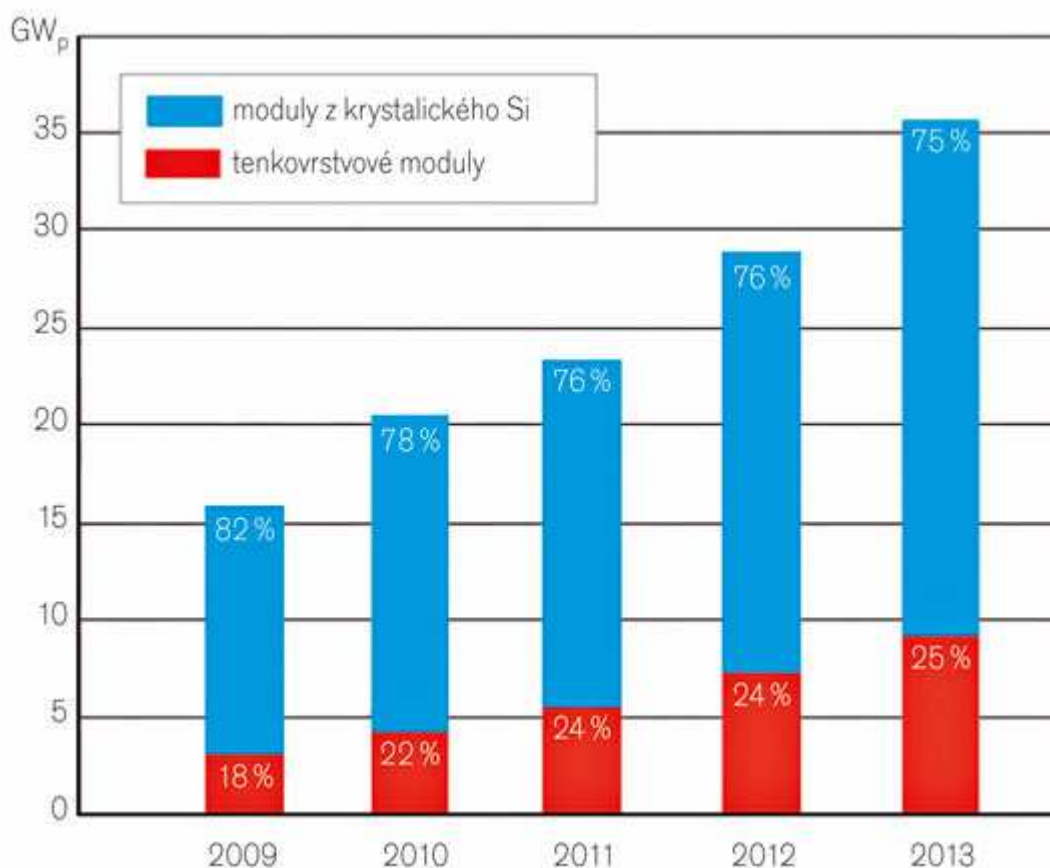
<sup>1</sup> polotovar určený na další zpracování

### 3.1.2 Druhá generace - tenkovrstvé solární články

Hlavním motivem pro tuto generaci byla snaha o snížení výrobních nákladů, tedy hlavně úspora křemíku, kterého by mohl být s výhledem na potřeby budování fotovoltaických zdrojů do roku 2100 nedostatek - to se splnilo, tloušťka článku je 100 až 1000x menší. Polovodivé vrstvy amorfního nebo mikrokrytalického křemíku jsou různými technologiemi nanášeny nejčastěji na sklo či plast. Výhodou je, že mohou být nanášeny např. i na ohebnou fólii a sdílet pak její pružnost, čímž se značně rozšíří aplikační sféra. Nevýhodou je pak účinnost, která je podstatně nižší - v sériové výrobě nepřekračuje 10 %. Náklady na instalovanou jednotku výkonu se od deskových článků tedy v podstatě neliší, a proto podíl tenkovrstvých článků na trhu klesl v posledních letech pod 5 %. Menší množství křemíku by sice mělo vést k výhodnější ceně, ale potřebné vakuové technologie jsou drahé a tak podíl tenkovrstvých článků začal růst až s rokem 2006, kdy se v důsledku rozvoje fotovoltaiky projevil nedostatek křemíku, což je vidět z *obr. 28*. Do té doby podíl tenkovrstvých článků stagnoval, což je patrné z *obr. 27*. [7]



Obrázek 27: Podíl jednotlivých typů výchozího materiálu na celkové produkci [7]



Obrázek 28: Prozatímní vývoj podílu tenkovrstvých a deskových článků a prognóza pro rok 2013 [7]

### 3.1.3 Třetí generace

V posledních letech se hovoří o tzv. třetí generaci článků. Ta však zatím vlastně neexistuje, jedná se v podstatě o plán dalšího vývoje, který by měl vést k překročení Shockley-Queisserovy hranice omezující účinnost FV přeměny. Tato hranice byla stanovena na základě tvrzení, že 1 foton vytváří 1 exciton (pár elektron-díra) o energii rovné zakázanému pásu a zbytek se přemění na teplo. Výzkum se věnuje spoustě směrů, jako jsou např. články, které by využívaly „horké“ nosiče náboje pro generaci více párů elektron-díra, organické články, termofotovoltaická přeměna, kde absorbér je současně i radiátorem vyzařujícím selektivně na jedné energii atd. a snad jsou možnosti otevřeny i pro další, doposud neznámé nápady. Nicméně zatím jediným komerčním přístupem k třetí generaci, který funguje, jsou vícevrstvé struktury (z tenkých vrstev) - dvouvrstvé (tzv. tandemy) nebo trojvrstvé, které přímo vycházejí z generace druhé. Známý je tandemový solární článek se strukturou z p-i-n přechodu amorfního nebo mikrokrytalického křemíku. Amorfní křemík se vyznačuje vysokou absorpcí v oblasti zelené, modré a žluté části spektra, mikrokrytalický absorbuje dobře i červenou a infračervenou oblast. Ten může být nahrazen i slitinou křemíku

s germaniem. Tohoto materiálu se užívá např. právě u trojvrstvých článků, kde dvě spodní vrstvy jsou vyrobeny každá s jinou koncentrací Si a Ge. Každá vrstva zde tedy využívá jinou část slunečního spektra a zbylé záření propouští do nižších vrstev. Základní podmínkou je, aby každá vrstva generovala stejný proud, jinak je limitní ten nejmenší z nich. Výsledné napětí je dáno součtem dílčích napětí jednotlivých článků (vrstev). Nejvyšší účinnost těchto článků se dostala už nad 40 %. Týmy vědců z University of Delaware, Fraunhoferova Institutu pro solární energetické systémy a NREL dosáhly hodnot 42,8 %, 41,1 % a 40,8 %. Jedná se zatím ale o ne zcela ověřené hodnoty účinnosti, protože výsledky nebyly podrobeny standardizovaným testům plně smontovaných panelů. Navíc články využívají pouze přímé sluneční záření a v ČR se vyskytuje nejvíce záření rozptýlené (difúzní). [7]

Naděje se vkládají také do organických článků a to hlavně kvůli možnosti levné výroby. Náklady se sice snížili přibližně 100x, ale účinnost zatím nabývá kolem 2-4 % a komerčně dostupné nejsou. [7]

### 3.2 Rozvoj fotovoltaiky v ČR

V ČR se fotovoltaické systémy začaly objevovat až koncem 20. století a to většinou malé ostrovní systémy v místech bez připojení k rozvodné síti. Jednalo se tedy o rekreační chaty a o drobné elektrické aplikace, např. parkovací automaty. [14]

První větší instalací byla elektrárna na hoře Mravenečník v roce 1998. Její výkon byl 10 kW a provozovala jí skupina ČEZ. Protože lidé zde panely rozkrádali, byla v roce 2002 přesunuta do areálu Jaderné elektrárny Dukovany. [9]



Obrázek 29: FV elektrárna v Dukovanech [9]

V roce 2000 vyhlásil státní fond životního prostředí program „Slunce do škol“, kdy ministerstvo životního prostředí proplácelo základní škole 100 % nákladů do výše 100 000 Kč, střední a vysoké 70 % + 20 % půjčku. Na všech základních, středních a

vysokých školách, co se do programu zapojily, byly nainstalovány systémy s celkovým výkonem 80 - 100 kWp (všechny školy dohromady). Tyto instalace měly sloužit hlavně k seznámení žáků, potažmo jejich rodičů, s touto možností výroby elektřiny, protože právě ti školáci budou v budoucnu ovlivňovat tvář naší planety a je jim tedy nutné ukázat, že tyto alternativní zdroje mohou výrazně přispět k ochraně životního prostředí. [10,14]

