



# VYUŽÍVANIE OBNOVITEL'NÝCH ZDROJOV ENERGIE

F. Vranay | M. Kušník | P. Hal'ko

# 6

## VYUŽIVANIE OBNOVITEL'NÝCH ZDROJOV ENERGIE

Zmena globálnej klímy, ktorú spôsobuje neustále zvyšovanie koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére v dôsledku ľudskej činnosti, je jedným z najvýznamnejších environmentálnych problémov v súčasnom svete. Narastajúca teplota vedie k zmenám v rôznych ekosystémoch, vrátane negatívnych vplyvov na život človeka.

Smernica Európskeho parlamentu 2012/27/EU o energetickej efektívnosti zaviazala členské štáty k úprave legislatívy na dosiahnutie úspor primárnych energií do roku 2020 o 20 % voči roku 2007. Dôvodom na vznik tejto smernice bol fakt, že budovy zodpovedajú za 40 % celkovej spotreby energie v Únii. Tento sektor narastá, čo je spojené so zvyšovaním jeho spotreby. Zníženie spotreby primárnej energie a využívanie obnoviteľných zdrojov v sektore budov preto predstavujú dôležité opatrenie na zníženie energetickej závislosti Únie a emisií skleníkových plynov.

Prechodom na energeticky efektívnejšie hospodárstvo by sa tiež malo:

- zrýchliť šírenie inováčných technológií,
- podporiť hospodársky rast a vytvárať vysokokvalifikované pracovné miesta vo viacerých sektoroch spojených s energetickou efektívnosťou.

Výstavba objektov takmer s nulovou spotrebou, pasívne budovy, je cieľom, ktorý si kladie vláda pre výstavbu objektov štátnej správy od roku 2018 a pre ostatné budovy od konca roku 2020.

Pre dosiahnutie uvedených cieľov je potrebné:

- obmedziť spaľovanie fosílnych palív,
- zabrániť narastajúcemu odlesňovaniu, rozumne obrábať pôdu, hospodáriť s odpadom,
- šetriť s energiou,
- súhrnne povedané - správať sa zodpovedne tak na strane výroby, ako aj na strane spotreby.
- investovať do nových technológií,
- využívať obnoviteľné zdroje energie,
- stavať úsporné obydlia,
- preferovať moderný čistý priemysel,
- využívať ekologické dopravné prostriedky.

Prechod k nízkouhlíkovej ekonomike je nielen veľkou príležitosťou, ale aj:

- výzvou k zvyšovaniu energetickej nezávislosti,
- vzniku nových pracovných miest,
- ako aj rozvoju vedy a výskumu.

Zvyšovanie podielu obnoviteľných zdrojov energie na výrobe elektriny a tepla s cieľom vytvoriť primerané doplnkové zdroje potrebné na krytie domáceho dopytu je jednou zo základných priorít Energetickej politiky SR. Obnoviteľné zdroje energie prispievajú k posilneniu a diverzifikácii štruktúry priemyslu a poľnohospodárstva, podporujú inováciu a rozvoj informačných technológií, otvárajú priestor pre nové smerovania a sú jedným z pilierov budovania znalostnej ekonomiky. Racionálny manažment domácich obnoviteľných zdrojov energie je v súlade s princípmi trvalo

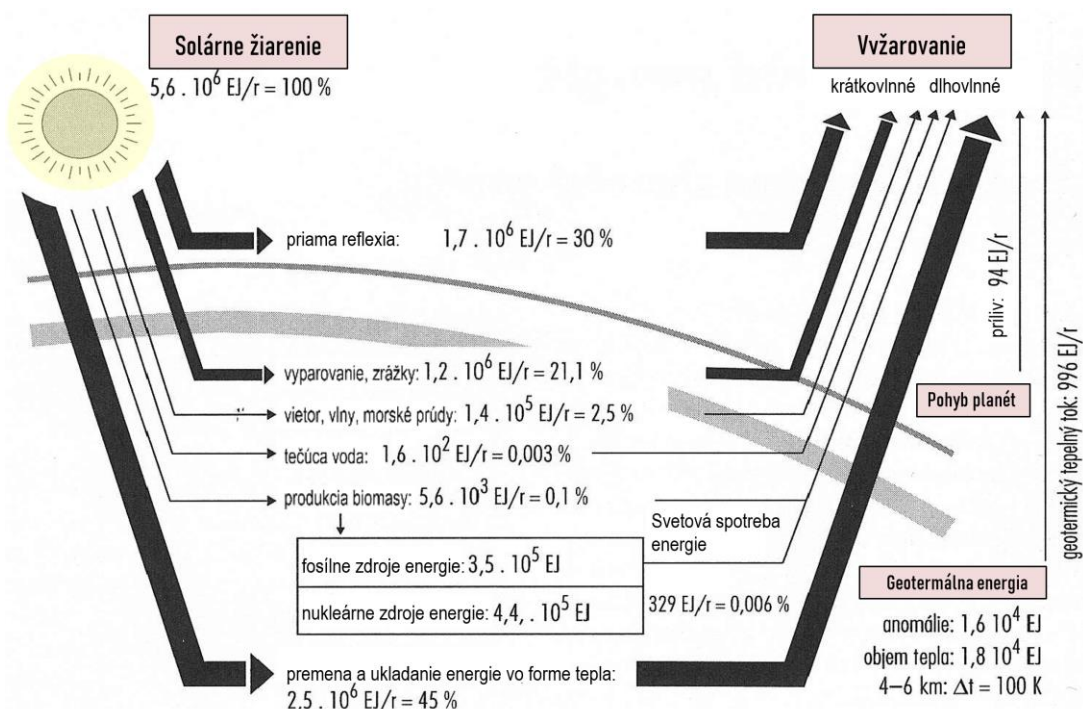
udržateľného rozvoja, čím sa stáva jedným z pilierov zdravého ekonomického vývoja spoločnosti (*Národný akčný plán pre obnoviteľné zdroje energie, 2010*).

Požadované takmer nulové množstvo energie by sa malo vo významnej miere pokryť energiou z obnoviteľných zdrojov, ktorá bude vyrobená priamo na mieste alebo v blízkosti budovy. Hlavný zákon, ktorý preberá záväzky zo smernice EP 2012/27/EU je zákon 555/2005 Zz o energetickej hospodárnosti budov. Čiastočné záväzky zo smernice sú zapracované v zákonoch č. 309/2009 Zz o podpore obnoviteľných zdrojov a vysokoúčinnnej kombinovanej výroby a č.657/2004 o tepelnej energetike a 321/2014 ZZ o energetickej efektívnosti. Vykonávacía vyhláška zákona č.555/2005 Zz je vyhláška 364/2012, ktorá určuje Technické a energetická parametre na hodnotenie energetickej hospodárnosti budov.

## 6.1 Energia slnečného žiarenia

Solárna energia predstavuje obnoviteľný zdroj energie, ktorý je bezpodmienečne nutný pre život na našej planéte. Slnko je hlavným zdrojom energie a tiež jeho činnosťou sa energie transformovali a trvale transformujú do iných foriem. Tieto formy energie sa využívajú ako pre samotný chod života, udržiavanie prijateľných podmienok na zemi, a tak pre fyzikálno-chemické procesy. Slnko je hviezda našej planetárnej sústavy. Je tvorené prevažne z atómov vodíka (70 %) s prímiesou hélia (28 %) a nepatrným množstvom iných prvkov. Má tvar gule s priemerom  $1,4 \cdot 10^6$  km. Vzdialenosť Zeme od Slnka sa pohybuje počas ročnej periódy od 147 do 152 miliónov kilometrov. Energia slnka má pôvod vo fúznej protón-neutrónovej reakcii. Reakcia prebieha pri teplotách až 14 miliónov °K, pričom na povrchu dosahuje teplotu cca 6 000 °K. Slnko má k dispozícii dostatok paliva na ešte cca 5 miliárd rokov, kým nastane zastavenie jadrovej reakcie súvisiace so zánikom hviezdy. Slnečná energia na zemský povrch dopadá vo forme slnečného žiarenia. Môžeme ho prirovnať k žiareniu absolútne čierneho telesa. Maximum žiarenia sa pohybuje okolo vlnovej dĺžky 0,5  $\mu$ m.

Obr. 6.1 Toky energie zo slnka na zem



Slnečná energia dopadajúca na zem je 11 000 krát väčšia ako je celosvetová potreba energie (Obr. 6.2).

Obr. 6.2 Porovnanie energie dopadajúcej na zemský povrch zo Slnka s celosvetovou potrebou energie za rok a zásobami fosílnych palív

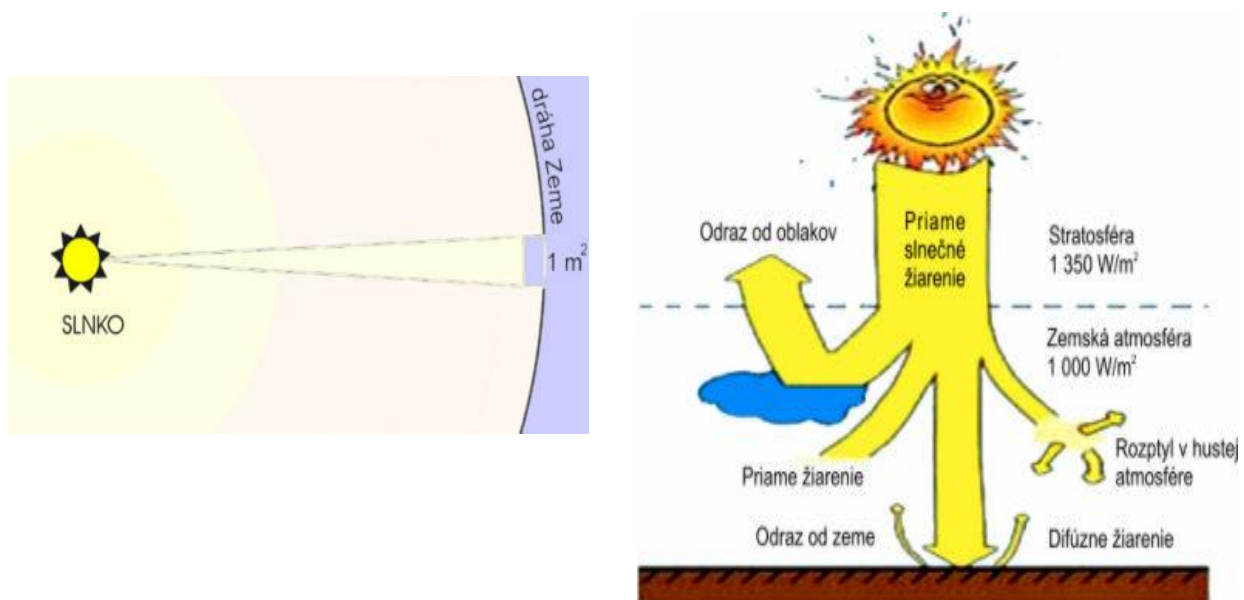


Zdroj: F. Vranay

Na hranicu zemskej atmosféry pri kolmom dopade slnečných lúčov dopadá približne  $1\,360\text{ W/m}^2$ . Tento údaj zvykneme označovať ako „**slnečná konštanta**“.

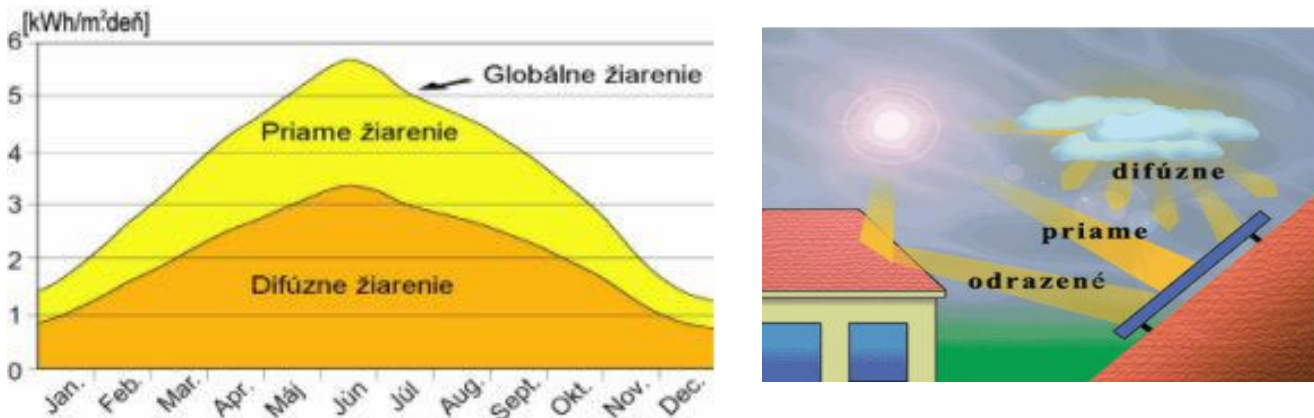
Slnečné žiarenie sa pri prechode zemskou atmosférou znižuje aj rozptylom v atmosfére. Žiarenie delíme na priamu zložku, difúznú a odrazenú. Súčet priamej a difúznej zložky voláme globálne žiarenie. V našich zemepisných šírkach toto žiarenie môže kolísať od  $100$  do  $1000\text{ W/m}^2$ . Pomer difúznej a priamej zložky je závislý od geografických a klimatických podmienok. Difúzne žiarenie tvorí v celoročnom priemere  $50 - 70\%$  z globálnej zložky. V zimných mesiacoch to činí až  $90\%$ -ný podiel. Toto určuje výhodnosť použitia kolektorov plochých pre nízko teplotné aplikácie oproti koncentrujúcim, ktoré využívajú iba priame žiarenie.

Obr. 6.3 Slnečné žiarenie dopadajúce na zemský povrch a prienik zemskou atmosférou

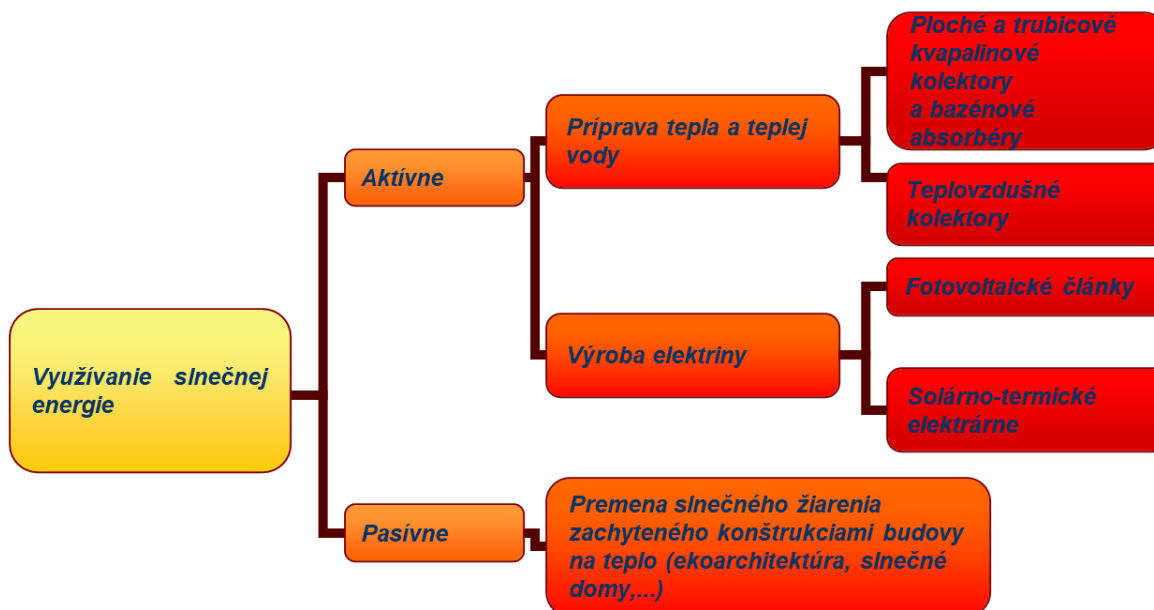


Využitie slnečného žiarenia je možné definovať ako konverziu energie a jeho rozdelenie je na obrázku 6.4.