Tabulka 1: Proplacené náklady v rámci programu „Slunce do škol“ [10]

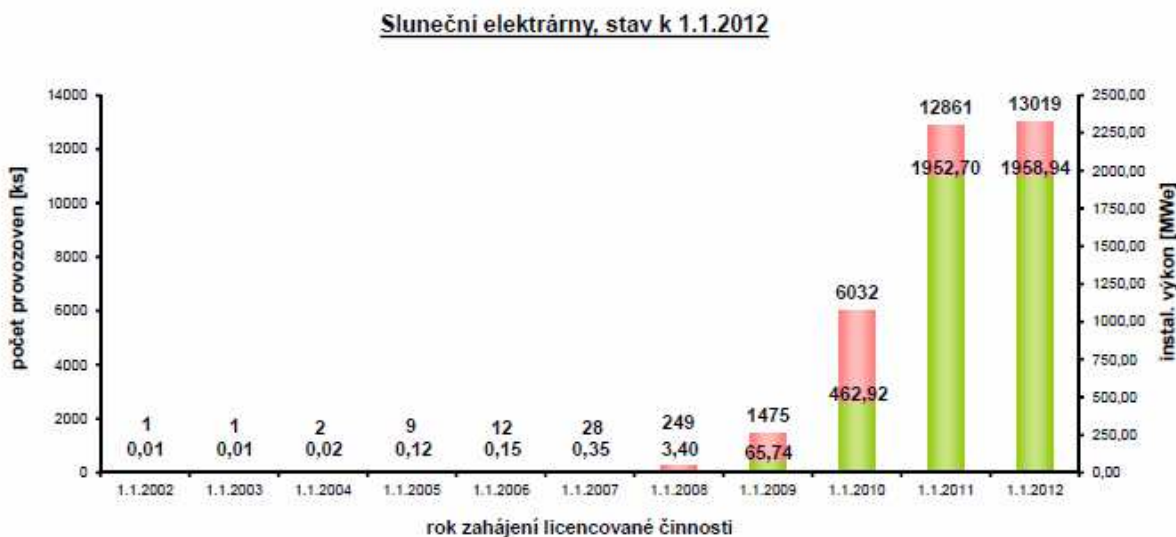
<b>Podpora v letech 2000 - 2003</b>			
<b>Rok</b>	<b>Počet podpořených akcí</b>	<b>Náklady na realizaci (tis. Kč)</b>	<b>Výše podpory ze SFŽP (tis. Kč)</b>
2000	88	11 840	11 840
2001	110	54 400	43 200
2002	273	23 600	23 040
2003	705	73 269	72 875
<b>celkem</b>	<b>1 176</b>	<b>163 109</b>	<b>150 955</b>

Výstavba fotovoltaických elektráren (dále FVE) zde začínala v letech 2005 a 2006 a to díky zákonu č. 180/2005 o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. Získat investiční dotace šlo zpočátku také ze strukturálních fondů EU v rámci Operačního programu průmyslu a podnikání. Tato možnost zanedlouho padla, ale Energetický regulační úřad rozhodl, že od roku 2006 bude výkupní cena nejprve až 13,20 Kč/kWh (pro srovnání - cena pro domácnosti 2,34 Kč/kWh). [10,14]

Jednalo se o elektrárny s výkonem 60 až 500 kWp dodávající elektřinu do rozvodné sítě, na vhodných samostatných pozemcích, výjimečně i na střechách objektů. Současně k nám vstoupila řada firem, které nabízely dodávku a montáž fotovoltaických elektráren včetně střídačů a dalších zařízení. Díky nim koncem roku 2008 dosáhl instalovaný výkon FVE cca 40 MWp. Podrobnější vývoj je vidět z grafu na obr. 30. [10,14]

Snížení pořizovacích nákladů a zvýšení energetické účinnosti fotovoltaických článků vedlo společně s výhodnou výkupovací cenou ke snížení doby návratnosti investice pod 10 let, a tedy velmi výhodný byznys, který vedl k velkému nárůstu FVE zejména v letech 2008 - 2010. V roce 2011 se vývoj zastavil kvůli tzv. stop stavu novým žádostem o připojení nových připojení. Ten byl vyhlášen na žádost společnosti ČEPS, která provozuje přenosovou soustavu. Byla také snížena výkupní cena (kolem 6 Kč/kWh), aby ekonomická výhodnost všech druhů obnovitelných zdrojů energie byla přibližně stejná. K 1.1.2012 evidoval Energetický regulační úřad 13 019 FVE o souhrnném instalovaném výkonu 1959 MWp (pro

srovnání, Jaderná elektrárna Temelín, největší energetický zdroj v ČR, má výkon 2000 MW). [9,10,14]



Obrázek 30: Vývoj počtu FVE a jejich výkonu v ČR [10]

## 4 Charakteristika tepelných solárních systémů

Každý z nás určitě ze zkušeností ví, že hladký a světlý povrch se prakticky nezahřívá a většinu záření odráží. Opakem je matný černý povrch, který většinu pohltí a značně se zahřívá. Barva předmětu by se tedy měla vybírat nejen podle vzhledu, ale i s ohledem na tepelné požadavky. Například ve světlém autě bude v létě přeci jen příjemněji (menší teplota) než v černém.

Zařízení, které přeměňuje sluneční záření na teplo, může být pasivní (skleníky) nebo aktivní - fototermické systémy (solární, sluneční). Tyto systémy se používají např. pro ohřev užitkové vody, ohřev vody v bazénech, pro přitápění, sušení, větrání a ve speciálních případech k technologickým procesům. Základ všech takových systémů tvoří tzv. solární (sluneční) kolektor (jako český ekvivalent by se dal použít výraz sběrač). Ten záření pohlcuje a mění na teplo, které je pak odvedeno pomocí kapaliny nebo vzduchu k místu využití nebo uložení. [9]

### 4.1 Konstrukce, druhy a princip kolektoru

Solární kolektory se dají rozdělit podle tvaru:

- ploché - zatím nejrozšířenější, hlavně v našich slunečních podmínkách
- trubicové vakuové - vakuum snižuje tepelné ztráty - vyšší účinnost
- koncentrační - Fresnelova čočka - koncentruje záření na menší absorpční plochu



a podle způsobu přenosu tepla:

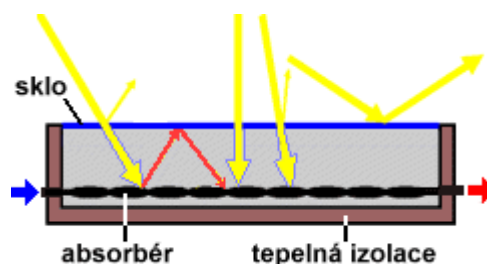
- kapalinové - ohřev užitkové vody, ohřev vody v bazénech, přitápění atd.
- teplovzdušné - ohřev vzduchu v místnosti, temperování objektů, sušičky atd.
- kombinované - kombinace dvou předešlých

[9]

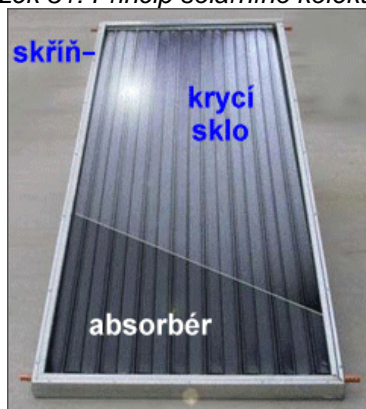
#### 4.1.1 Plochý kolektor (kapalinový)

Tento kolektor je vidět na *obr.31 a 32*. Má čtyři základní části:

- Absorbér - je vyroben nejčastěji z měděného či hliníkového plechu, jenž je upraven tak, aby pohlcovao co nejvíce záření. Laciné absorbéry, které stačí pro letní využití, jsou natřeny matnou černou barvou. Kvalitnější jsou pokryty vysoce selektivním spektrálním nátěrem, což je většinou speciální černá barva s příměsí skla. Ty se pak vyznačují vysokou absorptivitou záření (např. 96 %) a minimální emisivitou (např. 6%). To znamená, že pohltní 96 % záření a vyzáří jen 6 % tepla. Tato selektivní vrstva má také lepší schopnost pohlcovat difúzní záření, které má v podmínkách ČR výrazný podíl v celkovém množství dopadajícího záření, čímž se účinnost v porovnání s obyčejnou černou barvou ještě výrazně zvětší. Získané teplo je pak odvedeno vodou, nebo spíše nemrznoucí kapalinou (pro celoroční provoz) proudící v trubicích, na které jsou ty jímací plechy vysokofrekvenčně navařeny, napájeny, či vlisovány. [9,17]
- Skříň (pouzdro kolektoru) - je nejčastěji kovová vana (slitina Al) pro uložení absorbéru a dalších prvků. Slouží k uchycení kolektoru na střechu nebo stěnu budovy, takže musí být dostatečně robustní, navíc jej chrání před povětrnostními vlivy. [9]
- Izolace - slouží k izolaci spodní a boční části kolektoru proti úniku tepla z absorbéru stěnami skříně. Nejčastěji je použita izolace z minerální vlny či pevnějšího polyuretanu. Materiál musí odolávat teplotě do 200 °C a měl by zabránit příjmu vlhkosti z okolí. [9]
- Krycí sklo - slouží k omezení tepelných ztrát přední stranou kolektoru. Speciální solární sklo s velkou robustností (3,2-4mm) a životností je vyrobeno se sníženým obsahem železa a nečistot a snadno tak propouští viditelné světlo, které se v absorbéru mění na teplo. Dlouhovlnné tepelné záření však sklo ven nepropouští a vzniká zde tak skleníkový jev, který zapříčiní zvýšení teploty proudící kapaliny. [9,17]



Obrázek 31: Princip solárního kolektoru [9]



Obrázek 32: Plochý kolektor [9]

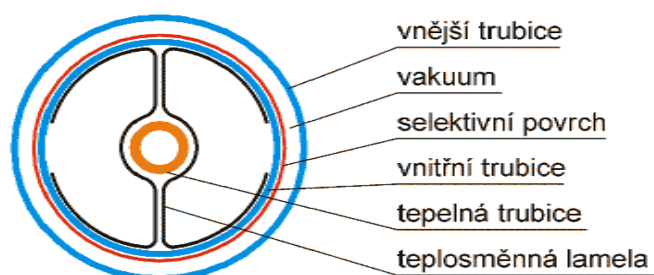
#### 4.1.2 Trubicový vakuový kolektor

Struktura těchto kolektorů se dá připodobnit k termosce, viz *obr. 34* - menší trubice (úzký, selektivně povrstvený pás absorbéru) je vložena do větší a mezi nimi je vytvořeno vakuum. Tím jsou značně sníženy tepelné ztráty, které se sníží o ztráty z tepelné výměny prouděním (nemá co proudit) a ztráty způsobené tepelnou vodivostí vzduchu. Účinnost se tedy nesnižuje při nízkých venkovních teplotách a snížené intenzitě slunečního záření jako u plochých kolektorů. Jak je vidět z *obr. 33*, trubice mají mezi sebou značné mezery a nelze tedy ze stejné plochy, jakou zabírají na střeše, získat větších výnosů tepla než s nejpokrokovějším kolektorem plochým. Lepší začínají být až při pracovních teplotách kolem 60°C a výhodnější s ohledem na cenu při teplotách ještě mnohem vyšších. Cena je hlavní důvod, že se zatím příliš neprosadily. Na trhu mají podíl pouze přibližně 1 %. [6,7]



Obrázek 33: Vakuový trubicový kolektor [7]

Absorbér je vyrobený z mědi s malým obsahem teplotnosné kapaliny na bázi alkoholu, ta se teplem odpařuje a tím odebírá z absorbéru teplo. Pára stoupá do horní části trubice, kde kondenzuje a předává teplo do nemrznoucí směsi, která koluje v solárním okruhu. Kondenzát poté stéká zpět na dno trubice a koloběh se může opakovat. Teplo z nemrznoucí směsi se přes výměník v zásobníku akumuluje do topné nebo teplé užitkové vody. [8]



Obrázek 34: Trubicový kolektor v řezu [8]

Výhodou je, že díky válcovému tvaru trubice je umožněna absorpce slunečního záření i při neoptimální orientaci kolektoru a východu či západu slunce. To samé platí i pro zimní období, takže v něm dodává tento kolektor mnohem více tepla než plochý. Má tedy vyrovnanější výkonnostní diagram během dne i během roku. Ideální je tedy využití pro celoroční provoz, v našem zeměpisném pásmu je to neúčinnější kolektor. [8]

Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady a o něco nižší účinnost v letních měsících. [8]

### 4.1.3 Koncentrační kolektor

V těchto kolektorech se přímé sluneční záření pomocí zrcadel koncentruje do jednoho ohniska, kde je malý absorbér, který má díky své velikosti podstatně nižší ztráty a rychlejší ohřev náplně, než by měl běžný kolektor. Lze dosáhnout velmi vysokých teplot, což se využívá v solárních elektrárnách k ohřevu pracovní látky na 250-800 °C. Zrcadla se používají parabolická (lineární ohnisko) a paraboloidní (bodové ohnisko). [6]

Nevýhodou je, že rozptýlené záření koncentrovat neumí skoro vůbec a mimo slunečné dny jsou jejich zisky zanedbatelné. Nutností je navíc přidání nákladného naklápění zrcadel za Sluncem, aby bylo záření pořád soustředováno na absorbér. [6]



Obrázek 35: Návrh koncentrační solární elektrárny Shams 1, která roste ve Spojených arabských emirátech. Její výkon by se měl pohybovat okolo 100 MWp [18]

Existují také koncentrační kolektory, které místo odrazu od zrcadel využívají lom světla v tzv. Fresnelovo čočce, jinak je princip stejný.



Obrázek 36: Fasádní solární kolektor s lineárními Fresnelovými čočkami [8]

Kromě klasického využití pro ohřev TUV lze tento druh kolektoru využít pro výrobu elektrického proudu a to v případě, že je do ohniška vložen Stirlingův motor (druh tepelného motoru). V budoucnu by toto mohlo být konkurencí fotovoltaických panelů. [8]

## 4.2 Instalace kolektoru

Při instalaci kolektoru je potřeba brát v úvahu tři základní faktory.

- Místo instalace - kolektor by měl být co nejbližší k místu, kde se ohřívá voda spotřebovává, aby se co nejvíce minimalizovaly ztráty v rozvodném potrubí.

Solární kolektory se instalují na rovnou (*obr. 40*) i sedlovou střechu (*obr.37*), případně na uzpůsobenou konstrukci ve volném terénu (obdobně jako u rovné střechy). U výškových budov je možné je umístit i na fasádu (*obr. 38*). [9]

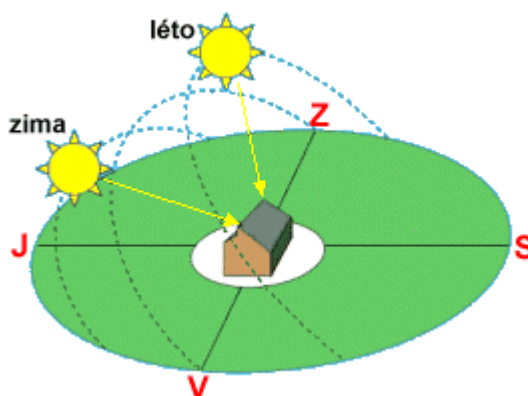


Obrázek 37: Umístění kolektoru na sedlové střechě [8]



Obrázek 38: Umístění kolektoru na fasádě [8]

- Orientace kolektoru vzhledem ke světovým stranám - nejvhodnější je natočení směrem k jihu s mírným odklonem na jihozápad (asi  $15^\circ$ ). To proto, že odpoledne slunce svítí déle než dopoledne. [9]
- Sklon kolektoru - ideálem by bylo, kdyby na kolektor dopadalo záření stále kolmo. Výška Slunce nad obzorem se však mění, a to jak v průběhu dne, tak v průběhu roku. V létě svítí Slunce více shora a ideální sklon by byl do  $30^\circ$  od vodorovné roviny. V zimě však svítí více z horizontu a vhodnější sklon by byl kolem  $60^\circ$ . Aby kolektor nemusel být umísťovat na nějaké rotační zařízení, volí se obvykle kompromisní sklon  $35^\circ - 45^\circ$ . [9]