Obr. 6.4 Podiel žiarenia priameho a globálneho počas roka v našich zemepisných šírkach



Obr. 6.5 Spôsoby využívania slnečnej energie



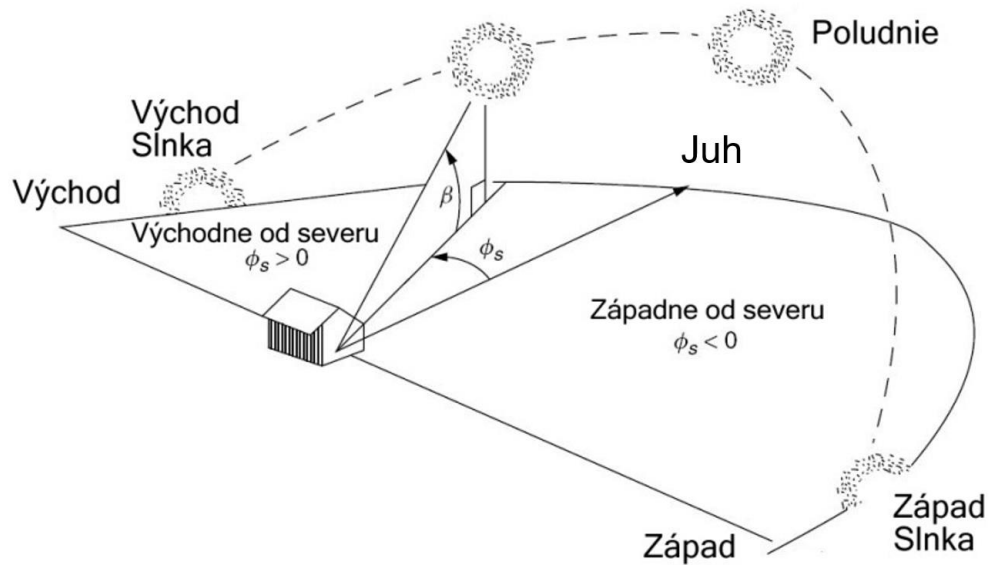
Zdroj: F. Vranay

### 6.1.1 Výpočet množstva slnečnej energie dopadajúcej na oslnenú plochu

#### Poloha Slnka v akýkoľvek čas počas dňa

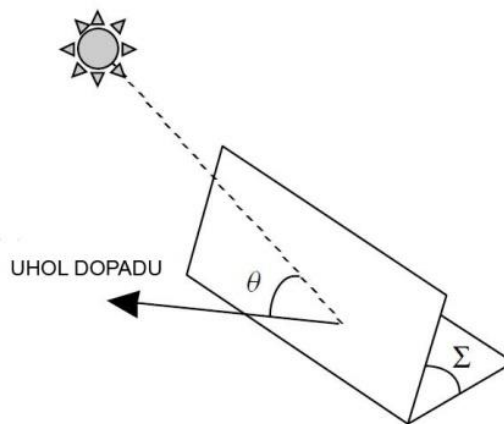
Poloha Slnka kedykoľvek počas dňa môže byť opísaná pomocou výškového uhla Slnka  $\beta$  a azimutu Slnka  $\theta_s$ . Azimut je pozitívny ráno so slnkom na východe a negatívny v popoludňajších hodinách so slnkom na západe. Pre množstvo dopadajúceho žiarenia na ľubovoľne orientovanú plochu je rozhodujúci uhol dopadu, ktorý zvierá slnečný lúč s danou plochou. Ideálny je pri kolmom dopade. Vzhľadom k zmene polohy slnka na obzore sa tento uhol mení počas dňa, ale aj počas roka.

Obr. 6.6 Uhol naklonenia slnečného modulu



Zdroj: F. Vranay

Obr. 6.7 Dopadajúce slnečné lúče na naklonenú plochu



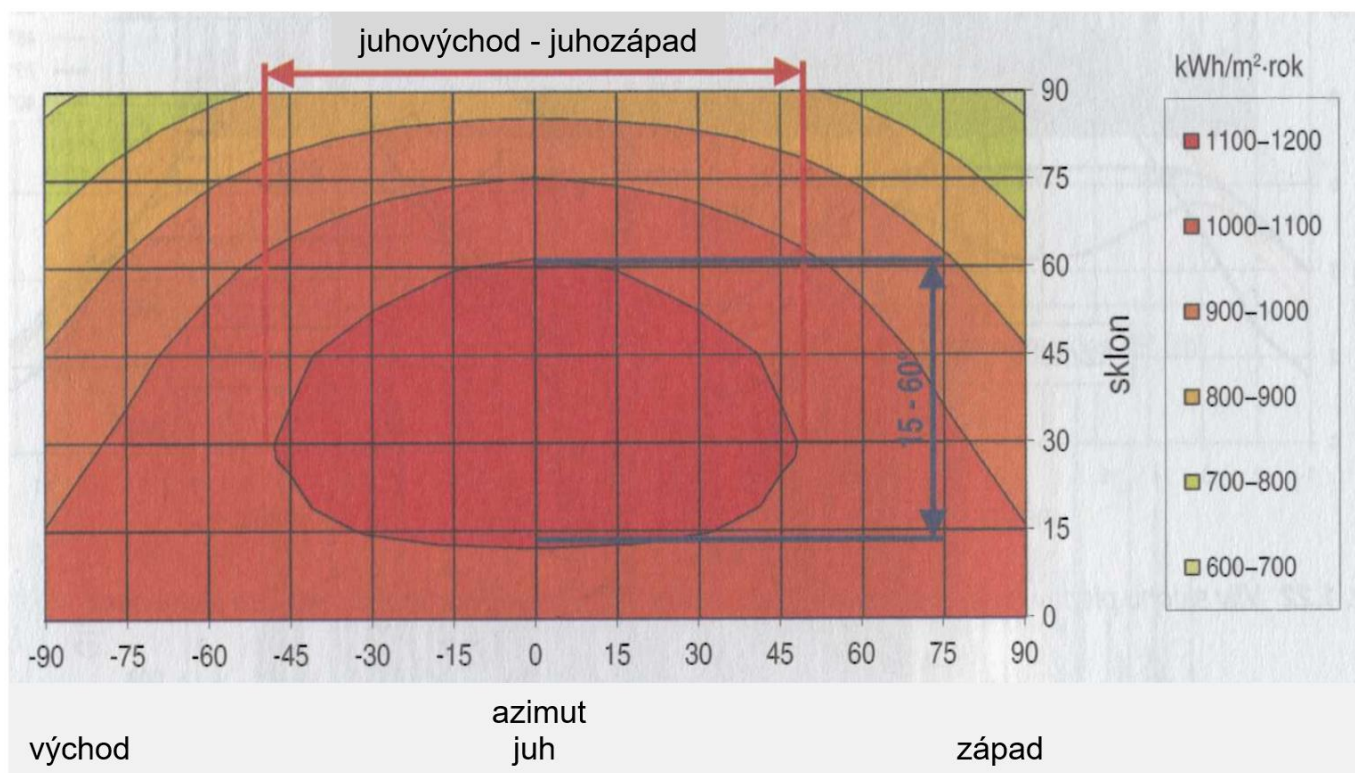
Zdroj: F. Vranay

Solárny kolektor je naklonený do uhla  $\Sigma$  a je nasmerovaný v smere jeho azimutového uhla  $\theta$  (merané vo vzťahu priamo k juhu, s kladnými hodnotami v juhovýchodnom smere a záporné hodnoty v juhozápadnom smere).

### Výpočet množstva slnečného žiarenia

Pre jednoduchosť určovania ročných úhrnov slnečného žiarenia vzhľadom ku komplikovaným matematickým výpočtom, uvádzame len grafické vyjadrenie závislosti dopadajúceho žiarenia na rovinu podľa orientácie a sklonu. Pre skutočne získanú energiu je treba zohľadniť ročné úhrny z tabuľky účinnosťou premeny v slnečnom kolektore. V ďalšej časti bude prezentovaný výpočet solárnych ziskov.

Obr. 6.8 Ročné úhrny energie slnečného žiarenia v závislosti na sklone a orientácii kolektora



#### Príklad výpočtu zachyteného slnečného žiarenia počas roka

Do samotného výpočtu zachyteného množstva dopadajúceho slnečného žiarenia  $Q_{zachyt}$  na oslnenú plochu vstupujú hodnoty na základe okrajových podmienok. Patria sem intenzita slnečného žiarenia  $I_{str}$ , teplota vzduchu  $t_v$ , pomerná doba slnečného svitu  $T_{skut}$ , teoretické množstvo dopadajúcej energie na oslnenú plochu  $Q_{s den teor}$ .

Úlohou výpočtu je zistiť na základe prevádzkových parametrov (teplôt vzduchu  $t_v$ , teplôt média v solárnom systéme  $t_k$ , druh a vlastnosti kolektora, orientácia, sklon, ...) účinnosť premeny energie v kolektore  $\eta_k$ . Pre uľahčenie výpočtu sú zásadné veličiny uvedené v tabuľkách, ktoré vznikli prepočtom z priemerných hodnôt, počas dlhoročného sledovania parametrov. Vzorový výpočet energetického zisku zo slnečného žiarenia pre celoročnú prevádzku je realizovaný na  $1\text{m}^2$  apertúry kolektorovej plochy v meste Košice a teplotu vody v systéme ( $t_k = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ). Pre porovnanie je kolektor bežný plochý selektívny (Obr.6.9) a kolektor trubicový vákuový (Obr.6.10).

Pre kolektory s inou plochou apertúry je možné získať presné hodnoty pre násobením zisku z tabuliek.

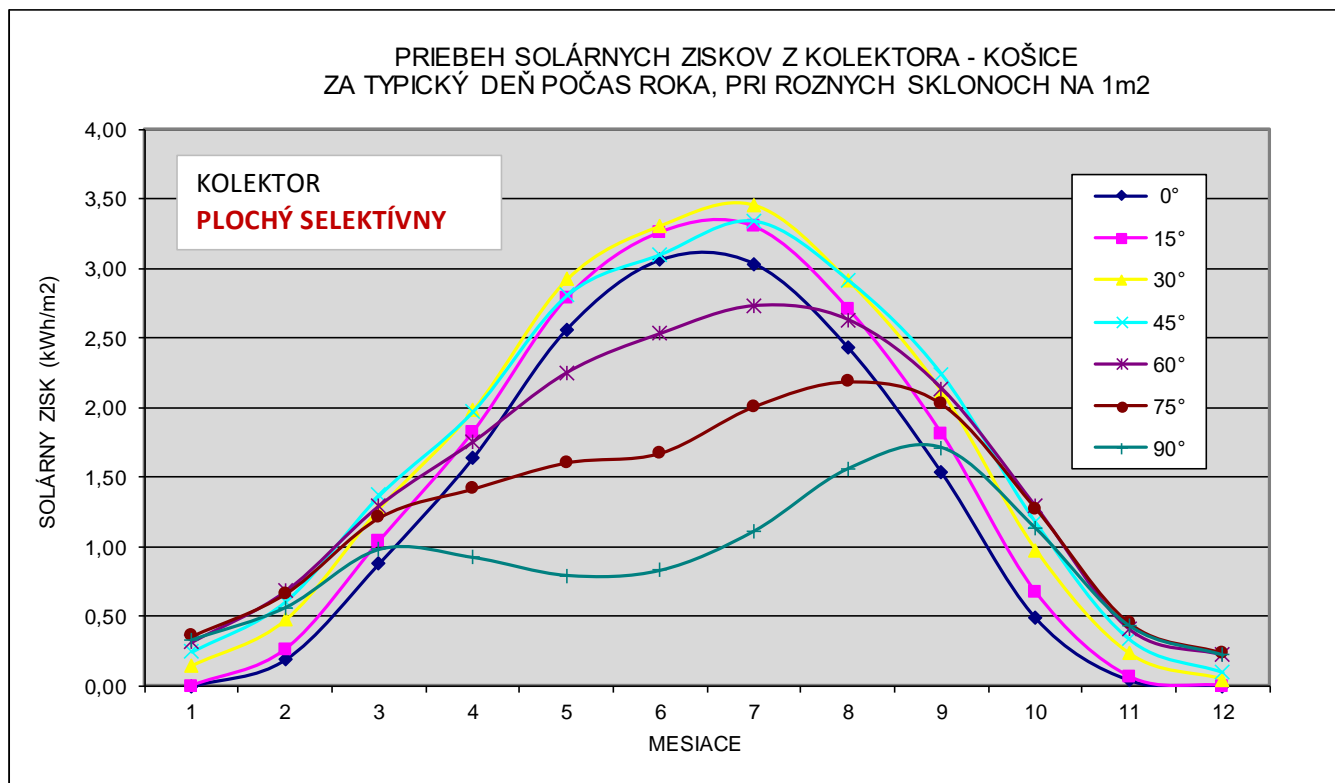
U plochého kolektora zisk činí  $618\text{ kWh/m}^2$  za rok (Obr. 6.9).

Kolektor trubicový vákuový generuje zisk  $740\text{ kWh/m}^2$  za rok (Obr. 6.10).

Obr. 6.9 Detail výpočtu v Exceli - Kolektor plochý selektívny orientovaný na JUH so sklonom 45°

**KOLEKTOR PLOCHÝ - SELEKTÍVNY**

Košice	teploty			$I_{str}$ 45°	$Q_s$ den teor 45°	$\tau_{skut}/\tau_{teor}$ den	$\tau_{teor}$ den	$\eta_k$ učinn.	za deň	za mesiac	
	mesiac	vzduch tv °C	kolektor tk °C						tk-tv °C	W/m2	kWh/m2
1	0,1	50	50	383	3,40	0,26	8,26	0,28	0,25	31	7,6
2	1,7	50	48,3	473	4,96	0,31	10,12	0,40	0,61	28	17,1
3	6,6	50	43,4	535	6,70	0,42	12,00	0,49	1,37	31	42,5
4	12,1	50	37,9	534	8,06	0,46	13,90	0,53	1,98	30	59,3
5	16,3	50	33,7	524	9,42	0,53	15,70	0,56	2,81	31	87,1
6	20,5	50	29,5	523	9,64	0,54	16,34	0,60	3,11	30	93,2
7	22,4	50	27,6	524	9,42	0,58	15,70	0,61	3,34	31	103,7
8	22,2	50	27,8	534	8,06	0,59	13,90	0,61	2,92	31	90,6
9	18,7	50	31,3	535	6,70	0,57	12,00	0,59	2,24	30	67,3
10	13,1	50	36,9	473	4,96	0,47	10,12	0,51	1,18	31	36,6
11	7,5	50	42,5	383	3,40	0,27	8,26	0,37	0,34	30	10,1
12	2,8	50	47,2	294	2,70	0,23	7,85	0,16	0,10	31	3,1
											<b>618,0</b>



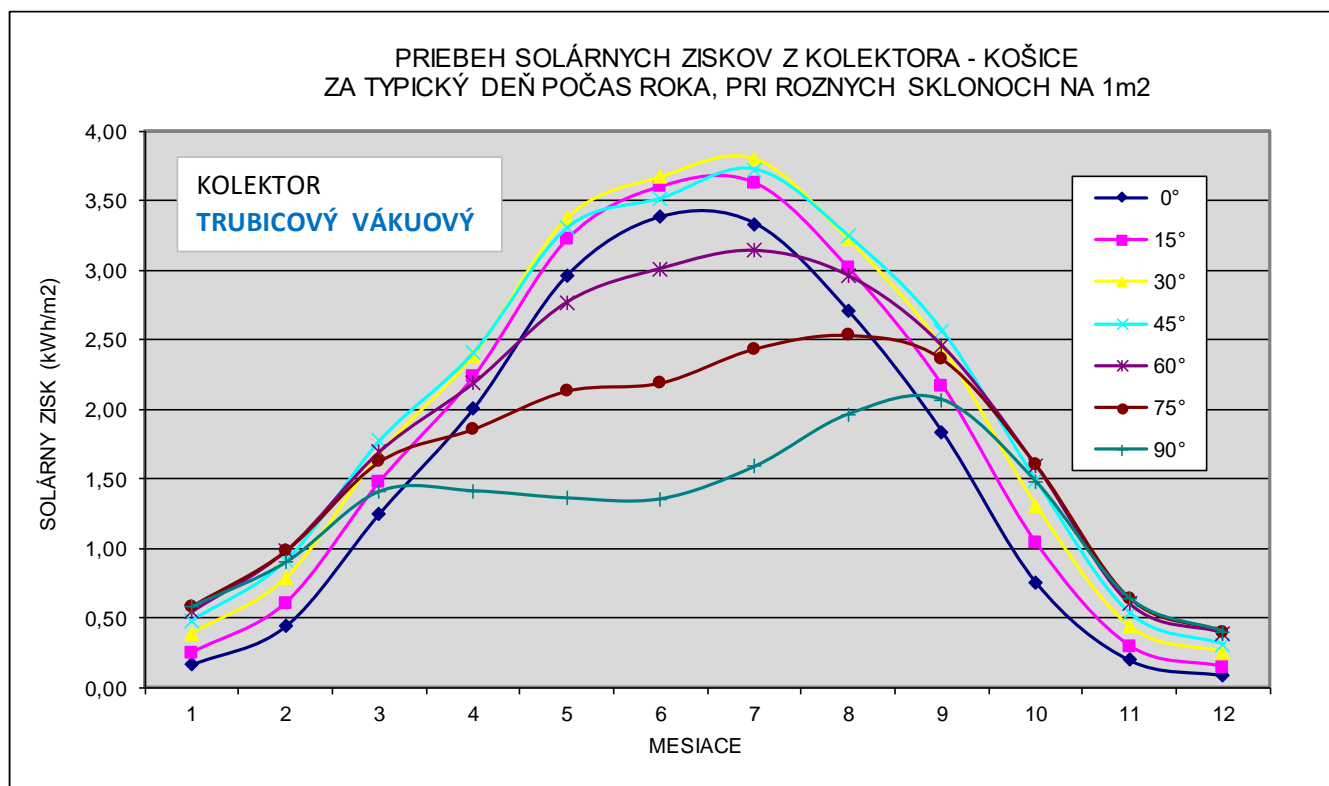
Zdroj: F. Vranay



Obr. 6.10 Detail výpočtu v Exceli - Kolektor trubicový vákuový orientovaný na JUH so sklonom 45°

### KOLEKTOR TRUBICOVÝ - VÁKUOVÝ

Košice	teploty			$I_{str}$ 45° W/m <sup>2</sup>	$Q_{s\ den\ teor}$ 45° kWh/m <sup>2</sup>	$\tau_{skut}/\tau_{teor}$ den %	$\tau_{teor}$ den hod	$\eta_k$ učinn. %	za deň	za mesiac		
	mesiac	vzduch	kolektor						tk-tv	Q zachyt	PD	Q zachyt
	-	tv °C	tk °C						°C	W/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	den
1	0,1	50	50	383	3,40	0,26	8,26	0,55	0,48	31	14,9	
2	1,7	50	48,3	473	4,96	0,31	10,12	0,59	0,91	28	25,5	
3	6,6	50	43,4	535	6,70	0,42	12,00	0,63	1,77	31	54,9	
4	12,1	50	37,9	534	8,06	0,46	13,90	0,65	2,41	30	72,2	
5	16,3	50	33,7	524	9,42	0,53	15,70	0,66	3,30	31	102,3	
6	20,5	50	29,5	523	9,64	0,54	16,34	0,68	3,51	30	105,4	
7	22,4	50	27,6	524	9,42	0,58	15,70	0,68	3,72	31	115,4	
8	22,2	50	27,8	534	8,06	0,59	13,90	0,68	3,24	31	100,6	
9	18,7	50	31,3	535	6,70	0,57	12,00	0,67	2,56	30	76,9	
10	13,1	50	36,9	473	4,96	0,47	10,12	0,64	1,49	31	46,1	
11	7,5	50	42,5	383	3,40	0,27	8,26	0,58	0,53	30	16,0	
12	2,8	50	47,2	294	2,70	0,23	7,85	0,50	0,31	31	9,6	
											<b>740,0</b>	