Obrázek 39: Znárodnění proměnlivé dráhy Slunce [9]



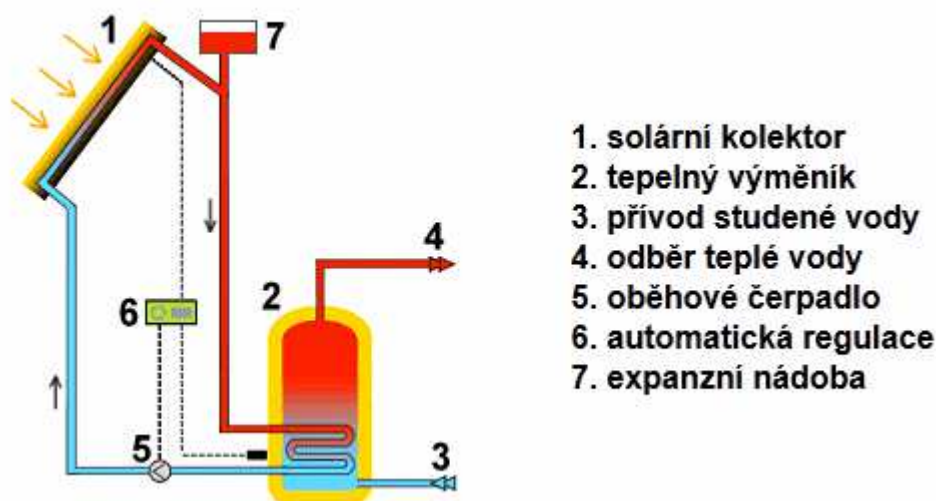
Obrázek 40: Ukázka orientace a sklonu kolektoru [9]

### 4.3 Tepelný solární systém

Samotný solární kolektor bez zapojení do celého solárního systému nestačí. Hlavními prvky kromě kolektoru jsou: zásobník (boiler), tepelný výměník, oběhové čerpadlo, expanzní nádoba, regulační prvky a potrubí. Parametry jednotlivých prvků a jejich parametry určují typ systému. Ten může být pro sezónní, nebo celoroční ohřev, samotížný, nebo nucený a jednookruhový (většinou sezónní provoz, ohřívá se přímo požadované médium), či dvouokruhový (většinou celoroční provoz, tepelná energie se předává prostřednictvím výměníku požadovanému médiu). [9]

Solární systémy jsou zpravidla kombinovány se stávajícími zdroji energie, takže funguje jako předehev. V letních měsících je schopen ohřát veškerou vodu na požadovanou teplotu a ještě se musí řešit otázka tepelných přebytků, naopak v zimě ohřeje vodu jen do určité teploty a na vyšší teplotu pak musí být doohřáta jiným zdrojem, zpravidla stávající plynový či elektrický kotel (tzv. bivalentní či trivalentní systémy). [8]

#### 4.3.1 Dvouokruhový kapalinový solární systém



Obrázek 39: Schéma dvouokruhového kapalinového solárního systému [9]

Pro přenos tepla z kolektoru do výměníku se v tomto systému používá nemrznoucí kapalina na bázi propylenglykolu. Ta předává v tepelném výměníku stěnami měděného hada teplo ohřívané užitkové vodě. Cirkulace teplonosné kapaliny je v hnaném systému zajištěna pomocí oběhového čerpadla. Expanzivní nádoba zajistí vyrovnání změn objemu kapaliny při změnách teplot. Celý solární systém je pak řízen automatickou regulací na základě údajů, které byly naměřeny čidly v celém systému. [1,9]

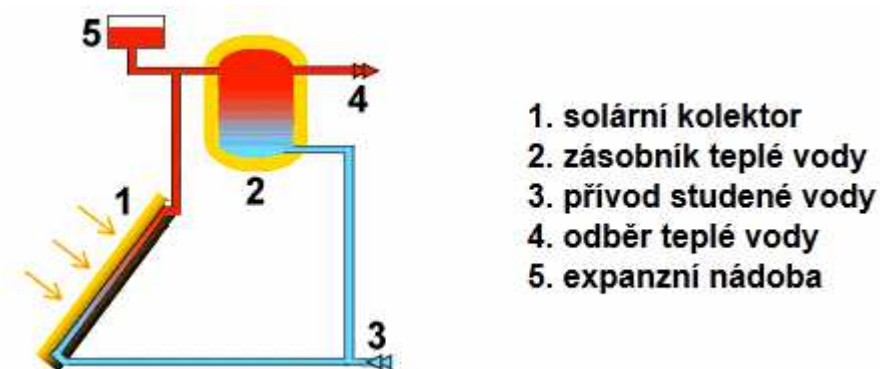
Samotížný systém funguje na principu tzv. termosifonového efektu. K činnosti nepotřebuje elektronickou regulaci ani solární hnací jednotku, ale podmínkou je, že zásobník s vodou musí být umístěn výše než kolektor (na půdě, v podkroví atd.). Kapalina se ohříváním roztahuje a samovolně stoupá v trubkách vzhůru k zásobníku, kde dochází k tepelné výměně mezi transportní kapalinou a ohřívanou vodou. Ochlazená kapalina pak opět klesá dolů do kolektoru. [1,9]



Obrázek 40: Praktická ukázka dvouokruhového solárního systému [9]

#### 4.3.2 Jednookruhový kapalinový solární systém

Pro sezónní využití, např. pro ohřev vody ve venkovním bazénu, se používá jednodušší jednookruhový kapalinový solární systém. V něm se ohřívá přímo ta voda z bazénu, netřeba tak další pomocné kapaliny. [1]



Obrázek 41: Schéma jednookruhového kapalinového solárního systému [9]

Zde je přivedena studená voda do solárního kolektoru, kde se ohřívá, a shromažďuje se v tepelně izolovaném zásobníku nad kolektorem. [1]



Obrázek 42: Praktická ukázka jednookruhového kapalinového solárního systému [9]



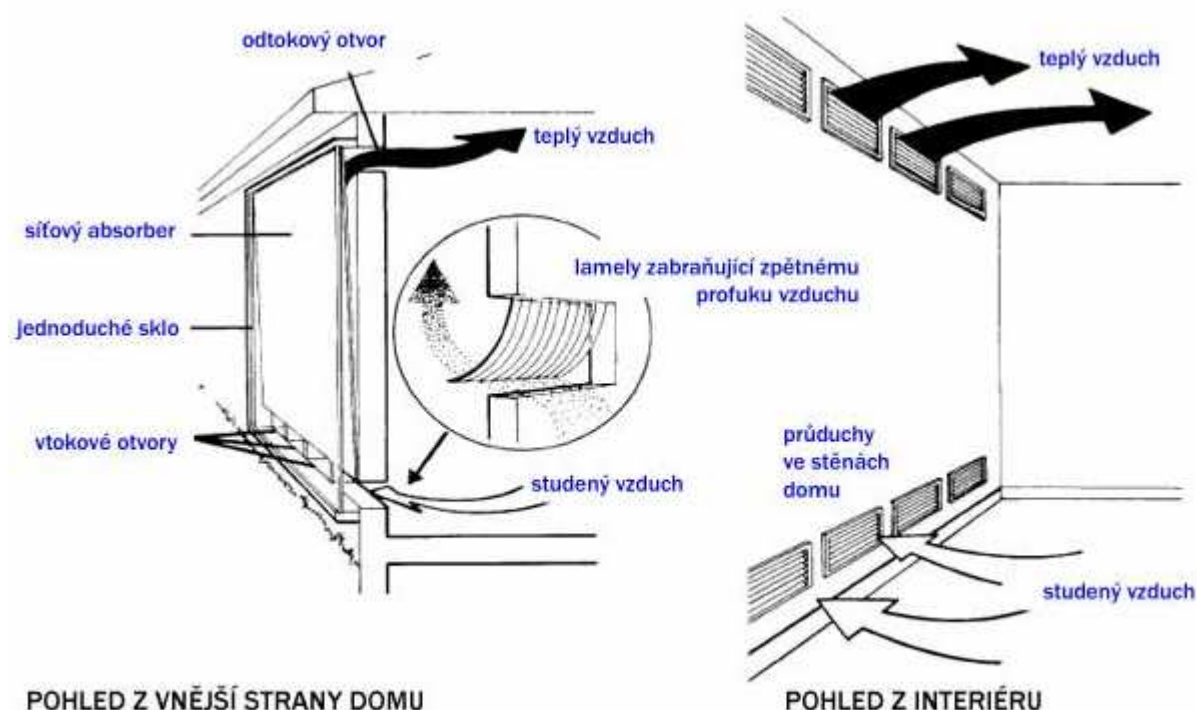
### 4.3.3 Teplovzdušný solární systém

Tyto systémy využívají tzv. teplovzdušné kolektory, ve kterých není teplonosnou látkou kapalina, ale vzduch. [1]

Oproti kapalinovým mají řadu výhod. Hlavně díky absenci kapaliny nehrozí zamrznutí, a tedy poškození mrazem, mají podstatně jednodušší konstrukci, jelikož se u nich neklade takový důraz na těsnost a odolnost vůči tlakům a neohrožuje je koroze. Jsou tedy mnohem levnější a díky jednoduché konstrukci a malým nárokům na odolnost i velice spolehlivé s dlouhodobou životností. Vzduch uvnitř kolektoru se navíc dokáže ohřát na teplotu vyhovující pro přitápění, ve zvláštních případech i sušení, také při nízké intenzitě slunečního záření. Díky tomu, že nedochází ke ztrátám ve výměnících nebo v rozvodech, mají i větší účinnost.

Používají se k temperování, vysoušení či vytápění objektů nebo vyhřívání chodníků, střeš a parkovacích ploch. [1]

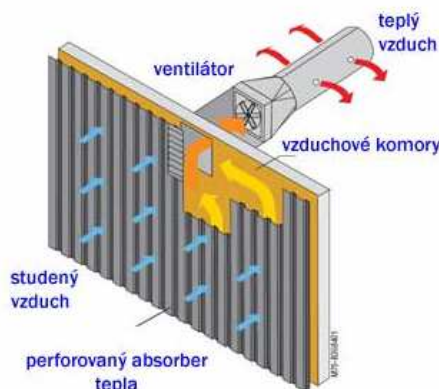
Nejčastější aplikací jsou kolektory montované celoplošně na stěny nebo střechy. Solární teplovzdušné systémy obsahují absorpční síťku, kolem které proudí sluncem ohříváný vzduch. Ten je z místnosti nasávaný dolním průduchem a zpět do místnosti vstupuje průduchem horním. V místnosti tak dochází k samovolné cirkulaci vzduchu a tím se ohřívá. [1]



Obrázek 43: Princip teplovzdušného kolektoru na stěně domu [19]

Rychlejší cirkulaci vzduchu, a tedy i rychlejší a rovnoměrnější ohřev lze zajistit rozšířením

systemu o ventilátor a elektronickou regulaci. Ta vyhodnocuje teplotu kolektoru a při dosažení stanovené teploty spouští ventilátor, kterým je teplý vzduch vháněn do místnosti. [1]



Obr. 44: Teplovzdušný kolektor s ventilátorem [19]

## 5 Vývoj fototermických systémů

I přesto, že jsou v současné době při výrobě kolektorů používány nejnovější technologie, dosahuje účinnost přeměny světelného záření na využitelnou tepelnou energii kolem 50 %. V ČR dopadá cca 1000-1100 kWh na 1 m<sup>2</sup>, takže při využití solárního systému o ploše 1 m<sup>2</sup> získáme cca 500-550 kWh tepelné energie. Účinnost samotného kolektoru je vyšší, ty nejlepší dosahují kolem 80 %. Ke ztrátám pak dochází zejména při transportu v tepelném okruhu a ve výměníku. [8]

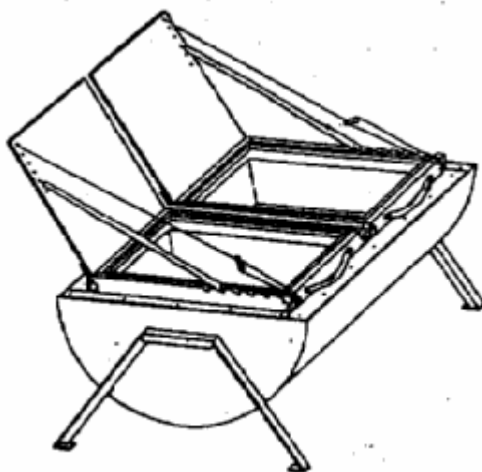
Myšlenka využívat tepelné účinky Slunce koluje na Zemi od nepaměti. První využití sluneční energie, sice pasivní, je známé už z dob starověkého Egypta a Mezopotámie. Jednalo se zejména o orientaci domů okny k jihu. [9]

Řecký fyzik a vynálezce Archimédés ze Syrakus (287-212 př.n.l.) objevil princip koncentrace slunečních paprsků pomocí zakřivených (konkávních) zrcadel. Ty vyráběl leštěním bronzových plechů. [8]

Pak se rozvoj nových technologií na dlouhou dobu zastavil. V roce 1767 vynalezl Švýcar Horace de Saussure předchůdce solárního kolektoru. Jak je vidět z obr. 45, tento panel byl v podstatě pouze dřevěná krabice zakrytá sklem, ale i tak byl schopen dosáhnout teploty kolem 90 °C. [8,20]

V 19. století přišel Augustin Mouchot s myšlenkou využití vnitřních zrcadel (koncentrátor) a přiblížil tak kolektor k dnešní podobě. V roce 1861 si nechal si patentovat solární motor a později využíval sluneční energii k vaření potravin, destilaci vody a vína a čerpání vody ze studny. [8,20]

V roce 1891 si Clarence M. Kemp nechal patentovat první komerční solární ohřívač vody. V 70. letech 20. století přišla ropná krize a tím i hledání různých zdrojů energie. Díky tomu byl vyvinut solární kolektor v dnešní podobě. [8]



Obr. 45: předchůdce solárního kolektoru [20]

Např. na zahradách jsme se mohli a někde na venkově možná stále ještě můžeme setkat s obyčejnými jednoduchými solárními systémy. Jedná se třeba o černý sud, ve kterém se ohřívala voda např. na mytí, viz obr.46. Jinak už dnes ale převažují systémy, jejichž základ tvoří moderní solární kolektory, zatím zejména ploché.

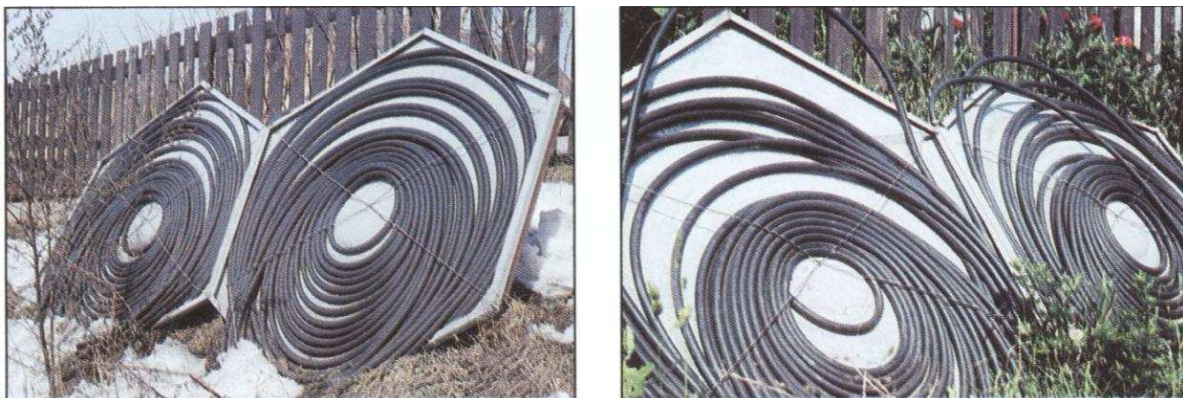
### 5.1 Rozvoj fototermických systémů v ČR a SR

Také u nás byly nejprve nejčastějšími solárními systémy obyčejné černé sudy, kde se lidem ohřívala voda. Ukázka takového „systému“ je na obr.46.



Obr. 46: Černý sud pro ohřev vody [21]

Pokročilejším systémem pak byly hadicové absorbéry, viz *obr. 47*. V nich se voda ohřívala mnohem rychleji a na vyšší teplotu.