Zdroj: F. Vranay

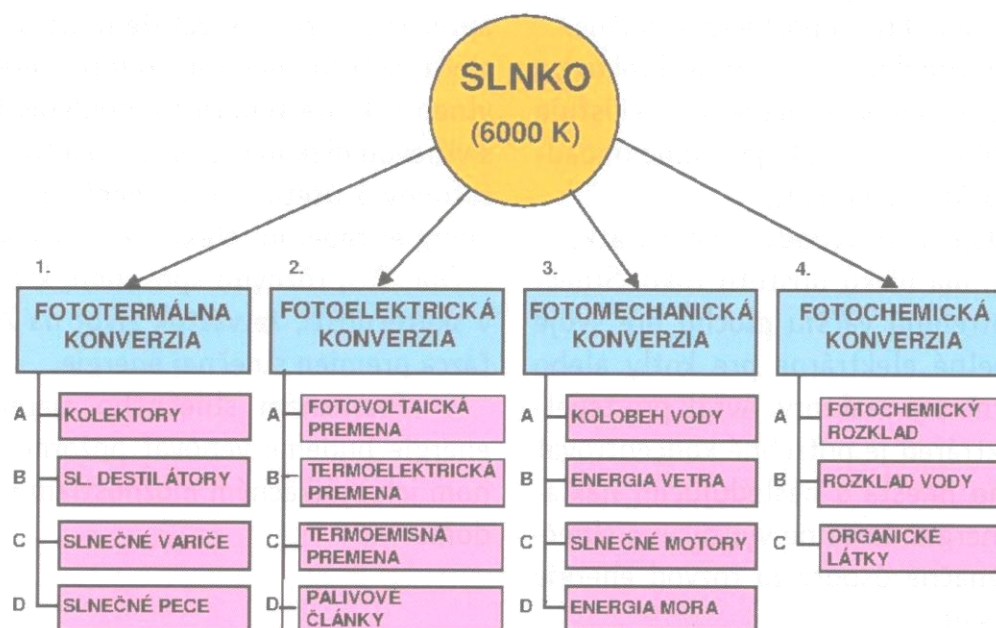
## 6.2 Premena slnečného žiarenia

Energia vyžarovaná zo slnka sa využíva rôznymi spôsobmi. Spôsoby premeny sú uvedené na Obr. 6.11.

Najpodstatnejšie pre energetické využitie sú:

- Premena fototermálna = premena žiarenia na tepelné žiarenie pomocou kolektorov a iných zariadení
- Premena fotoelektrická = premena vo fotovoltaických paneloch na elektrickú energiu
- Premena fotomechanická = deje sa pôsobením prírody
- Premena fotochemická = deje sa pôsobením prírody

Obr. 6.11 Schéma štruktúry premeny slnečnej energie na iné formy energie



**Fototermálna konverzia** je založená na odoberaní tepelnej zložky slnečného žiarenia. Je to najjednoduchší spôsob premeny.

Deje sa v zariadeniach:

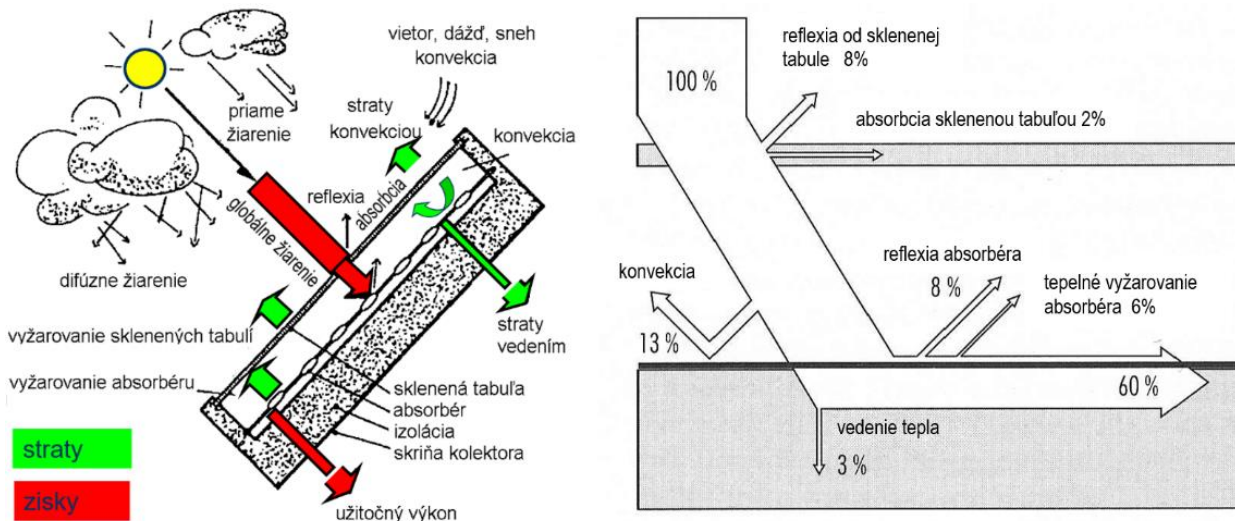
- slnečné teplovodné kolektory
- ploché slnečné kolektory
- koncentračné kolektory
- slnečné destilátory
- slnečné variče
- slnečné pece

### 6.2.1 Slnečné kolektory

Solárny kolektor je zariadenie určené na pohltie slnečného žiarenia a jeho premenu na tepelnú energiu. Energia získaná sa odovzdáva do média pretekajúceho kolektorom. Tento spôsob je najjednoduchšou cestou, pri ktorej sa slnečné žiarenie absorbuje na povrchu tuhých látok a kvapalín, kde sa pohyb fotónov slnečného žiarenia premieňa na teplo (pohyb molekúl). Z absorbovateľného povrchu sa tepelná energia odvádza teplotnými látkami (voda, nemrznúca

zmes, vzduch, ...). Pre zníženie tepelných strát je systém kolektora z prednej strany prikrytý zasklením s vhodnými vlastnosťami z hľadiska prepúšťania slnečného žiarenia. Zadná a bočné strany sú opatrené tepelnou izoláciou minimalizujúcou tepelné straty. Všetky prvky sú osadené v ráme a tvoria solárny kolektor.

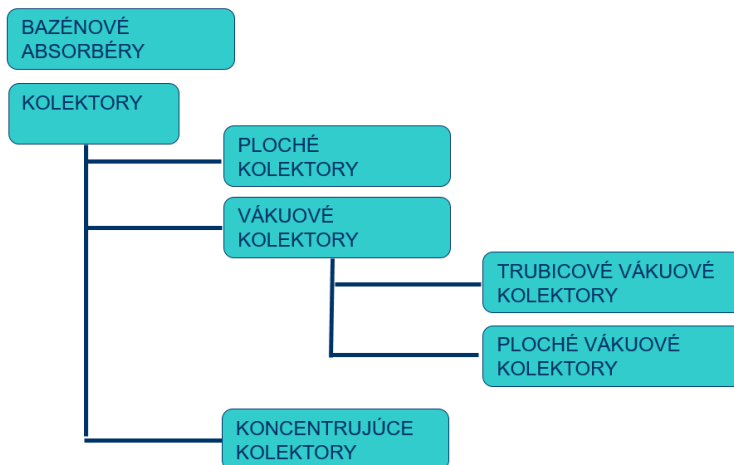
Obr. 6.12 Funkcia a konštrukcia plochého selektívneho kolektora a jeho energetická bilancia



Poznámka: Čierna doska vo vnútri = absorbér (absorbuje, pohlcuje žiarenie). Na povrchu sa žiarenie priame aj difúzne mení na teplo. Absorbér odovzdáva teplo do rúriek s kvapalinou (podmienka dobrá tepelná vodivosť = meď, hliník, ...).

Zdroj: F. Vranay

Obr. 6.13 Rozdelenie solárnych kolektorov

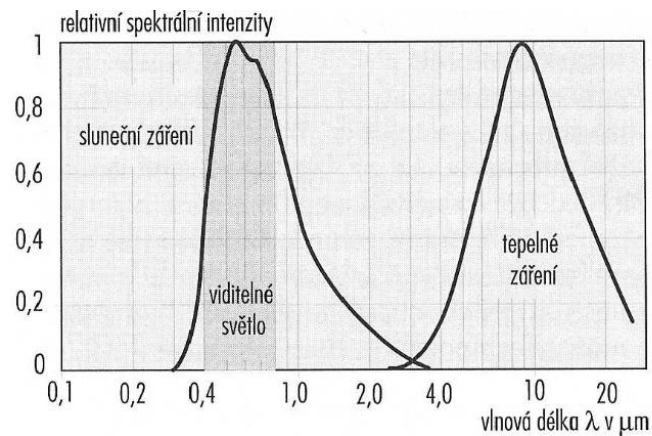


Zdroj: F. Vranay

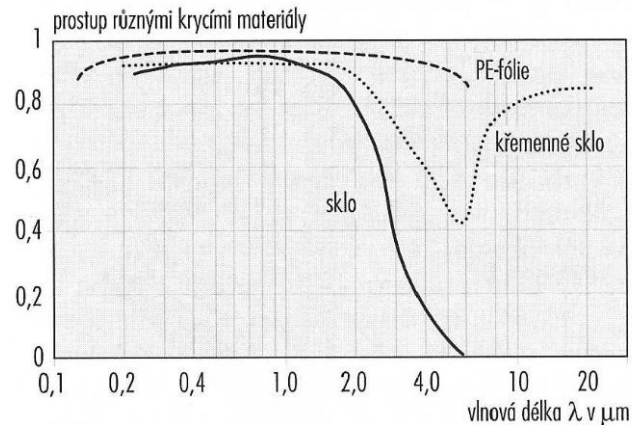
Veličiny vplývajúce na účinnosť slnečného kolektora

- **Vlastnosti krycieho skla** - Prechod žiarenia podľa vlnovej dĺžky pre rôzne druhy materiálov: slnečné žiarenie do kolektora sklo prepúšťa a tepelné žiarenie z kolektora von neprepúšťa.

Obr. 6.14 Relatívne spektrálne rozdelenie solárneho žiarenia (povrchová teplota slnka cca 6000 °C, a teplota absorbéra cca 70 °C)

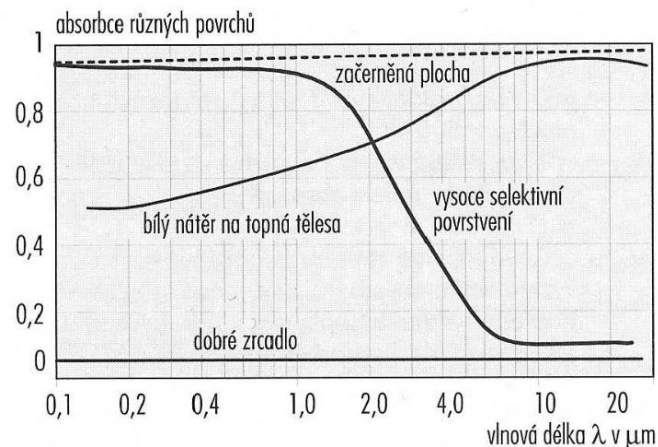


Obr. 6.15 Prechod žiarenia podľa vlnovej dĺžky pre rôzne druhy materiálov: slnečné žiarenie 0,4 – 1 μm do kolektora sklo prepúšťa a tepelné žiarenie 4-20 μm z kolektora neprepúšťa



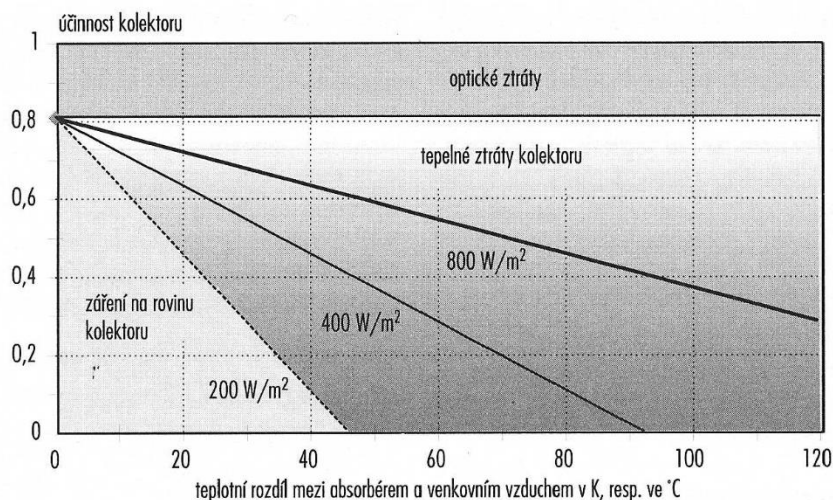
- **Vlastnosti absorbéra** - Slnečné žiarenie pohlcuje, tepelné žiarenie emituje minimálne (vysoko selektívny povlak).

Obr. 6.16 Absorbpcia rôznych povlakov absorbéra: Slnečné žiarenie pohlcuje, tepelné žiarenie emituje minimálne (vysoko selektívny povlak)



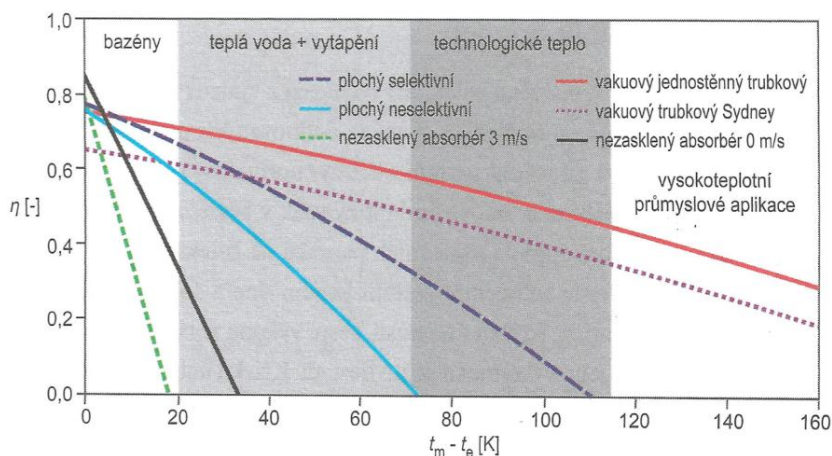
- **Tepelnoizolačné vlastnosti kolektora** - vplyv na tepelné straty kolektora.
- **Prevádzková teplota v slnečných kolektoroch** - účinnosť kolektora ako funkcia rozdielu teplôt medzi absorbérom a okolím pri slnečnom žiarení. Straty nevyužitého žiarenia (optické straty) a tepelné straty spôsobené teplotou sa násobia.
- **Charakteristika kolektora** - plochý kolektor a vákuový kolektor. Vákuový kolektor sa javí výhodnejší hlavne pri vyšších rozdieloch teplôt medzi absorbérom a vzduchom.
- **Vplyv uhla dopadu slnečného žiarenia** – sklon kolektora, azimut kolektora.

Obr. 6.17 Účinnosť kolektora ako funkcia rozdielu teplôt medzi absorbérom a okolím pri slnečnom žiarení 800, 400 a 200 W/m<sup>2</sup>



Poznámka: Straty nevyužitého žiarenia (optické straty) a tepelné straty spôsobené teplotou sa násobia

Obr. 6.18 Charakteristiky rôznych konštrukcií kolektorov



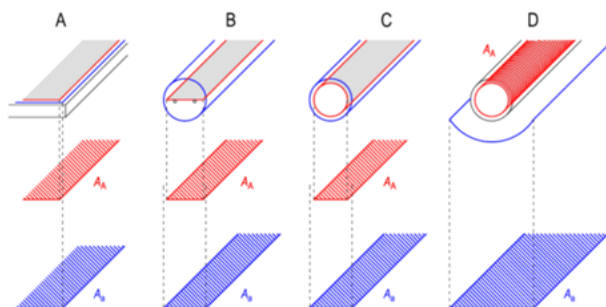
ORIENTAČNÉ HODNOTY STAGNAČNEJ TEPLoty SOLÁRNYCH KOLEKTOROV

TYP KOLEKTORA	$t_{stg}$ (°C)
NEZASKLENÝ KOLEKTOR	65
ZASKLENÝ NESELEKTÍVNY KOLEKTOR	100
ZASKLENÝ SELEKTÍVNY KOLEKTOR	180
RÚROVÝ JODNOSTENNÝ VÁKUOVÝ KOLEKTOR	300
RÚROVÝ VÁKUOVÝ SYDNEY KOLEKTOR	250

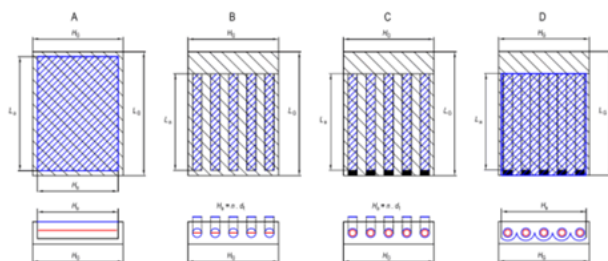
Poznámka:  $t_{stg}$  = stagnačná teplota kolektora pri ktorej zisk kolektora = jeho tepelným stratám (pri chode naprázdno, bez odberu)

## Definovanie plochy kolektora

Obr. 6.19 Definícia plochy apertúry a obrysovej plochy solárnych kolektorov



Definícia plochy apertúry a absorbérú solárnych kolektorov



### Vzťahné plochy kolektorov

#### AA - Plocha absorbéra

plocha kde dochádza k premene slnečného žiarenia na teplo

#### Aa – plocha apertúry

plocha priemetu otvoru ktorým vstupuje do kolektora slnečné žiarenie

#### AG – celková obrysová (hrubá) plocha

plocha priemetu celkového obrysu solárneho kolektora

### Typy slnečných kolektorov

A – plochý kolektor

B – rúrový kolektor s plochým absorbéróm

C – rúrový kolektor s valcovým absorbéróm

D – rúrový kolektor s valcovým absorbéróm a reflektoróm

## Slnečné kolektory – PLOCHÉ KVAPALINOVÉ

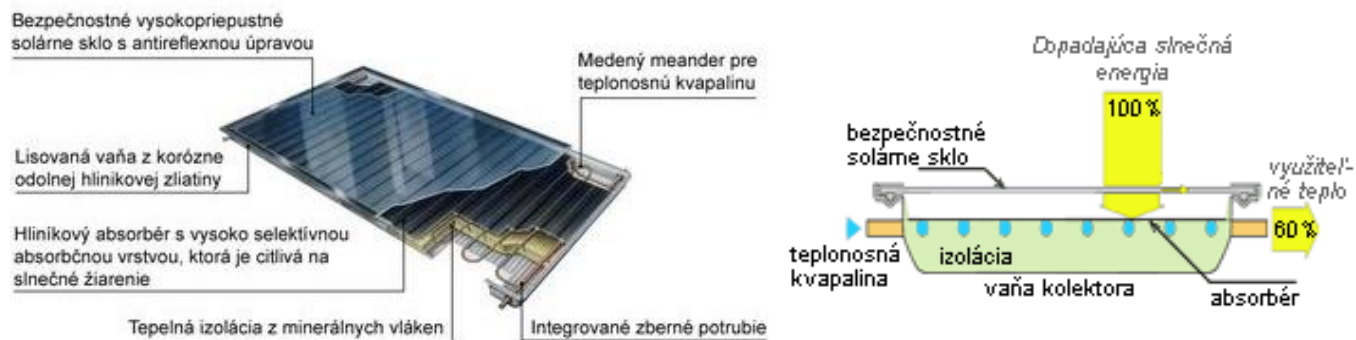
Materiál absorbéra:

- medený, alebo hliníkový plech so solárnym lakom, alebo selektívnou povrchovou vrstvou,
- krycie sklo chudobné na železo, odolné voči krupobitiu.