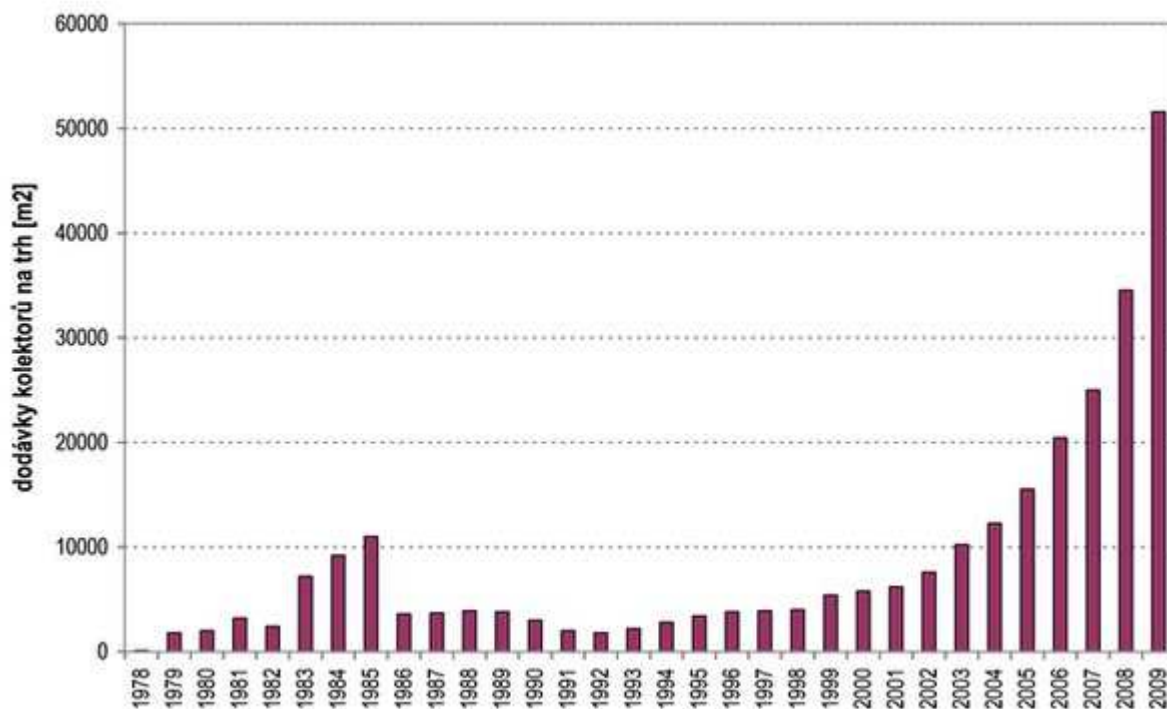


*Obr. 47: Hadicové absorbéry [22]*

První složitější systémy založené na využití slunečních kolektorů k nám dorazily v 80. letech 20. století (*obr. 48*), kdy nám po tehdejší světové ropné krizi Sovětský svaz zdražil dodávky ropy a spustila se státní podpora solární techniky. Podpora se týkala hlavně přípravy TUV v zemědělství a potravinářském průmyslu, školství, vody v bazénech, okrajově také rodinné domy a byty. Koncem 80.let přišel útlum, který byl způsoben špatnou ekonomikou a nízkou životností vyráběných kolektorů. Nový rozvoj instalací začal po roce 1992, hlavně v rodinných domech. Hlavním impulsem byl růst cen paliv a energií. Ke konci 90. let pak byly spuštěny první dotační programy, ať už státní nebo evropské, které způsobily evidentní skokový růst hlavně po roce 2002. V současnosti dosahuje nárůst solárních instalací 25 až 30 % ročně, viz *tab.2*, dodávka nových solárních kolektorů se navyšuje dokonce o cca 40 % oproti předešlému roku, viz *obr. 48*. Za rok 2009 přibylo u nás přes 50 000 m<sup>2</sup> kolektorů na celkem cca 217 000 m<sup>2</sup>. I přesto činí v roce 2009 podíl solárního tepla na dodávce tepla z obnovitelných zdrojů pouze okolo 0,45%. [8]

*Tabulka 2: Celková instalovaná plocha činných systémů v m<sup>2</sup>[8]*

Typ kolektorů	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Ploché zasklené	52228	60657	73768	90647	109547	136047	175847
Vakuové trubkové	6000	7768	10121	13663	19763	28263	40063
Koncentrační	727	745	805	805	805	805	815
<b>Celkem</b>	<b>58955</b>	<b>69170</b>	<b>84694</b>	<b>105115</b>	<b>130115</b>	<b>165115</b>	<b>216725</b>



Obrázek 48: Historie vývoje dodávek solárních kolektorů na český trh (přírůstek) [8]

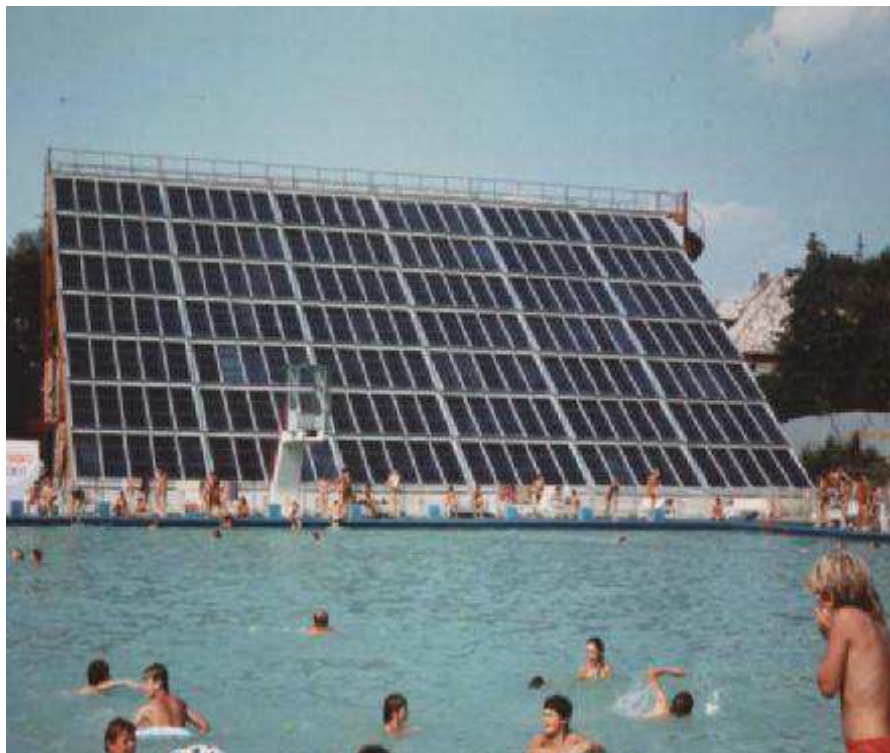
Jednou z prvních československých solárních realizací byl ohřev vody v mechanických dílnách v Kojetíně na Přerovsku, viz *obr. 49*, kde bylo 140 kusů slunečních kolektorů o celkové ploše 120 m<sup>2</sup>. Ty ohřívaly 2 x 4000 litrů vody. [22]



Obrázek 49: solární soustava z roku 1976 v Kojetíně na Přerovsku (dodnes v provozu) [22]

Následovalo další a další využití podobných solárních systémů, přestože návratnost byla spočítána na několik desítek let. Zajímavý projekt vzniknul v roce 1986 ve Zvolenu, kde solární panely vyhřívají vodu v místním koupališti, viz *obr.50*. Bylo zde 210 kolektorů po

2,75 m<sup>2</sup>, celková plocha tedy 577,5 m<sup>2</sup>. Bazén byl veliký 50x33 metrů a voda byla ohřívána až na 28 °C. [22]



Obrázek 50: Koupaliště ve Zvolenu z roku 1986 [22]

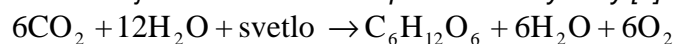
## 6 Umělá fotosyntéza

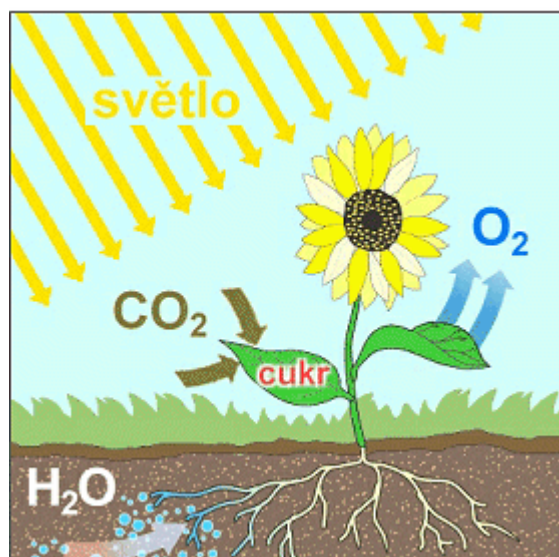
Kromě dvou nejrozšířenějších způsobů využití slunečního záření existují i další, zatím netradiční způsoby. Momentálně je ve vývoji tzv. umělá fotosyntéza.

### 6.1 Přírodní fotosyntéza

Přírodní fotosyntéza je reakce zdokonalována matkou přírodou po miliony let a umělá fotosyntéza se jí snaží v jednodušším modelu napodobit. Zjednodušeně lze tuto složitou reakci popsat podle rovnice 1.

*Rovnice 1: Zjednodušená rovnice přírodní fotosyntézy [9]*





Obrázek 51: Znáznornění principu fotosyntézy [9]

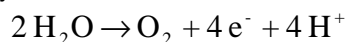
Rostliny přijímají z půdy vodu ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a z ovzduší oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). Působením světla dojde v listech k reakci, při níž vzniká kyslík ( $\text{O}_2$ ) a složitý cukr - glukóza ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), která se následně přeměňuje na látky potřebné k růstu rostliny.

Tento složitý proces se skládá ze dvou na sobě nezávislých fází.

### 6.1.1 Světelná fáze

Probíhá v zelených částech rostlin - v tzv. chloroplastech za účasti chlorofylu. Ten zachycuje energii fotonů, díky které v chloroplastech rozkládá vodu na vodík a kyslík, což je tzv. fotolýza vody. Tím se zároveň uvolňuje absorbovaná energie světelného záření a pomocí enzymů se postupně váže na adenosin trifosfát (ATP). Kyslík skrz průduchy uniká do ovzduší a vodík se využívá v druhé fázi. V jednodušším vysvětlení, viz rovnice 2, energii ve formě ATP zanedbáme. [23]

Rovnice 2: Zjednodušená rovnice světelné fáze [23]



### 6.1.2 Temnostní fáze

V sekundární fázi fotosyntézy probíhá tzv. Calvinův cyklus. To je složitý biochemický proces fixace a redukce  $\text{CO}_2$  za vzniku sacharidů. Cyklus má tři složité části - karboxylace (fixace  $\text{CO}_2$ ), redukce a regenerace. Podstatné je, že z původního  $\text{CO}_2$  se přes různé meziprodukty za působení energie (ATP) z primární fáze, vodíku uvolněného v 1. fázi a redukčních ekvivalentů (Nikotinamid adenin dinukleotid fosfát,  $\text{NADP}^+$ ) stává složitější sacharid (cukr) a další organické látky (škrob, bílkoviny,...), v přírodní fotosyntéze konkrétně glukóza. [23]

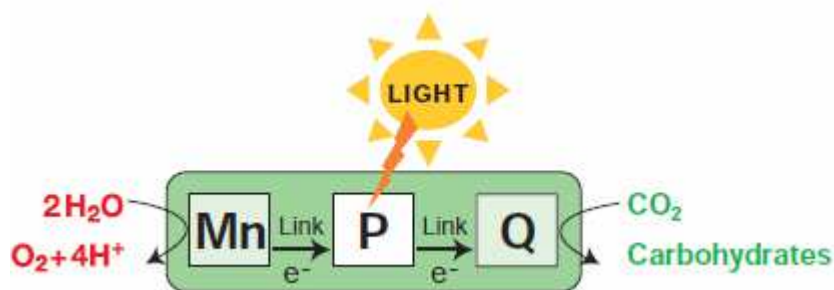
## 6.2 Využití umělé fotosyntézy

Největší výzvou umělé fotosyntézy je první fáze, tedy fotolýza vody, díky níž by se dal poměrně snadno získávat vodík díky Slunci. Ten by tedy měl být hlavním produktem této reakce a využíval by se do palivových článků. Není to tedy přesná kopie přírodní fotosyntézy ale analogický proces, že je podobným způsobem generováno vhodné palivo, i když odlišné.

Hlavní postavou projektu pro energetické napájení domácnosti je profesor chemie Daniel Nocera z Technologického institutu v Massachusetts (MIT). Jeho cílem je udělat z každého domu v budoucnu vlastní elektrárnu. Ta by se měla skládat ze speciálních katalyzátorů, solárních panelů a palivových článků. Solární panely by domu dodávaly energii přes den, přebytečná energie by byla použita pro fotolýzu vody, vodík a kyslík by byly uchovávány ve speciálních nádržích a v noci nebo při vysoké zátěži by se vzniklá energetická surovina, tedy vodík (u přírodní fotosyntézy je jako energetický nosič vyroben cukr - glukóza), použila jako palivo do palivových článků a kyslík jako oxidační činidlo. Solární palivo má tak potenciál být levnější než benzín. [24]

Podle propočtů Daniela Nocery by pokryly denní spotřebu rodinného domu asi 3 litry vody a další vodík by se dal případně použít do vodíkových aut. „Přírodu pohání fotosyntéza a já věřím, že do budoucna bude fotosyntéza pohánět celý svět,“ uvedl D. Nocera. [27]

Aby byla fotosyntéza dotáhnuta do konce, je třeba zvládnout ještě druhou fázi, tedy přeměnu  $\text{CO}_2$  na karbohydráty. Toho je v přírodě dosaženo pomocí enzymu RuBisCo. Molekuly  $\text{CO}_2$  váže pomalu, ale efektivnější katalyzátor se zatím bohužel vyvinout nepodařilo. Na obr. 52 je znázorněn princip přeměny. Umělý list se skládá ze třech částí, jedna je citlivá na světlo a dva katalyzátory - jeden na fotolýzu vody a jeden na přeměnu  $\text{CO}_2$ . [24]



Obrázek 52: Princip fotosyntetické přeměny energie [24]



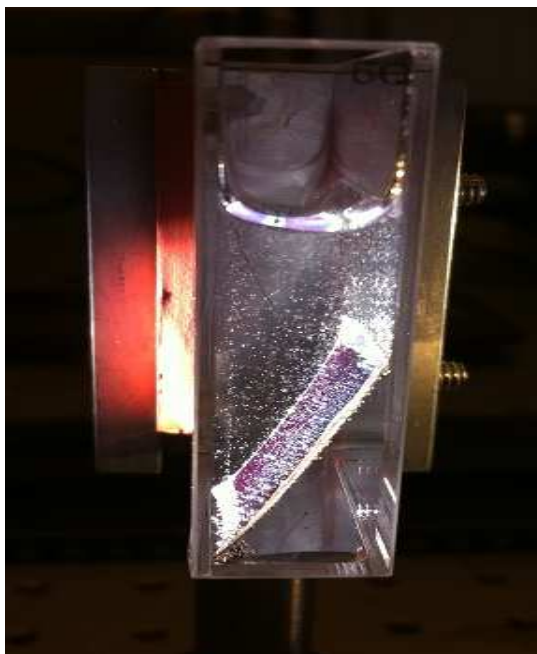
### 6.3 Přístup k vodíku

Systém funguje na principu, že se umělý list, tedy solární článek z křemíkového materiálu, ponoří do vody a za účasti slunečního záření a speciálních katalyzátorů začne vodu štěpit na vodík a kyslík. Právě vývoj vhodných katalyzátorů je pro toto odvětví klíčový. Nejprve se objevily vhodné vlastnosti u drahých prvků (ruthenium, rhenium), ty ale právě kvůli ceně nebyly perspektivní. V roce 2008 přišel vědecký tým Daniela Nocery na jiné vhodné a hlavně levnější a hojnější prvky - kobalt a různé fosfáty. V roce 2009 se pak pomocí karbonylových sloučenin železa a použití zlaté elektrody, která byla pokrytá vrstvou fosfidu india, dosáhlo fotoelektrochemické výroby vodíku s účinností 60 %. [24]

K produkci vodíku se dá přistupovat dvěma způsoby - homogenní a heterogenní.