Použitie:

- ohrev teplej vody,
- ohrev bazénovej vody,
- podpora vykurovania.

Obr. 6.20 Ploché kolektory kvapalinové



## Slné kolektory – BAZÉNOVÉ ABSORBÉRY

Materiál absorbéra:

- výlisok z čierneho plastu,
- pryž alebo kombinácia plastu a textilu.

Výhody:

- nízka cena,
- jednoduchá montáž.

Použitie:

- vhodné iba na sezónny ohrev bazénovej vody, ktorá preteká priamo cez absorbér.
- teplota bazénovej vody je často v lete nižšia ako teplota vzduchu = zdrojom tepla je aj okolitý vzduch, čo im zaisťuje vysokú účinnosť.

Absorpčná plocha má byť 50-100 % z povrchovej plochy bazéna.

Obr. 6.21 Bazénové absorbéry



## Slné kolektory – PLOCHÉ TEPLOVZDUŠNÉ

Materiál absorbéra:

- medený, alebo hliníkový plech so solárnym lakom, alebo selektívnou povrchovou vrstvou,
- krycie sklo chudobné na železo, odolné voči krupobitiu.

Použitie:

- ohrev vzduchu na vykurovanie,
- ohrev vzduchu na sušenie v priemysle a poľnohospodárstve.

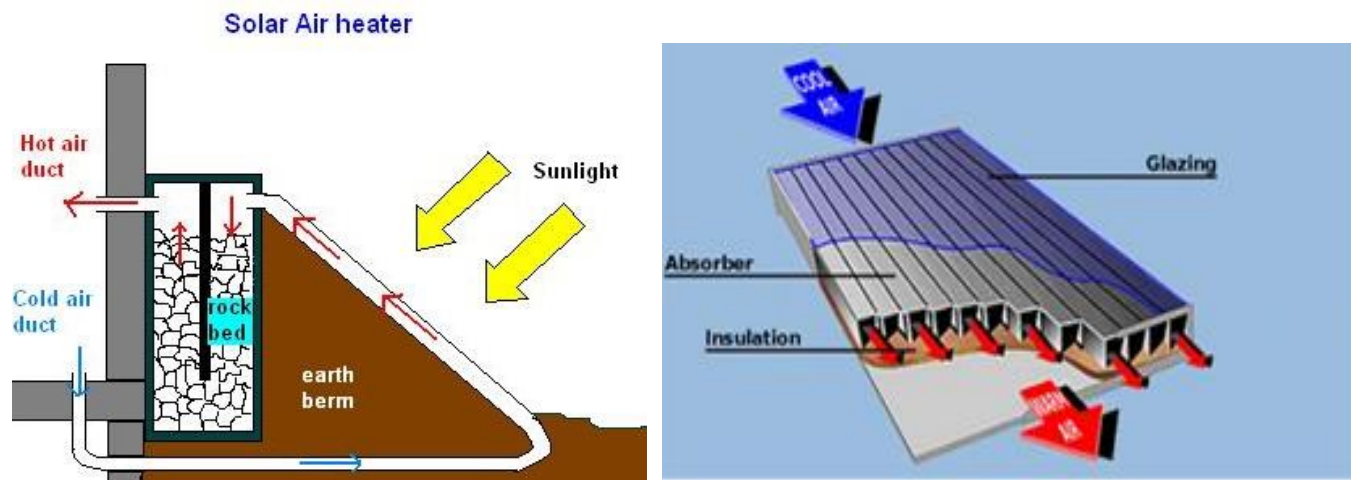
Výhody:

- nezávislosť na nosnom médiu,
- nezamŕza v zimnom období,
- prehriatie systému bez následkov.

Nevýhody:

- veľká potrebná plocha kolektorov,
- vysoké nároky na ventilačný systém,
- ťažkosti so skladovaním získanej energie.

Obr. 6.22 Ploché kolektory vzduchové



### Slné kolektory – VÁKUOVÉ

Prevedenie:

- absorpčná plocha je priamo vo vákuu,
- absorbér umiestnený v trubici v atmosfére, ale trubica je vo vákuu,
- teplo je odvádzané prostredníctvom teplonosnej látky.

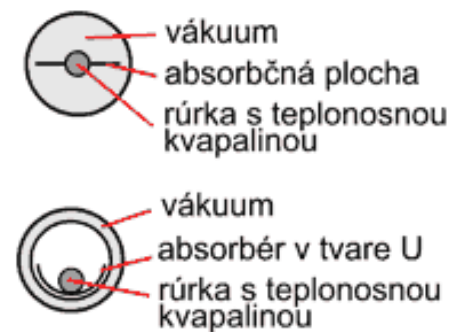
Výhody:

- zamedzenie tepelným stratám medzi absorbérom a vonkajším vzduchom.

Použitie:

- ohrev teplej vody,
- ohrev bazénovej vody,
- podpora vykurovania.

Obr. 6.23 Slné kolektory vákuové



Zdroj: F. Vranay



## Delenie podľa typu teplonosnej látky

### Kolektory s priamym prúdením

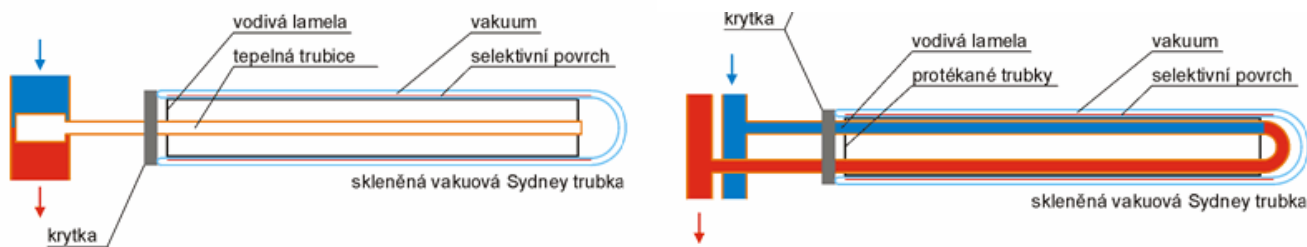
Teplonosné médium preteká od rozdeľovača ku koncu rúry, odoberá teplo absorbéra, ktorý sa nachádza vo vákuu a tečie opäť do zberača. Ich prednosťou je, že nie je potrebný ani minimálny sklon kolektorov. Cirkulácia je vynútená čerpadlom.

### Kolektory na princípe tepelnej trubice (heat pipe)

V rúre sa nachádza kvapalina, väčšinou alkohol, ktorá sa odparuje pri nízkej teplote. Táto para stúpa v rúre až na horný koniec, na ktorom je umiestnený malý výmenník tepla. Tu para kondenzuje a odovzdáva svoje teplo nepriamo teplonosnému médiu. Odtekajúca kvapalina sa opäť zohrieva, vyparuje a kolobeh začína od začiatku. Aby tento kolobeh fungoval, kolektor musí mať sklon minimálne 30 °.

Prednosťou tohto je, že kolektor sa nikdy neprehreje - pretože po úplnom vyparení sa kvapaliny (teda keď sa neuskutočňuje odber tepla) sa kolobeh zastaví.

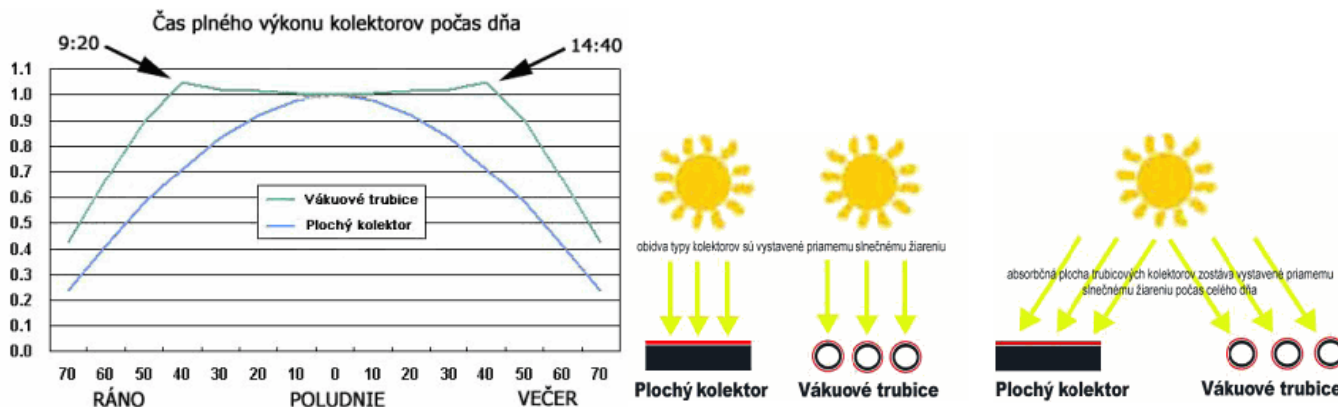
Obr. 6.24 Slnéčné kolektory vákuové s priamym prúdením a na princípe tepelnej trubice



### Vplyv zmeny uhla dopadu na kolektor

Povrch absorbéra kolektora je parabolický. Nedosahuje najvyšší výkon pri 0 °, ale okolo 40 °. V tomto prípade sa totiž využíva efekt odrazu svetla od jednotlivých trubíc vedľa seba. Absorbér trubice pracuje vo vysokom výkone prakticky po celý čas slnečného svitu (aj 8 hodín), kedy naň dopadajú slnečné lúče kolmo.

Obr. 6.25 Vplyv zmeny uhla dopadu na výkon kolektora



### Porovnanie plochých kolektorov a vákuových

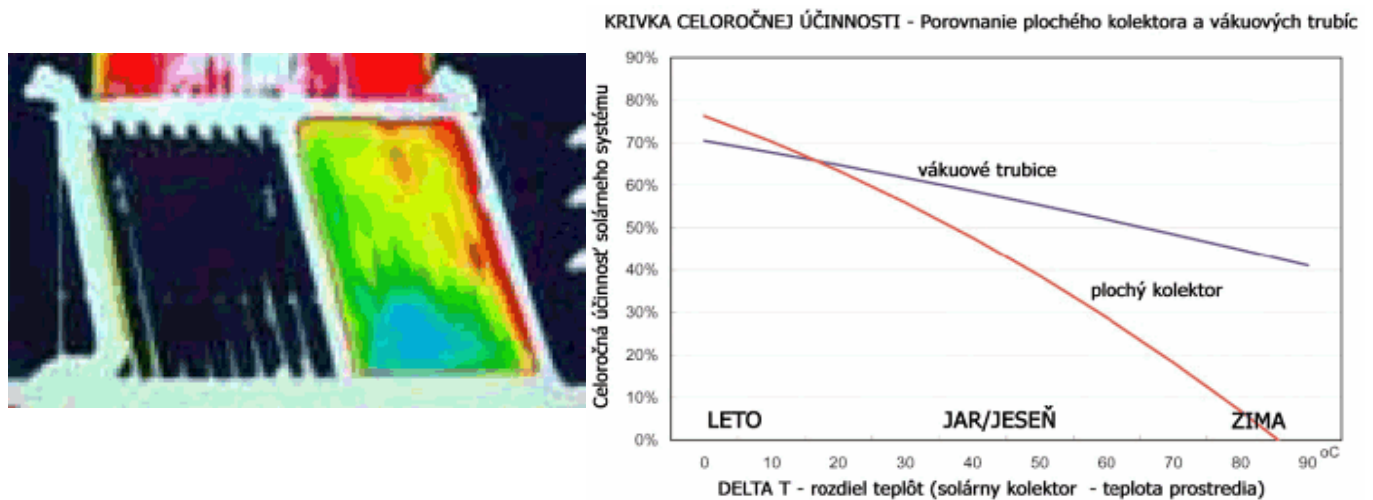
Porovnanie tepelnoizolačných vlastností:

Skutočné vákuum v solárnych vákuových trubiciach tepelno-izolačne vysoko prevyšuje tepelno-izolačné vlastnosti bežných plochých kolektorov.

Porovnanie celoročných tepelných ziskov:

Skutočné vákuum v solárnych vákuových trubiciach tepelno-izolačne vysoko prevyšuje tepelno-izolačné vlastnosti bežných plochých kolektorov.

Obr. 6.26 Porovnanie kolektorov (plochý a vákuový) - termovízne a grafické



### Aplikácie kolektorov pre budovy na bývanie

Obr. 6.27 Porovnanie aplikácie kolektorov: a) na streche, b) súčasť strešnej krytiny, c) na konštrukcii



Zdroj: F. Vranay

## 6.2.2 Systémy so slnečnými kolektormi

Rozdelenie slnečných systémov s kolektormi

Podľa spôsobu odovzdávania energie:

- S priamym odovzdávaním tepla
- Do zásobníka s akumuláciou
- Do kvapaliny
- Do tuhej hmoty (náplň z kameniva u vzduchových kolektorov)
- Do látky so zmenou skupenstva

Podľa teplotnej látky :

- Vodné systémy
- Vzduchové systémy

Podľa časového využitia:

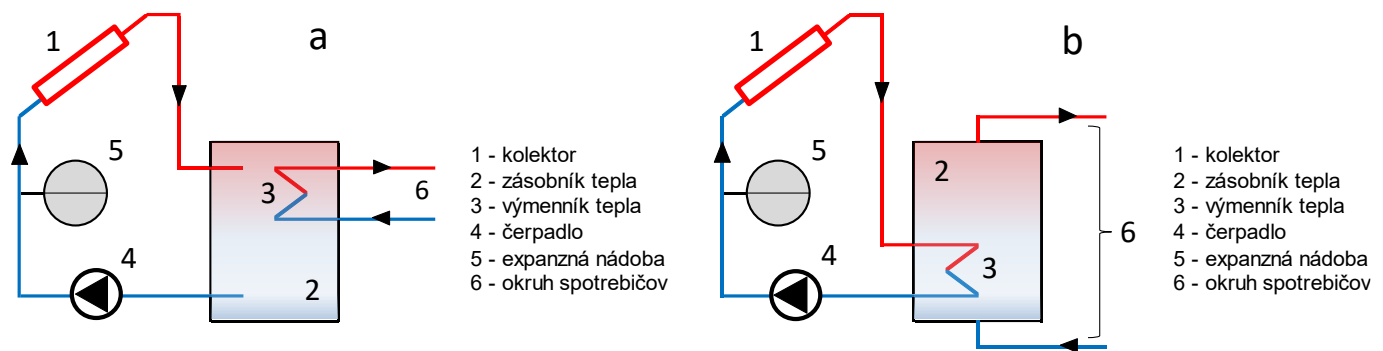
- Sezónny ohrev vody
- Sezónny ohrev bazénovej vody
- Pre celoročný ohrev teplej vody
- Pre podporu vykurovania s krátkodobou akumuláciou tepla
- Pre podporu vykurovania s dlhodobou akumuláciou tepla

### Použitie slnečných systémov s kvapalinovými kolektormi

Podľa spôsobu odovzdávania energie do akumulačnej nádrže:

- Otvorený kolektorový okruh bez výmenníka  
V kolektore v rúrkach a zásobníku prúdi kvapalina (voda).
  - Výhody:
    - nie je potrebná drahá nemrznúca zmes.
  - Nevýhody:
    - nemožné využívať v zimných mesiacoch, je nutné systém vypustiť, čím sa chráni pred zamrznutím.
- Uzavretý kolektorový okruh (povrchovým výmenníkom)  
V kolektore v rúrkach a výmenníku prúdi nemrznúca zmes (solaren, glykol, ...).
  - Výhody:
    - možná celoročná prevádzka.
  - Nevýhody:
    - dodatočné náklady za nemrznúcu zmes,
    - nemrznúca zmes má nižšie merné teplo ako voda, takže nie je schopná transportovať v rovnakom objeme také množstvo tepla,
    - hustota nemrznúcej zmesi je vyššia ako u vody, preto je nutná väčšia čerpacia práca,
    - postupná degradácia nemrznúcej zmesi (životnosť kvapaliny cca 5 rokov), kvôli zníženiu nákladov za nemrznúcu zmes je oddelená od ostatnej kvapaliny výmenníkom, čím sa minimalizuje jej objem, nakoľko sa nenachádza v objeme zásobníka.