#### 6.3.1 Homogenní přístup

Katalyzátory jsou umístěny v jedné nádobě. Výsledkem je, že vodík a kyslík jsou produkovány ve stejný čas na stejném místě. Problémem je, že tyto dva plyny spolu tvoří výbušnou směs. Je proto kladen důraz na tvrdé podmínky pro odvod plynů, navíc musí být všechny složky aktivní při přibližně stejných podmínkách (např. pH). Na *obr. 51* je vidět deska, do které už jsou přidány katalyzátory, ponořená do vody. Bublinky, tvořící se na přední straně, jsou kyslík a na zadní straně se vytváří vodík. [24,25,26]



Obrázek 53: Ukázka štěpení vody v laboratorním prostředí [25]

#### 6.3.2 Heterogenní přístup

Tento systém má dvě oddělené elektrody - katodu, anodu, které umožní oddělit kyslík a vodík. Různé komponenty navíc nepotřebují nutně pracovat za stejných podmínek. [24]

Nevýhodou těchto systémů je, že jsou složitější, a tedy poruchovější a také dražší. [26]

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zmapovat vývoj solární energie ve světě i v podmínkách České republiky a také samotný princip jednotlivých systémů. Stanovenému cíli jsem podřídil strukturu bakalářské práce.

Nejprve jsem rozebral systémy, které přeměňují energii slunečního záření na elektrickou energii, tedy tzv. fotovoltaické. Vysvětlil jejich princip a pak jsem se zaměřil kromě postupného vývoje článků na rozvoj těchto systémů v ČR. K 1.1.2012 bylo v ČR evidováno 13 019 fotovoltaických elektráren s celkovým výkonem 12 019 W. Fotovoltaika bude mít určitě s každým rokem větší podíl na výrobě energie, nabízí se však otázka, jestli podpora tohoto oboru není zatím až přehnaná. Vždyť jediná elektrárna - Jaderná elektrárna Temelín (2 000 MW, největší zdroj energie v ČR) má větší výkon než těchto 13 019 elektráren fotovoltaických. Globálním lídrem jsou v tomto oboru naši sousedé z Německa, kde jen za rok 2010 i 2011 vyrostly elektrárny s výkonem kolem 7 500 MW a podíl fotovoltaiky zde stoupl už na 3,2 % [18]. Může za to strach z havárie v jaderné elektrárně. V Německu si dali za cíl nejpozději do roku 2022 odstavit všechny jaderné elektrárny a nahradit tuto energii z obnovitelných zdrojů. Ať je to jak chce, fotovoltaika se bude rozvíjet víc a víc a s novými technologiemi by v budoucnu mohla být hlavním zdrojem energie.

V další části jsem se zaměřil na přeměnu slunečního záření na teplo, tzv. fototermické systémy. Nejjednoduššími systémy byl třeba obyčejný skleník na pěstování zeleniny či už samotné orientování oken domu na jih. Sluneční paprsky projdou skrz sklo dovnitř, kde jsou pohlcovány předměty v místnosti a teplota roste v místnosti nám roste. Kromě pasivního využívání je už dnes rozšířené aktivní, které se používá kromě ohřevu vzduchu hlavně k ohřevu užitkové vody. Po domácích systémech, jakými byl třeba obyčejný černý sud nebo černé hadice protékané vodou, se dnes už používají moderní solární kolektory. I když z důvodů dotací nerostou v takovém množství jako fotovoltaické systémy, můžeme je dnes už vidět na mnoha domech.

V poslední části jsem se seznámil s umělou fotosyntézou. Ta mě nadchla nejvíce. Její vývoj však ještě není dokončen, ale jestli se potvrdí očekávání vědce z Technologického institutu v Massachusetts Daniela Nocery, který je hlavní postavou tohoto projektu, bude umělá fotosyntéza pohánět celý svět. Vyrobený vodík by sloužil jako palivo do palivových článků, které by vyráběli elektřinu. Ta by pak kromě potřeby domu poháněla např. i

elektromobil. Z každého domu by chtěl udělat vlastní elektrárnu a elektřina dopravována „po drátě“ by se stala minulostí. Zatím se však nepodařilo vyvinout levný umělý list. V současnosti je tak nutností ho zdokonalit ve snaze co nejvíce zlevnit, protože výroba vodíku tímto způsobem vychází třikrát až sedmkrát draž než výroba vodíku z fosilních paliv, což je dnes běžný způsob výroby. K tomu bude potřeba vývoje nových typů polovodičů. *„Důvodem, proč jsem přesvědčen, že to bude fungovat, je snadnost provedení. Tohle je teprve začátek [27],“* řekl Nocera. A tak nezbyvá než věřit, že se mu to skutečně podaří.

Tomuto tématu jsem věnoval značnou pozornost a jsem si vědom, že nelze generalizovat tyto závěry. V této problematice se vyskytuje řada dalších aspektů, které zůstaly neanalyzovány a zasloužily by si hlubší zkoumání.

## Použitá literatura

- [1] Armin Themessl, Werner Weiss: *Solární systémy - Návrhy a stavba svépomocí*, Grada 2006
- [2] Kolektiv autorů: *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*, Praha 2007.
- [3] Andreas Henze, Werner Hillebrand: *Elektrický proud ze slunce*, Ostrava 2000
- [4] Doc. Ing. Karel Brož, CSc., Ing. Bořivoj Šourek: *Alternativní zdroje energie*, Praha 2003.
- [5] Jiří Štěpánek: *Využití solární energie a fotovoltaických systémů*, Diplomová práce FEL ZČU 2011.
- [6] Aleš Bufka: *Solární kolektory 2009*, Výsledky statistického zjišťování pro rok 2009, MPO Oddělení surovinové a energetické statistiky 2010.
- [7] Česká agentura pro obnovitelné zdroje <<http://www.czrea.org/>>
- [8] Technická zařízení budov - Obnovitelná energie <<http://oze.tzb-info.cz/>>
- [9] České energetické závody <<http://www.cez.cz/>>
- [10] Energetický regulační úřad <<http://eru.cz/>>
- [11] Technická univerzita Ostrava: *Způsoby využití slunečního záření* <[http://rccv.vsb.cz/Island/docs/Zpusoby\\_vyuziti\\_slunecni\\_energie.pdf](http://rccv.vsb.cz/Island/docs/Zpusoby_vyuziti_slunecni_energie.pdf)>
- [12] Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola Varnsdorf: *Spojování fotovoltaických článků*, <[http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS\\_005\\_cviceni/005\\_spojovani\\_fvc.pdf](http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS_005_cviceni/005_spojovani_fvc.pdf)>
- [13] <<http://www.ekowatt.cz>>
- [14] Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů <<http://www.spvez.cz/pages/fotovoltaika.htm>>
- [15] <<http://www.quido.cz/objevy/fotovolt.htm>>
- [16] <<http://coretancempluk.wordpress.com/2010/02/12/solar-cell-pertimbangan-pemilihan-material-bahan/>>
- [17] Aleš Bufka: *Vývoj a instalace solárních termálních systému v ČR*, Praha 2009
- [18] <<http://www.ekobydleni.eu>>
- [19] <<http://www.topeni-topenari.eu>>
- [20] Czech Nature Energy <<http://www.cne.cz>>
- [21] <<http://www.naturalrainwater.com>>
- [22] Ing. Jaroslav Peterka, CSc.: *Historické instalace solárních kolektorů v ČR*, Praha 2009
- [23] <[http://www.studiumchemie.cz/materialy/Milada\\_Rostejska/Fotosynteza/fotosynteza.html](http://www.studiumchemie.cz/materialy/Milada_Rostejska/Fotosynteza/fotosynteza.html)>
- [24] <[http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/documents/ArtFoto\\_Eng.pdf](http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/documents/ArtFoto_Eng.pdf)>
- [25] <[http://en.wikipedia.org/wiki/Artificial\\_photosynthesis](http://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_photosynthesis)>
- [26] <<http://www.ipe.cuhk.edu.hk/Intranet/kdd/presentation%20files/qhj%20Presentation%20070626.pdf>>
- [27] <<http://www.mit.edu/~chemistry/faculty/nocera.html>>