Obr. 6.28 Otvorený (a) a uzatvorený (b) kolektorový okruh



Zdroj: F. Vranay

### Podľa spôsobu cirkulácie kvapaliny v okruhu kolektorov:

#### ▪ Prírodná cirkulácia (samotiažou)

Kolektor je pod úrovňou akumuláčnej nádrže

##### - Výhody:

- na cirkuláciu nie je potrebné čerpadlo,
- pri oslnení kolektora sa voda v kolektore zohrieva, čím sa znižuje jej objemová hmotnosť. To spôsobuje samotiažový efekt, ktorý teplú vodu vytlača do zásobníka a ťažšiu studenú tlačí do kolektora. Čím je oslnenie intenzívnejšie, nastáva väčší teplotný rozdiel a následne intenzívnejšia cirkulácia. Ak slnko neožaruje kolektor, voda v ňom vychladne a cirkulácia sa automaticky zastaví,
- bezporuchová prevádzka,
- nie je potrebná elektronická regulácia.

##### - Nevýhody:

- poloha zásobníka musí byť vyššie ako kolektory, čo je niekedy problém zabezpečiť,
- zásobník s vodným objemom má vysokú hmotnosť, čo spôsobuje problémy so statikou a spôsobom umiestnenia nádrže,
- pre správnu funkciu samotiaže je nutné použiť potrubia s väčšími dimenziami.

#### ▪ Nútená cirkulácia (čerpadlom)

Poloha kolektorov a nádrží je ľubovoľná, cirkuláciu zabezpečuje obehové čerpadlo.

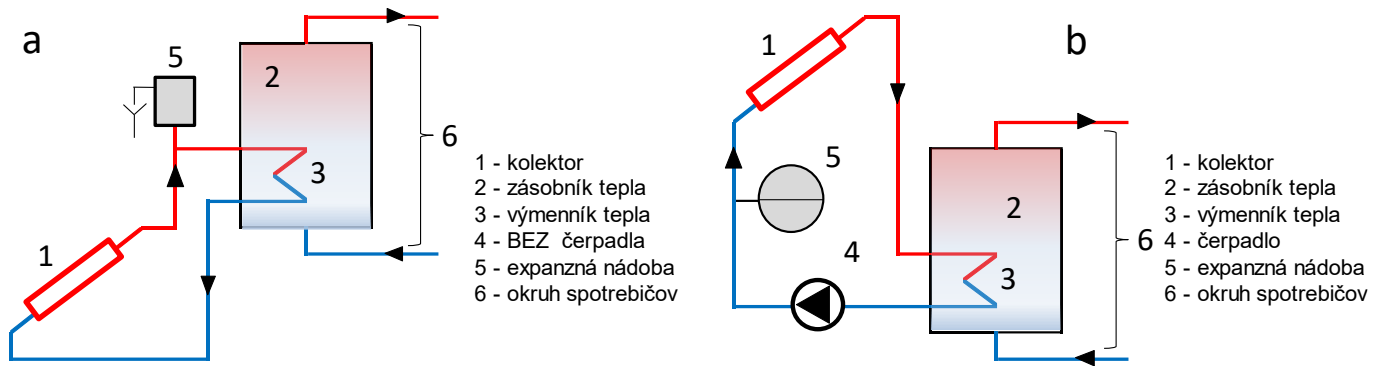
##### - Výhody:

- vzhľadom k použitiu obehového čerpadla je možné použiť potrubia menšej dimenzie (spravidla kvôli agresívnej nemrznúcej zmesi sa používajú drahšie medené potrubia).

##### - Nevýhody:

- potreba obehového čerpadla a elektrickej energie na prevádzku,
- nutná elektronická regulácia spínania systému,
- možná poruchovosť systému.

Obr. 6.29 Kolektorový okruh s prirodzenou cirkuláciou (a) a s nútenou cirkuláciou (b)



Zdroj: F. Vranay

Podľa celkovej koncepcie ohrevu je systém:

- Monovalentný (jediný zdroj sú slnečné kolektory)

- Výhody:
  - jediný zdroj, lacný systém,
  - jednoduchá regulácia.
- Nevýhody:
  - nestabilná dodávka energie v prípade solárneho systému.

- Kombinovaný bivalentný (dva zdroje)

Bez ohľadu na to, ktorý je hlavný zdroj (dodáva viac energie do systému), je podstatné umiestnenie pripojenia zdrojov do zásobníka. Odber tepla kvôli vrstveniu teploty vody v zásobníku je z hornej časti, kde je voda najteplejšia. Zásada je pripájať prevádzkovo najlacnejší zdroj na spodnú časť (solár), kde je voda najchladnejšia, a tým sa zvyšuje účinnosť výroby tepla v solárnom systéme. Ak solár nepostačuje, ohrieva sa len horná časť zásobníka bivalentným zdrojom (tepelné čerpadlo, kotol, elektrická špirála, ...).

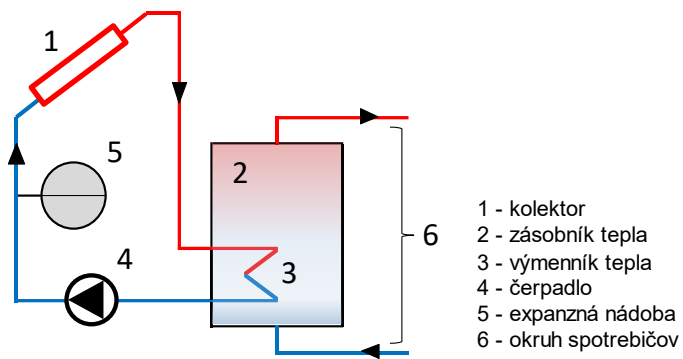
- Výhody:
  - maximálne využitie lacného zdroja solárneho systému,
  - chýbajúca energia sa dopĺňa z bivalentného zdroja.
- Nevýhody:
  - nároky na reguláciu.

- Kombinovaný trivalentný (tri zdroje)

Platia rovnaké zásady pripojenia podľa prevádzkových nákladov na výrobu tepla. Prevádzkovo najlacnejší je solár pripojený dole, vyššie napr. tepelné čerpadlo, a najvyššie kotol, alebo elektrická špirála.

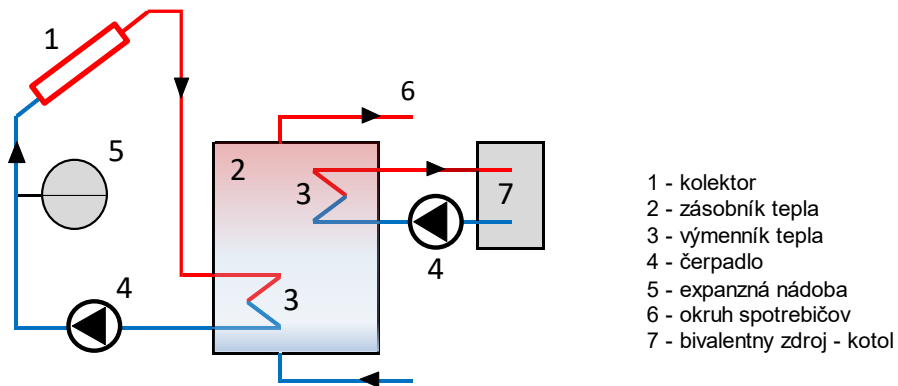
- Výhody:
  - maximálne využitie lacného zdroja solárneho systému,
  - chýbajúca energia sa dopĺňa z ďalších zdrojov,
  - pripájanie zdrojov podľa aktuálnej výhodnosti.
- Nevýhody:
  - nároky na reguláciu,
  - náklady na realizáciu.

Obr. 6.30 Monovalentný systém



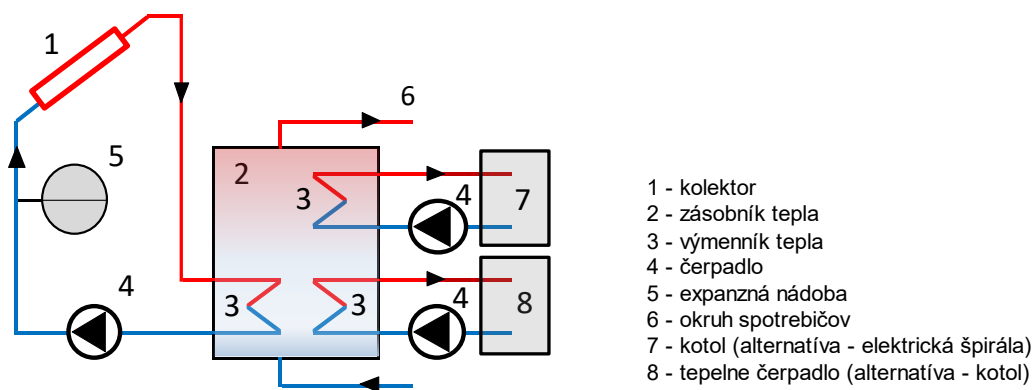
Zdroj: F. Vranay

Obr. 6.31 Bivalentný systém



Zdroj: F. Vranay

Obr. 6.32 Trivalentný systém



Zdroj: F. Vranay

Obr. 6.33 Hlavné prvky systému solárnych kolektorov (a – kolektor, b-výmenník tepla, c-čerpadlo, d-expanzná nádoba, e-zásobník)



Zdroj: F. Vranay

### Použitie slnečných systémov s kvapalinovými kolektormi

#### Solárny systém na prípravu teplej vody

Solárny systém je vhodný na prípravu teplej vody hlavne v letných mesiacoch, kedy je vysoký tepelný zisk. Spôsoby ohrevu teplej vody sú schematicky znázornené na obrázkoch 6.28 až 6.32.

- Výhody:
  - využitie lacného tepla zo solárneho systému,
  - dlhá životnosť solárnych systémov.
- Nevýhody:
  - nerovnomerný zisk a dodávka tepla,
  - nutnosť doplniť o bivalentný zdroj na výrobu chýbajúcej energie,
  - pri nesprávnom návrhu, alebo výpadku odberu nutnosť likvidácie prebytočnej získanej energie,
  - nároky na reguláciu.

Spôsob návrhu solárneho systému na predohrev teplej vody pre rodinný dom:

- definovanie odberového diagramu,
- výpočet solárnych ziskov pre parametre ohrevu teplej vody,
- návrh veľkosti kolektorovej plochy,
- návrh akumulácie tepla.

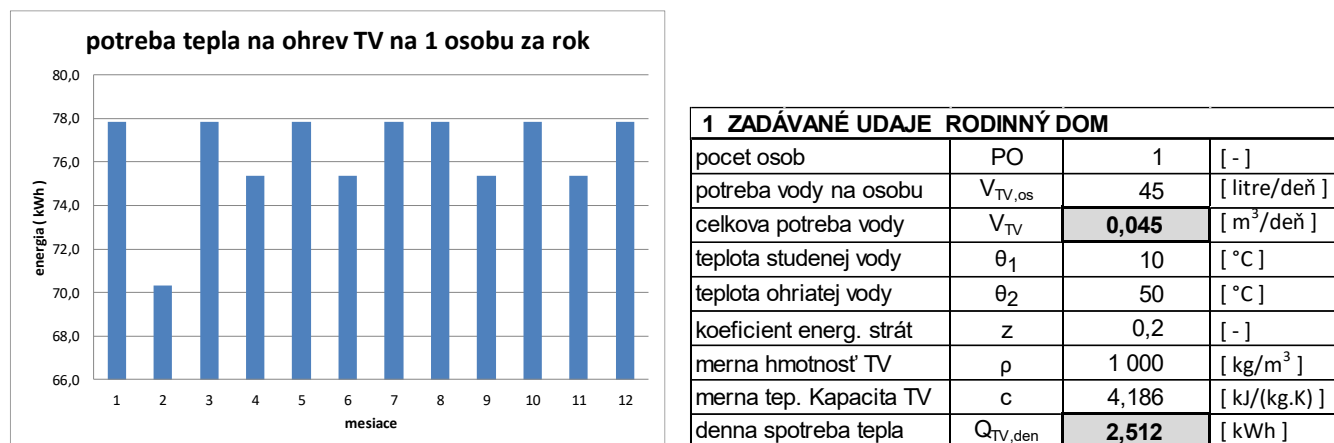
Zásady návrhu solárneho systému na ohrev teplej vody, pri zanedbaní kolísania teploty studenej vody počas roka:

- optimálne navrhnutý monovalentný systém zabezpečí pokrytie (úspora) cca 60% tepla za rok na ohrev TV, chýbajúce teplo dohrejete bivalentný zdroj,
- plocha kolektorov 1,5 - 2 m<sup>2</sup> kolektora na osobu,
- spotreba vody 40 - 50 litrov na osobu/deň,
- teplota TV 45 – 50 °C,
- objem solárnej akumulácie nádrže = (spotreba vody l/osobu,den x 2,5), príklad (45 x 2,5 = 112,5 l/osobu),
- energetické straty závisia od spôsobu akumulácie a distribúcie (cirkulačné straty), rodinné domy z=0,2–0,5,
- pre potreby výpočtu uvažujeme s 1 osobou. Pri inom počte je potrebný súčin počtu osôb.

## POZOR

- Pri predimenzovanej ploche kolektorov v lete nastáva prebytok tepelnej energie, a môže spôsobiť prehriatie (vrenie) vody čo sa považuje za havarijný stav, ak sa vhodne neeliminuje.
- Pri malom akumulačnom zásobníku sa voda prehreje na vysokú teplotu s malým objemom, solár má výrazne nižšiu účinnosť výroby tepla, a dôsledkom je nedostatočné množstvo teplej vody.
- Pri predimenzovanom akumulačnom zásobníku je teplota v zásobníku nízka, čo má za následok potrebu dohrevu pomocou bivalentného zdroja s nákladnejšou prevádzkou.

Obr. 6.34 Parametre pre výpočet potreby tepla na ohrev teplej vody



Zdroj: F. Vranay

$$Q_{TV,deň} = (1 + z) \cdot \frac{(\rho \cdot c \cdot V_{TV} \cdot (\theta_2 - \theta_1))}{3600} \quad [kWh/deň] \quad (6.1)$$

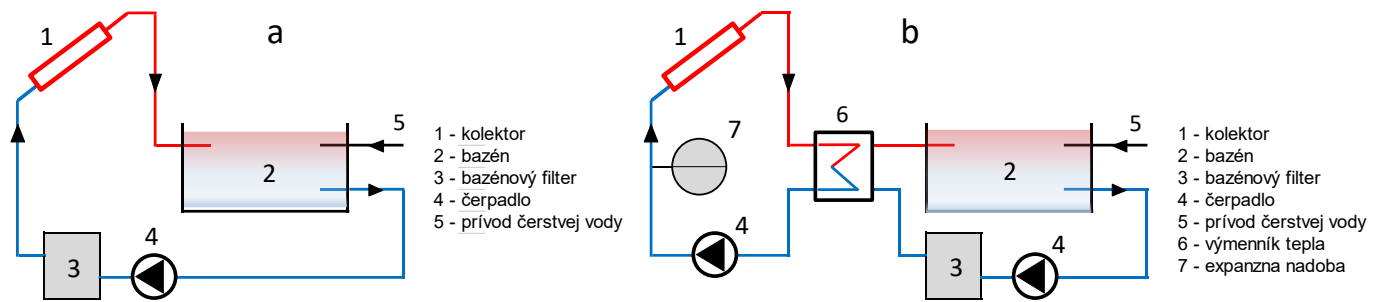
### Solárny systém na ohrev bazénovej vody:

Solárny systém na ohrev bazénovej vody pre bazén exteriérový - sezónny ohrev, alebo bazén interiérový – celoročný ohrev. Je možné systém prevádzkovať len pre bazén, alebo v kombinácii s ohrevom teplej vody, alebo aj s podporou vykurovania.

- Monovalentný (jediný zdroj sú slnečné kolektory)
  - Výhody:
    - jediný zdroj, lacný systém,
    - jednoduchá regulácia.
  - Nevýhody:
    - nestabilná dodávka energie v prípade solárneho systému,
    - vhodný len na sezónny ohrev bazénu (máj – september).



Obr. 6.35 Systém ohrevu bazénovej vody ( kolektorový okruh: a- otvorený, b- uzatvorený)



Zdroj: F. Vranay

- Viacvalentný (okrem slnečných kolektorov sú aj iné zdroje tepla)
  - Výhody:
    - možná aj celoročná prevádzka (vnútorný bazén),
    - stabilná dodávka tepla,
    - využitie lacného tepla zo solárneho systému,
    - dlhá životnosť solárnych systémov,
    - využitie v kombinácii s ohrevom teplej vody a podporou vykurovania.
  - Nevýhody:
    - v zimných mesiacoch veľmi nízky zisk tepla zo solárnych panelov (nízka úroveň žiarenia, krátke doby slnečného svitu),
    - drahšia prevádzka vzhľadom k vysokému podielu energie z bivalentného zdroja,
    - nároky na ďalšiu technológiu, výmenníky, expanzné nádoby, ...,
    - nároky na reguláciu.

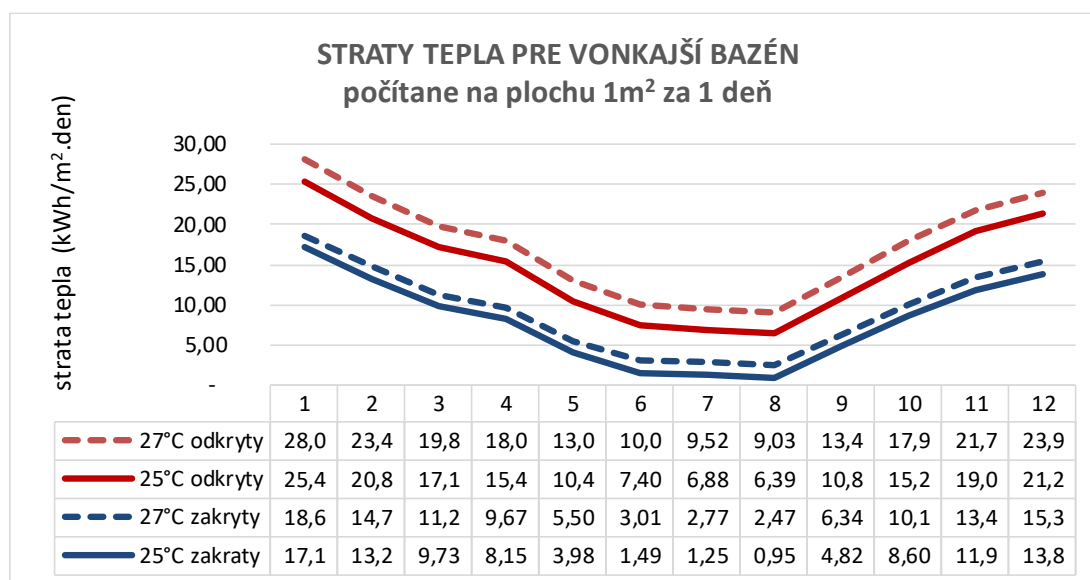
Spôsob návrhu solárneho systému na ohrev bazénu pre rodinný dom:

- definovanie prevádzky bazéna vnútorný/vonkajší, prevádzka celoročná/sezónna,
- definovanie strát bazéna, prevádzka s prikryvaním bazéna, alebo bez,
- výpočet solárnych ziskov pre potrebu bazéna,
- návrh veľkosti kolektorovej plochy.

Zásady návrhu solárneho systému na ohrev bazéna MONOVALENTNÝ (máj – september):

- využitie takého systému má význam pre letné mesiace,
- pre vonkajší bazén je odporúčaná plocha kolektorov 0,6 – 0,8 m<sup>2</sup> na 1 m<sup>2</sup> plochy vody v bazéne,
- pre krytý bazén je odporúčaná plocha kolektorov 0,4 – 0,5 m<sup>2</sup> na 1 m<sup>2</sup> plochy vody v bazéne,
- teplota vody v bazéne uvažovaná 24 – 26 °C,
- ak sa plocha bazéna na noc prikryje, je možné znížiť plochu kolektorov na 40 – 50 %,
- pri použití bivalentných zdrojov odporúčame realizovať energetickú bilanciu, ktorá optimalizuje návrh zdrojov a prevádzkové parametre,
- pre potreby výpočtu uvažujeme s plochou 1 m<sup>2</sup> bazénovej plochy. Pri inej ploche je potreba upraviť výpočet súčinom skutočnej plochy bazéna.

Obr. 6.36 Straty tepla z hladiny bazéna počítané na plochu 1m<sup>2</sup> za deň pri rôznych teplotách vody a zakrytia bazéna mimo prevádzky



Poznámka: Graf uvádza priebeh strát tepla na plochu 1m<sup>2</sup> pri vonkajšom bazéne pri teplotách vody 25 a 27°C. Straty sú uvádzané pre typický deň v mesiaci. V bilancii sa uvažuje s prevádzkou 10 hodín počas dňa, mimo tohto času (noc) sa bazén prikryva. Pri porovnaní s prevádzkou bez prikryvania sú deklarované výrazné rozdiely. Preto odporúčame zvážiť možnosť prikrytia, čo má za následok menšie nároky na kolektorovú plochu, alebo na činnosť bivalentného zdroja tepla.

### Solárny systém na podporu vykurovania

Solárny systém na podporu vykurovania je vhodný len v prípadoch, keď letné prebytky je kde využiť. V našich podmienkach je možné zachytiť a využiť energiu cca 25-35 % z potreby energie na vykurovanie. Spôsoby riešenia podpory vykurovania je možné realizovať podľa schémy bivalentný zdroj (Obr. 6.31) a trivalentný zdroj (Obr. 6.32).

- Výhody:
  - využitie lacného tepla zo solárneho systému,
  - dlhá životnosť solárnych systémov,
  - využitie v kombinácii s ohrevom teplej vody a vonkajšieho bazéna v lete,
  - možné riešenie je využitie dlhodobej akumulácie tepla do zásobníkov.
- Nevýhody:
  - v zimných mesiacoch veľmi nízky zisk tepla zo solárnych panelov (nízka úroveň žiarenia, krátke doby slnečného svitu),
  - veľmi nízka účinnosť solárneho systému v zime,
  - nutnosť doplniť o bivalentný zdroj na výrobu chýbajúcej energie,
  - sneženie a námraza zakrýva solárne panely, problém s odstraňovaním,
  - potreba umiestnenia letných prebytkov energie,
  - nároky na reguláciu.

Spôsob návrhu solárneho systému na podporu vykurovania pre rodinný dom:

- definovanie odberového diagramu,
- výpočet solárnych ziskov pre parametre vykurovania,
- návrh veľkosti kolektorovej plochy.

Zásady návrhu solárneho systému na podporu vykurovania:

- možné využitie cca 25-35 % tepla na vykurovanie zo solárneho systému,
- pre štandardný rodinný dom by mala byť plocha kolektorov cca 15-25 m<sup>2</sup>,
- pre krytý bazén je odporúčaná plocha kolektorov 0,4 – 0,5 m<sup>2</sup> na 1 m<sup>2</sup> plochy vody v bazéne,
- odporúčame realizovať energetickú bilanciu, ktorá optimalizuje návrh zdrojov a prevádzkové parametre,
- možné využitie letných prebytkov pre dlhodobú akumuláciu s využitím v zimných mesiacoch.

Obr. 6.37 Systém vykurovania, potreba tepla na vykurovanie v priebehu roka pre objekt s tepelnou stratou 1 kW

**VZOREC PRE VÝPOČET POTREBY TEPLA NA VYKUROVANIE**

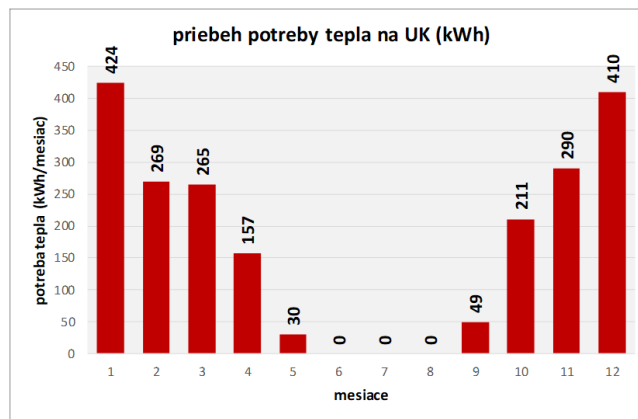
$$Q_{r,vyk} = 24 * 3600 * \varepsilon * Q_{max} * PVD * \left( \frac{t_i - t_{e,pr}}{t_i - t_e} \right)$$

$Q_{r,vyk}$  = potreba tepla na vykurovanie za posudzované obdobie  
 24 = počet hodín za deň  
 3 600 = počet sekúnd za hodinu  
 $\varepsilon$  = súčiniteľ nesúčasnosti vplyvu infiltrácie, a vplyv ostatných faktorov  
 $Q_{max}$  = maximálna tepelná strata objektu pri te ( výkon zdroja tepla )  
 PVD = počet dní vykurovania za posudzované obdobie  
 $t_i$  = priemerná teplota interiéru v objekte  
 $t_{e,pr}$  = priemerná teplota exteriéru za posudzované obdobie ( deň, mesiac, rok, ... )  
 $t_e$  = oblastná výpočtová teplota exteriéru

**VSTUPNÉ ÚDAJE**

$Q_{max}$ =	1	kW
$\varepsilon$ =	0,8	-
$t_i$ =	20	°C
$t_e$ =	-13	°C

POTREBA TEPLA NA ÚK ZA ROK						
	PVD =d	te	GJ	kWh	%	%
1	31	- 3,52	1,53	424,15	20,1%	54,4%
2	28	3,46	0,97	269,38	12,8%	
3	31	5,32	0,95	264,73	12,6%	
4	27	10,00	0,57	157,09	7,5%	
5	6	11,27	0,11	30,47	1,4%	
6	0	-	-	-		45,6%
7	0	-	-	-		
8	0	13,00	-	-		
9	10	11,56	0,18	49,13	2,3%	
10	29	7,50	0,76	210,91	10,0%	
11	30	3,37	1,05	290,33	13,8%	
12	31	- 2,74	1,48	410,18	19,5%	
			<b>7,58</b>	<b>2 106,4</b>	100,0%	



Zdroj: F. Vranay

**PRÍKLAD - Solárny systém na ohrev teplej vody, podporu vykurovania a ohrev vonkajšieho bazéna**

Príklad pre komplexný návrh solárneho systému na ohrev teplej vody, podporu vykurovania a využitia letných prebytkov na ohrev vonkajšieho bazéna.

Zásady pre návrh systému:

- Orientácia kolektorov na juh, azimut = 180 °.
- Sklon kolektorov 45 °. Výpočet bol zrealizovaný pre sklony 0 – 90 °s odstupom 15 ° Vo výpočte uvádzam najvýhodnejší sklon pre danú konfiguráciu systému a odberových diagramov miest spotreby.
- Pri výpočte boli uvažované solárne kolektory teplovodné selektívne.
- Dáta pre exteriér boli uvažované pre rok 2017 ( teploty vzduchu, slnečná radiácia, vlhkosť vzduchu, ...).

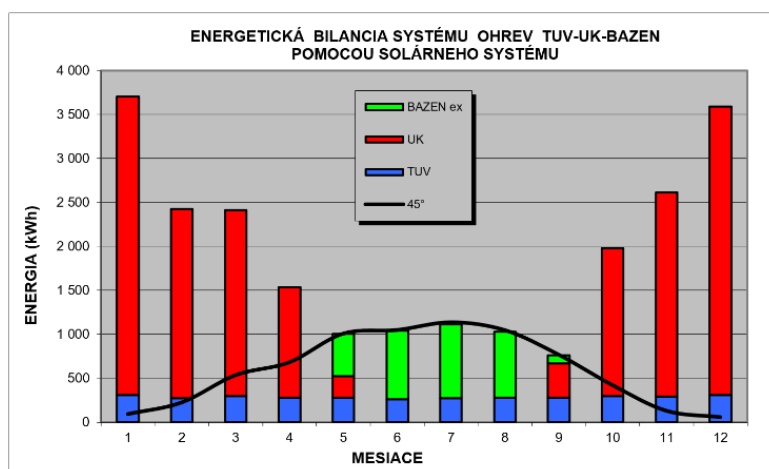
- Systém bol nastavený tak, aby letné prebytky boli využité úplne ( PREBYTOK = 0 kWh) Toto je zabezpečené dĺžkou prevádzky bazéna v mesiaci máj a september, a teplotou v bazéne, ktorá sa po mesiacoch mení na základe energetického zisku z kolektorov.
- Pri výpočte má prioritu ohrev teplej vody, potom podpora vykurovania a na záver využitie prebytkov na ohrev bazéna.
- Záverečné posúdenie je vo finančnom vyjadrení v porovnaní s plynom. Cena plynu bola určená pre SPP domácnosť v tarife D3 pre rok 2020.
- Náklady na výrobu tepla celého systému, bez soláru, plynom sú 23.367 kWh = 1.097,- € s DPH za rok.
- Prínos solárneho systému (úspora nákladov) je 7.177 kWh = 337,- € s DPH za rok.
- Náklady investičné na realizáciu solárneho systému sú závislé od podmienok inštalácie, prípadne od využitia dotačných programov. Preto investičné náklady neuvádzam.

Obr. 6.38 Systém ohrevu teplej vody + podpora vykurovania + ohrev exteriérového bazéna (zadanie, priebehy a výsledná bilancia)

TUV		UK		BAZEN ext		POTREBA	
LUDIA	4	VÝKON	8,0	SIRKA	1,0	TUV	3 437
T1	10	epsilon	0,8	DLZKA	8,0	UK	16 851
T2	50	te	- 13	PLOCHA	8,0	BAZEN i	-
litre/os	45	ti	20			BAZEN e	3 079
	kWh		kWh		kWh		kWh
1	311,4	1	3 393,2	1	0,0	1	3 705
2	274,3	2	2 155,1	2	0,0	2	2 429
3	295,9	3	2 117,8	3	0,0	3	2 414
4	278,8	4	1 256,7	4	0,0	4	1 536
5	280,3	5	243,7	5	528,5	5	1 053
6	263,7	6	-	6	798,0	6	1 062
7	272,5	7	-	7	884,4	7	1 157
8	280,3	8	-	8	770,0	8	1 050
9	278,8	9	393,1	9	97,7	9	770
10	295,9	10	1 687,3	10	0,0	10	1 983
11	293,9	11	2 322,6	11	0,0	11	2 616
12	311,4	12	3 281,5	12	0,0	12	3 593
SUMA	3 437	SUMA	16 851	SUMA	3 079	SUMA	23 367

VSTUPNÉ ÚDAJE	
<b>OHREV TEPLEJ VODY</b>	
počet osôb	4
množstvo teplej vody litre/osobu.deň	45 litre
teplota studenej vody na ohrev zima	10 °C
teplota studenej vody na ohrev leto	15 °C
teplota teplej vody	50 °C
<b>VYKUROVANIE</b>	
tepelná strata objektu	8 kW
<b>BAZEN EXTERIÉROVÝ</b>	
plocha	8 m <sup>2</sup>
čas prevádzky počas dňa	10 hodín
čas prevádzky počas noci	14 hodín
bazén sa na noc prikrýva	
počet dní prevádzky po mesiacoch	tabuľka
teploty vody v bazéne po mesiacoch	tabuľka
<b>SOLÁRNE PANELE</b>	
kolektor plochý selektívny	6 kusy
celková plocha	11,4 m <sup>2</sup>
sklon kolektorov	45 °
orientácia kolektorov	JUH 180 °



VÝSLEDNÁ BILANCIA	kWh/rok	%	€
POTREBA TEPLA CELKOM	23 367	100%	1 097
ZACHYTENÉ KOLEKTOROM	7 177	30,7%	337
DEFICIT	16 190	69,3%	760
PREBYTOK	0	0,0%	0

cena plynu pre domácnosť D3	0,047	€/kWh
-----------------------------	-------	-------

Poznámka: Vstupné parametre pre štandardný rodinný dom: údaje sú uvedené v tabuľke.

Zdroj: F. Vranay

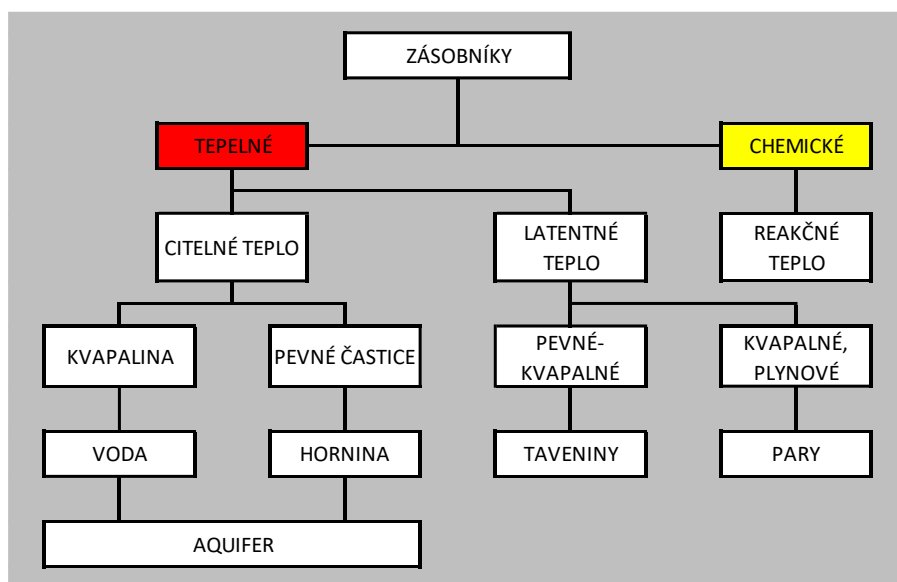
## Solárne zásobníky

Solárne zásobníky sú zariadenia na uskladňovanie energie pre odber v inom časovom období, ktoré sa líši od obdobia výroby energie.

Základné kritériá pre zásobníky tepla:

- hustota akumulácie tepla a súvisiaca veľkosť,
- účinnosť (straty, exergia),
- cena,
- životnosť,
- bezpečnosť,
- ekológia.

Obr. 6.39 Rozdelenie zásobníkov podľa spôsobu akumulovanej energie



Zdroj: F. Vranay

### Rozdelenie zásobníkov podľa časových parametrov akumulácie:

- krátkodobé zásobníky (denné, viacdenné) využívajú sa pre akumuláciu zo dňa na noc,
- dlhodobé zásobníky dlhodobo (rádovo mesiace) uchovávajú solárne zisky pre využitie v inom ročnom období.

### Podľa typu zásobníkov:

- akumuláčny bez teplovýmenných plochy,
- monovalentné s 1 teplovýmennou plochou,
- bivalentné s 2 teplovýmennými plochami,
- multivalentné s viacerými teplovýmennými plochami.

### Podľa tlaku vody:

- tlakové zásobníky - nutný expanzný systém,
- netlakové - nutné oddeliť od ostatných systémov cez výmenník tepla.

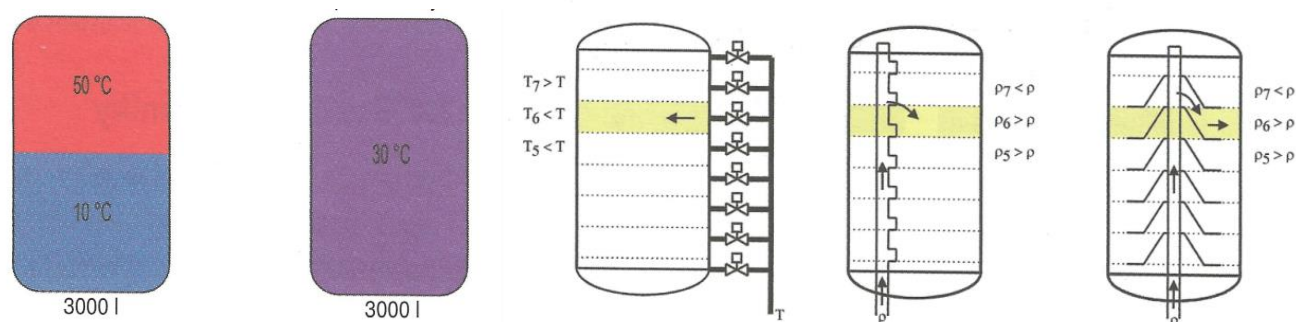
### Podľa účelu použitia:

- zásobník teplej vody podlieha požiadavkám na hygienu teplej vody,
- zásobník vykurovacej vody akumuluje tepelnú energiu,
- kombinované pre ohrev TV aj pre vykurovanie.

### Podmienky účinnej akumulácie – vrstvenie vody v zásobníku

Akumulácia tepla v zásobníku je za účelom prípravy energie pre odber. V oboch zásobníkoch je rovnaké množstvo energie. V prvom je teplota vody 50 °C v hornej časti, postačujúca priamo na odber. V druhom prípade teplota je nízka, rovnaká v celom objeme, a pre zabezpečenie požadovanej kvality vody je nutné vodu dohrievať iným zdrojom. Pre optimálne vrstvenie teploty vody v zásobníku je vhodné použiť zásobníky štíhle a vysoké, alebo so špeciálnym systémom, ktorý vnútornou konštrukciou systémom rúr a prepážok zabezpečí vrstvenie teploty vody.

Obr. 6.40 Porovnanie zásobníka s rozvrstvením teploty vody a bez rozvrstvenia



Poznámka: Teplota je rozvrstvená      Dokonale premiešaná voda

Obr. 6.41 Porovnanie rôznych typov zásobníkov tepla



## 6.2.3 Fotoelektrická premena

### Fotovoltaika

Fotovoltaika znamená priamu premenu slnečnej energie na elektrinu. Slnečné žiarenie nám neposkytuje len teplo, ale je ho možné využiť aj na výrobu elektrickej energie. Fyzikálny proces, ktorý to umožňuje sa nazýva fotovoltaický jav a zariadenia využívajúce tento jav sa nazývajú fotovoltaické články - tie priamo premieňajú slnečné žiarenie na elektrickú energiu. Z hľadiska ochrany životného prostredia sa jedná o mimoriadne čistý - bezodpadový zdroj energie, pri využívaní ktorého nevznikajú žiadne škodlivé emisie, hluk, a ktorý nesprevádzajú žiadne riziká vyplývajúce z ich prevádzky. A predovšetkým Slnko ako zdroj je z pohľadu ľudských potrieb nevyčerpatelný.

### História fotovoltaiky

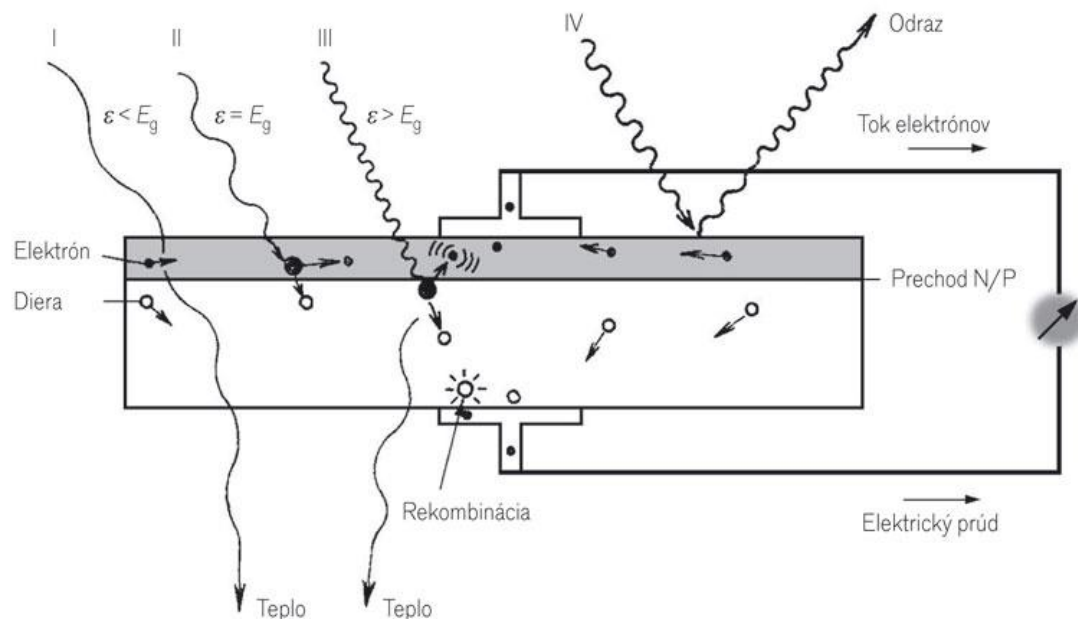
Fotovoltaika (FV) je výraz odvodený z gréckeho slova "photos" (svetlo) a názvu jednotky napätia – volt podľa talianskeho fyzika Alessandra Volta. Vývoj slnečných článkov má za sebou relatívne dlhú históriu siahajúcu až do roku 1839, kedy mladý francúzsky fyzik Alexander Edmund Becquerel objavil fotovoltaický jav pri experimentovaní s kovovými elektródami ponorenými v elektrolyte. Prvý fotovoltaický článok, v tuhej fáze bez nutnej potreby elektrolytu, vyvinuli Adams a Day v roku 1887. V roku 1883 americký elektrikár Charles Edgar Fritts skonštruoval selénový solárny článok. Článok mal účinnosť premeny svetla na elektrinu 1 % až 2 % (takéto selénové články sa používajú ešte aj dnes v senzorech rôznych kamier). V roku 1904 fyzikálne fotovoltaiku popísal Albert Einstein a v roku 1921 mu bola za „prácu pre rozvoj teoretickej fyziky, obzvlášť objav zákona fotoelektrického efektu“ udelená Nobelova cena. V roku 1930 nemecký fyzik Walter Schottky teoreticky objasnil princíp fotovoltaického javu. Russell S. Ohl si nechal v roku 1946 patentovať kremíkový fotovoltaický článok v USA. S objavením tranzistoru v roku 1947, kde hlavným prvkom bolo použitie kremíka, sa položili skutočné základy pre vývoj solárnych článkov na premenu slnečnej energie na energiu elektrickú. V roku 1950 bol Czochralskim vyvinutý spôsob výroby vysoko čistého – polovodičového kremíka. V roku 1954 Bell Telephone Laboratories vďaka Czochralskému metóde vyrobili kryštalický kremíkový fotovoltaický článok s účinnosťou 4%, ktorá neskôr vzrástla na 11 %. O sedem rokov neskôr od objavenia tranzistoru, skúsenosti a vedomosti o kremíku získané pri výrobe tranzistorov položili pevné základy pre vývoj solárnych článkov, ktoré sa ako prvé začali využívať pre kozmické účely. V tomto období bola cena fotovoltaických článkov príliš vysoká, ale v kozmickom programe cena nehrala žiadnu zásadnú úlohu, keďže fotovoltaické články boli jediným spôsobom, ako získať elektrickú energiu vo vesmíre. V roku 1958 bol v americkom vesmírnom satelite Vanguard inštalovaný malý rádiový vysielateľ s výkonom 1 Watt napájaný kremíkovým solárnym článkom. Od tohto obdobia vesmírny program zohráva veľkú úlohu vo výskume a samotnom vývoji fotovoltaických článkov. V sedemdesiatych rokoch minulého storočia sa začali uplatňovať solárne fotovoltaické články aj v bežných prevádzkach, vďaka poklesu cien jednotlivých solárnych zariadení. V období prvej veľkej ropnej krízy (1973-74) a bezprostredne po nej sa viacero krajín začalo zaoberať otázkou, ako sa zbaviť závislosti na ropе. Následne sa do vývoja a výroby fotovoltaických článkov začali investovať nemalé finančné prostriedky, čo malo za následok inštalovanie viac ako 3100 systémov na výrobu elektriny len v USA. Viaceré z týchto systémov pracujú dodnes.

### Princíp výroby elektrickej energie pomocou fotovoltaiky

Princíp spočíva v tom, že fotón dopadajúci na polovodičovú štruktúru s PN prechodom excituje elektrón a vytvorí tak dva nositeľa elektrického prúdu: voľný elektrón a dieru. Solárne články sa skladajú z dvoch kremíkových vrstiev. Horná vrstva kremíka je polovodič typu N (vodivosť sprostredkujú elektróny), dolná vrstva kremíka je polovodič typu P (vodivosť sprostredkujú tzv. diery). Keď do blízkosti PN prechodu prenikne fotón, dôjde k fotoefektu a uvoľnené elektróny začnú prechádzať do hornej vrstvy. Elektróny v spodnej vrstve začnú preskakovať z jedného atómu na druhý, aby zaplnili prázdne miesta. Voľné elektróny v hornej vrstve sa odvádzajú z článku do elektrického obvodu, do ktorého je solárny článok vsadený. Takto vzniká v obvode elektrický prúd počas doby, kedy na solárny článok dopadá svetlo.

Elektrická energia sa týmto spôsobom vyrába nehučne, bez akýchkoľvek pohyblivých súčastí a bez vedľajších produktov. Fotovoltický systém pracuje automaticky, bez obsluhy a veľkých nárokov na údržbu.

Obr. 6.42 Schéma premeny slnečného žiarenia na elektrickú energiu



Zdroj: M. Kušnír

## Generačný vývoj fotovoltických článkov

### Prvá generácia

Táto generácia sa vyznačuje použitím monokryštalického kremíka na výrobu fotovoltických článkov. Fotovoltické články vyrobené na báze kremíka sú v súčasnej dobe najviac používanými a predávanými na trhu, vďaka ich dobrej účinnosti premeny energie (až do 24 %) a stabilnému výkonu. Ich veľkou nevýhodou je použitie veľmi čistého, a tým pádom drahého kremíka.

### Druhá generácia

Použitie drahého kremíka vo fotovoltických článkoch prvej generácie bolo impulzom pre zníženie výrobných nákladov použitím tenkovrstvových článkov. Články druhej generácie sa vyznačujú použitím až 1000 krát tenšej aktívnej absorpčnej polovodičovej vrstvy (thin-film). Najbežnejšie články sa vyrábajú z mikrokryštalického, polykryštalického a amorfného kremíka. Hlavnou nevýhodou druhej generácie fotovoltických článkov je ich nízka účinnosť (pod 10 %) a menšia stabilita výkonu, kedy účinnosť klesá s časom používania. V súčasnej dobe sa používajú flexibilné materiály, ktoré umožňujú širšie použitie fotovoltických článkov od fotovoltických fólií až po autonómne nabíjacie zariadenia.

### Tretia generácia

Fotovoltické články sa vyznačujú tým, že k separácii nábojov a na maximalizáciu počtu absorbovaných fotónov sa používajú iné metódy a materiály ako polovodiče. Sú to napríklad fotoelektrochemické (fotogalvanické) články, polymérne články, nanoštruktúry vo forme uhlíkových nanotrubičiek alebo nanotyčínok. Zatiaľ jediným komerčne fungujúcim článkom tretej generácie sú viacvrstvé solárne články (dvojvrstvé alebo trojvrstvé), ktoré využívajú p-i-n prechod na absorbovanie určitej časti spektrálneho slnečného žiarenia a maximálnej možnej miere sa využije energetická využiteľnosť fotónu. Vo všeobecnosti majú tieto články problém s nízkou účinnosťou a stabilitou výkonu.



## Materiály fotovoltaických článkov

Najčastejšie použitie polovodičových materiálov je v diódach, tranzistoroch, a tak ďalej. Polovodiče sa stali neoddeliteľnou súčasťou slnečného priemyslu. O ich vhodnosti na výrobu fotovoltaických článkov rozhoduje predovšetkým šírka zakázaného pásma energií, ktorá by sa mala pohybovať v rozmedzí od 1,1 eV do 1,7 eV. Ďalšími dôležitými vlastnosťami sú vysoká pohyblivosť a dlhá životnosť minoritných nosičov náboja.

**Kremík (Si)** – Najbežnejšie a najdlhšie používaný materiál na výrobu fotovoltaických článkov. Kremík patrí medzi najčastejšie sa vyskytujúce prírodné materiály na zemi. Napriek tomu sa na výrobu fotovoltaických článkov využíva iba jedno percento z dostupného množstva kremíka. Na samotnú výrobu článkov sa kremík používa vo viacerých podobách.

**Monokryštalický kremík** – Najstarší používaný materiál na výrobu fotovoltaických článkov využívaných v praxi. Na začiatku články dosahovali iba 6% účinnosť. Na dlhšiu dobu sa pokrok vo výskume pozastavil, dôvodom čoho bol vesmírny program. Kremík je aj v súčasnosti drahým materiálom, preto sa vedci snažili o využitie lacnejších materiálov a výskumu zvyšovania účinností sa venovala slabá pozornosť. V dnešnej dobe sa pokrok urýchlil aj v tejto sfére, čoho výsledkom bolo zvýšenie účinnosti na 18% v bežnej prevádzke. Samotné kremíkové monokryštalické články sa vyrábajú z ingotov polykryštalického kremíka vyrábaných pomocou Czochralského metódy. Ingoty sa následne narezú na tenké plátky o hrúbke 0,35 až 0,1 mm. Na povrch sa pridá vrstva fosforu, ktorá zabezpečí polovodičový PN prechod.

**Polykryštalický kremík** – V dnešnej dobe sa tento materiál najčastejšie používa na výrobu fotovoltaických článkov. Samotná výroba je jednoduchšia ako pri monokryštalických článkoch, ale je tu nižšia celková účinnosť a nižší vyrobený prúd. Nižšia účinnosť je v dôsledku vyššieho odporu pri stykoch kryštalových zŕn. Výroba je založená buď na odlievaní článkov do foriem alebo rezaním ingotov.

**Multikryštalický kremík** – Odrôda polykryštalického kremíka, ktorý dosahuje vyššiu účinnosť (do 14%) a je podstatne lacnejší ako monokryštalický kremík. Z dôvodu znižovania odporu pri stykoch jednotlivých kryštálov, je tu snaha o výrobu článkov použitím čo najväčších kryštálov.

**Amorfny kremík** – Tento materiál nemá kryštalickú štruktúru a po chemickej úprave s vodíkom sa zlepšujú jeho vodivostné vlastnosti. Jeho výhodou je nízka cena a pri samotnej výrobe sa spotrebuje menšie množstvo tohto materiálu, vďaka vysokej pohltivosti slnečnej energie pri vrstvách tenších ako 1 mm. Nevýhodou amorfného kremíka je jeho nízka účinnosť premeny energie, ktorá sa pohybuje v rozmedzí 5 % až 7 %. Tenká vrstva fotovoltaického článku vyrobeného z amorfného kremíka a jeho nízka cena predurčuje tento materiál na výrobu článkov do kalkulačiek.

**Arzenid gality (GaAs)** – Fotovoltaické články vyrobené na báze arzenu a gália majú výhodu v tom, že pri vyšších teplotách nestrácajú veľmi svoju účinnosť, ako je to u kremíkových článkov. Pri koncentrácii slnečného žiarenia sa používa menšie množstvo GaAs bez zníženia jeho účinnosti. Vďaka tejto vlastnosti sa používajú pri koncentrátoroch. Medzi značné nevýhody patrí ich krehkosť, vzácnosť gália a jedovatosť arzenu.

**Telurid kademnatý (CdTe)** – Vyznačuje sa veľmi dobrou schopnosťou absorbovať slnečné žiarenie. Nie je možné ho však aplikovať na väčšie rozmery, pretože je to veľmi vzácny materiál v zemskej kôre. Uplatnenie tak získa v domácnostiach a drobnej elektrotechnike.

**Sulfid kademnatý (CdS)** – Fotovoltaické články vyrobené zo sulfidu kademnatého sa nepovažujú za perspektívne, pretože tieto články majú nízku stabilitu. Pôvodne boli články navrhnuté pre kozmický priemysel, vďaka nízkej hmotnosti a pomerne jednoduchom získaní 10 % účinnosti. Jedna z možných aplikácií sa naskytá pri zlúčení s teluridom kademnatým.

### Pripojenie fotovoltaických článkov

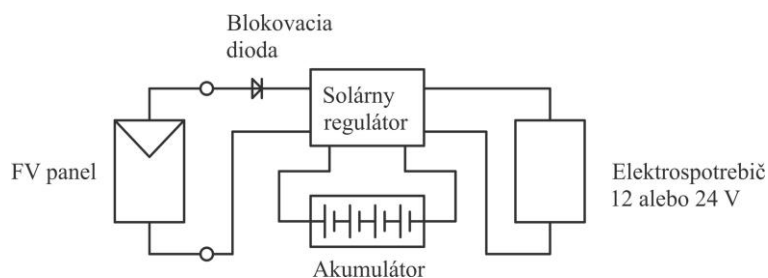
Z hľadiska aplikácie môžeme fotovoltaické systémy rozdeliť na autonómne, hybridné a priamo napojené do elektrickej siete.

**Autonómny systém (grid-off)** – táto aplikácia FV systémov sa používa na miestach, kde nie je možné, alebo nie je vhodné sa priamo napojiť na elektrickú sieť. Autonómny systém môže byť s akumuláciou, alebo bez akumulácie elektrickej energie:

Autonómny systém s priamym napájaním – systém sa používa v menších aplikáciách, ktoré nie sú závislé na neustálom slnečnom žiarení, ako sú napríklad kalkulačky, hodinky, atď. V súčasnej dobe je veľký dopyt po malých prenosných nabíjačkách na mobily a počítače.

Autonómny systém s akumuláciou elektrickej energie – nutnou súčasťou systému je akumulátor, ktorý zabezpečuje naakumulovanie elektrickej energie vyprodukovanej zo slnečného žiarenia pre potreby, kedy nie je dostatok slnečného žiarenia a je vyššia spotreba energie (Obr. 6.43).

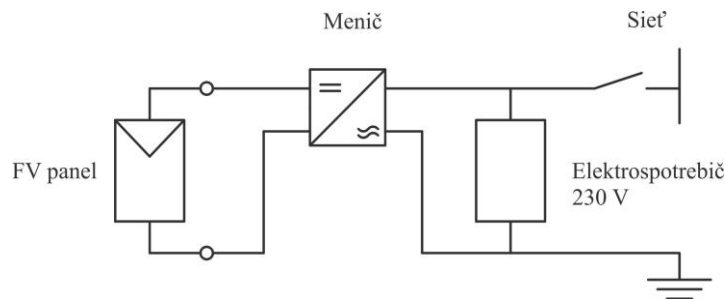
Obr. 6.43 Schéma autonómneho fotovoltaického systému



Zdroj: M. Kušnir

**Priame pripojenie na elektrickú sieť (grid-on)** – najviac využívaný systém pripojenia fotovoltaických panelov. Široké uplatnenie tohto FV systému je v oblastiach, kde je dostatočné pokrytie elektrickou rozvodnou sieťou. Systém nepotrebuje žiaden akumulátor, pretože vyrobená elektrina sa buď priamo spotrebuje spotrebičmi v budove, alebo prebytočná vyrobená elektrická energia sa dodáva do elektrickej rozvodnej siete. Pri tomto zapojení sa dá očakávať návratnosť systému (Obr. 6.44).

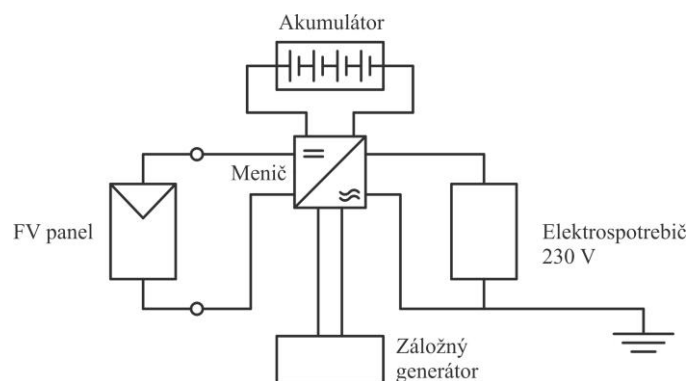
Obr. 6.44 Schéma priameho pripojenia fotovoltaického systému do rozvodnej siete



Zdroj: M. Kušnir

**Hybridný systém** – autonómny systém pripojenia, ktorého súčasťou je aj pomocný generátor. Za takýto generátor považujeme napríklad dieselagregát, vodnú alebo veternú elektrárňu. Samotný systém sa vyznačuje zložitejšou reguláciou, čo je zapríčinené optimalizáciou všetkých energetických zdrojov (Obr. 6.45).

Obr. 6.45 Schéma hybridného fotovoltického systému

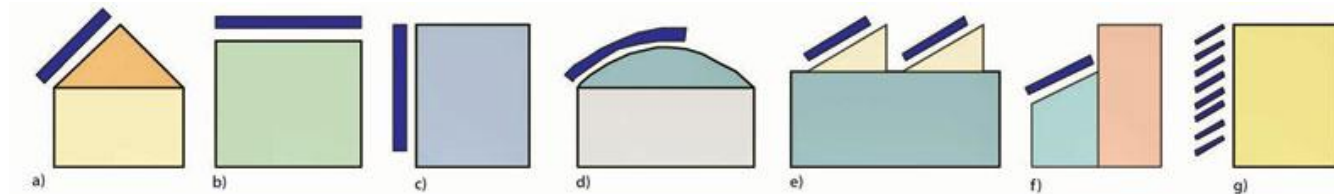


Zdroj: M. Kušnír

### Možnosti inštalácie fotovoltických článkov

Inštalácia fotovoltických modulov môže byť prevedená dvoma spôsobmi. Prvým spôsobom uchytenia panelov, ktorý sa vo väčšine prípadov používa pre strechy a fasády, je pevná inštalácia (nepolohovateľná). Na nasledujúcom obrázku sú najčastejšie spôsoby začlenenia FV prvkov do budov (Obr. 6.46).

Obr. 6.46 Spôsoby začlenenia fotovoltických prvkov do budov



Poznámka: a – šikmá strecha, b – plochá strecha, c – fasáda, d – tenkovrstvové FV systémy na veľké strešné plochy, e – priemyselné aplikácie, f – semitrparentné FV systémy pre átriá a výplne otvorov, g – vonkajšie tieniace systémy

Zdroj: M. Kušnír

Na základe stavebného, architektonického a funkčného vzťahu fotovoltika – budova existujú tri hlavné kategórie opisujúce spôsob inštalácie FV panelov:

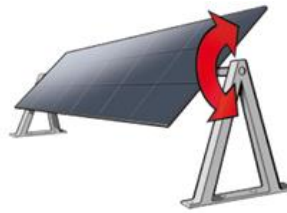
- FV panely v otvorenej polohe – prevažne FV panely, ktoré nesú rámové konštrukcie na plochých strechách – nízka miera integrácie,
- FV panely v tesnej blízkosti iných konštrukcií – FV panely ako súčasť fasádnych či strešných plášťov alebo fotovoltické tieniace prvky a systémy – vysoká miera integrácie,
- FV panely na rozhraní vonkajšieho a vnútorného prostredia – najmä semitrparentná fotovoltika ako súčasť výplne otvorov – maximálna miera integrácie.

Druhým spôsobom uchytenia panelov je tzv. polohovaná inštalácia. Táto inštalácia sa využíva najmä pre otvorené priestranstvá, kde sa zamedzí nežiaducemu tieneniu okolitých objektov. Výhodou polohovateľného systému oproti pevnej inštalácii je zvýšenie produkcie elektrickej energie až o 37 %. Poznáme dva základne druhy takýchto sledovacích fotovoltických zariadení. Prvou možnosťou sú jednoosové sledovacie systémy, ktoré umožňujú sledovanie slnka po oblohe pomocou naklonenia panelov v jednom smere). Druhou možnosťou je využitie dvojsových sledovacích systémov, ktoré sledujú polohu slnka na oblohe vo všetkých smeroch).

---

Obr. 6.47 Jednoosový sledovací systém

---



Zdroj: M. Kušnir

---

Obr. 6.48 Dvojosový sledovací systém

---



Zdroj: M. Kušnir

### Účinnosť premeny fotovoltaických článkov

Účinnosť premeny (potenciálne dopadajúceho) svetla na fotovoltaický článok na elektrickú energiu je najdôležitejším parametrom článku. Na celkovú účinnosť má vplyv niekoľko parametrov:

- čistota na povrchu,
- odrazy na povrchu,
- uhol dopadu - použitie natáčania zvyšuje cenu, znižuje spoľahlivosť a je potrebné zväžiť, či energetický zisk vyrovná príkon a cenu natáčacej sústavy,
- reflektivita povrchu - kvôli veľkému rozdielu indexov lomu na rozhraní vzduch/polovodič je potrebné použiť prispôsobovaciu (antireflexnú) vrstvu (resp. sústavu vrstiev),
- úzka oblasť absorpcie - nosiče nábojov generované mimo oblasť priestorového náboja PN prechodu nie sú separované, rekombinujú, a neprispievajú k výslednému prúdu. Preto je dôležité, aby PN prechod bol umiestnený čo najbližšie k povrchu a aby bol čo najširší,
- absorpčné spektrum - u polovodičov je pomerne úzke, t.j. časť dopadajúcich fotónov prejde polovodičom a časť je absorbovaná, avšak na generáciu elektrón-dierového páru sa využije len časť ich energie, zvyšok sa mení na teplo, ďalšia časť sa mení len na teplo. Pre zvýšenie účinnosti sa používa sústava vrstiev rôznych kompozitných polovodičov (s rôznou šírkou zakázaného pásma) a teda s viacerými PN prechodmi nad sebou,
- rekombinácia fotogenerovaných nosičov - pre zníženie je potrebné použiť čisté monokryštalické polovodiče,
- sériový odpor (spôsobuje ohmické straty) :
  1. polovodiča - fotogenerované nosiče prechádzajú P a N vrstvou polovodiča ku kontaktom na povrchu, preto je dôležitá vysoká vodivosť najmä substrátu,
  2. kontaktov - priehľadné horné kontakty (okrem vyššej ceny) majú významný sériový odpor (a aj nezanedbateľnú reflektivitu), preto sa aj napriek strate časti povrchu používajú nepriehľadné hrebeňovité kontakty.

K celkovej účinnosti celej fotovoltaickej sústavy prístupujú ešte straty v prepojeniach medzi článkami, účinnosť výkonovej elektroniky (meniča), prípadne účinnosť ukladania a znovuzískania energie v akumulátoroch.

### Výhody fotovoltaických systémov:

- používajú sa ako prakticky nevyčerpatelný zdroj energie,
- pri prevádzke nevznikajú žiadne emisie alebo iné škodlivé látky,
- prevádzka je úplne bezhlučná, bez pohyblivých dielov,
- jednoduchá inštalácia solárneho systému,
- prevádzka zariadenia prakticky nevyžaduje obsluhu, ľahká elektronická regulácia,
- zariadenia majú vysokú prevádzkovú spoľahlivosť.

### Nevýhody fotovoltaických systémov:

- pomerne nízka priemerná ročná intenzita slnečného žiarenia,
- krátka priemerná ročná doba slnečného svitu,
- veľké kolísanie intenzity žiarenia v priebehu roka,
- malá účinnosť premeny a z toho plynúce nároky na plochu generátora,
- vysoké investičné náklady na inštaláciu,
- pomerne malá životnosť (20 rokov) v pomere k cene,
- potreba záložného zdroja elektriny.

### Inštalácie fotovoltaických systémov na rodinné domy

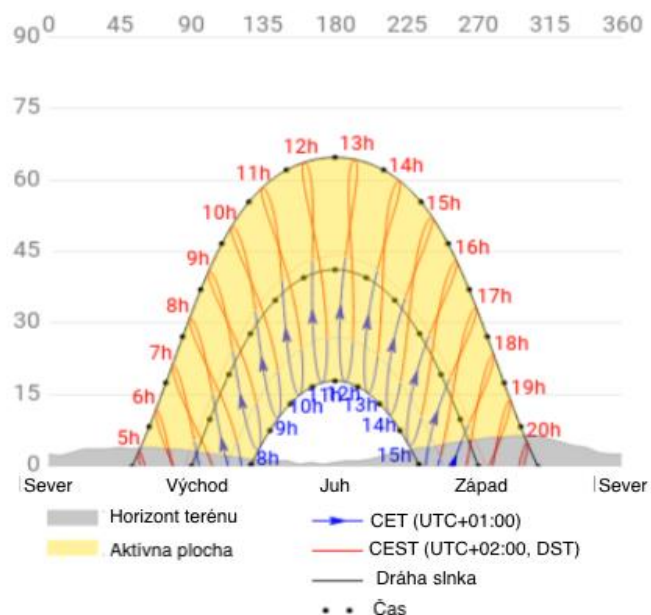
#### Variant A – Fotovoltický systém s napojením na distribučnú sieť

Fotovoltické zariadenie je umiestnené v centre Košíc a bolo uvedené do prevádzky v prvej polovici roku 2012. Rodinný dom má šikmú strechu s orientáciou na západ a sklonom cca 30 °. Strešná krytina je škridla.

Investor si v danom čase rekonštruoval dom a jeho zámerom bolo umiestniť fotovoltaický systém na strechu svojho rodinného domu, aby si dokázal znížiť spotrebu elektriny v domácnosti. Dom má podlahovú plochu cca 350 m<sup>2</sup> a okrem bežných domácich spotrebičov ako sú chladnička, mraznička, práčka, sušička a umývačka je v dome umiestnený aj bazén s celoročným využitím vďaka tepelnému čerpadlu.

Na základe lokality a horeuvedených vstupných parametrov bolo možné vypočítať odhadovanú ročnú výrobu elektriny z fotovoltaického systému.

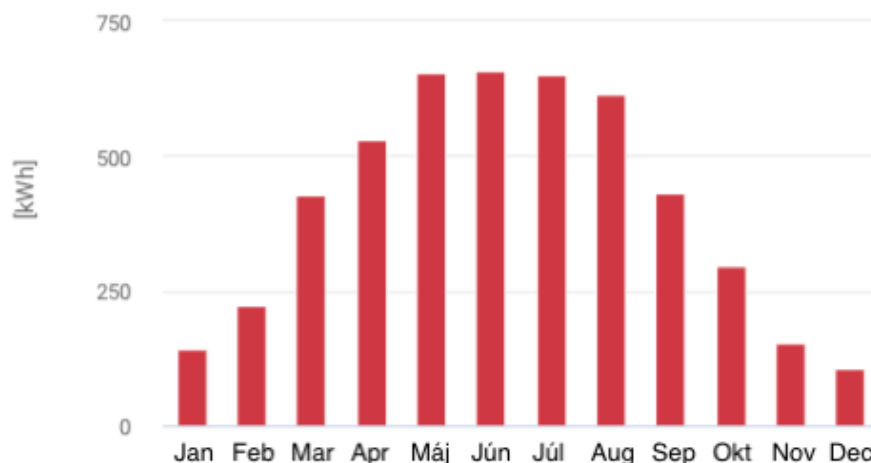
Obr. 6.49 Solárny azimut – variant A



### Produkcia elektrickej energie pomocou fotovoltického systému

Na obrázku je znázornená geografická dráha slnka na oblohe v danej lokalite so zohľadnením okolitého terénu. Spodná modrá dráha slnka predstavuje pohyb slnka na oblohe od východu na západ v najkratší deň v roku, teda 21.12. Na druhej strane horná červená dráha predstavuje pohyb slnka po oblohe v najdlhší deň v roku, teda 21.6.

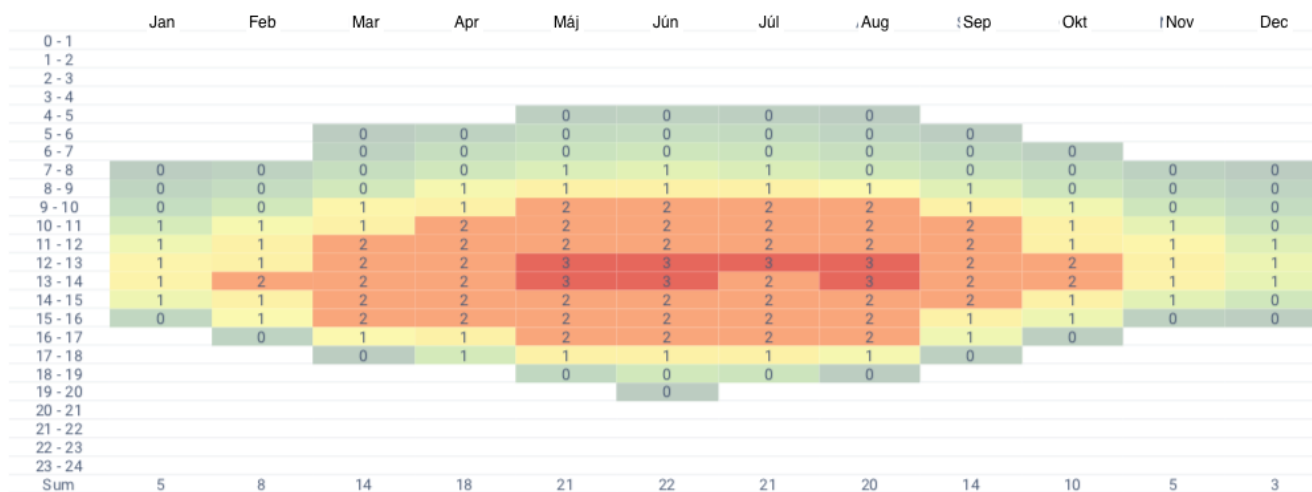
Obr. 6.50 Mesačné priemery – Odhadovaná celková výroba z fotovoltického systému [kWh] – variant A



Zdroj: P. Hal'ko, M. Kušnir

Podľa nami zadaných parametrov sme vypočítali odhadovanú ročnú výrobu elektriny z daného fotovoltického systému v danej lokalite vo výške 4,9 MWh za rok, čo predstavuje približne 1142 kWh/m<sup>2</sup>. Na obrázku je uvedený odhad priemernej mesačnej výroby elektriny. Rôzne hodnoty výroby z fotovoltického systému sú hlavne z dôvodu rôznej dĺžky dráhy slnka po oblohe v jednotlivých mesiacoch.

Obr. 6.51 Profil priemernej hodinovej výroby – odhadovaná celková výroba z fotovoltického systému [kWh] - variant A



Zdroj: P. Hal'ko, M. Kušnir

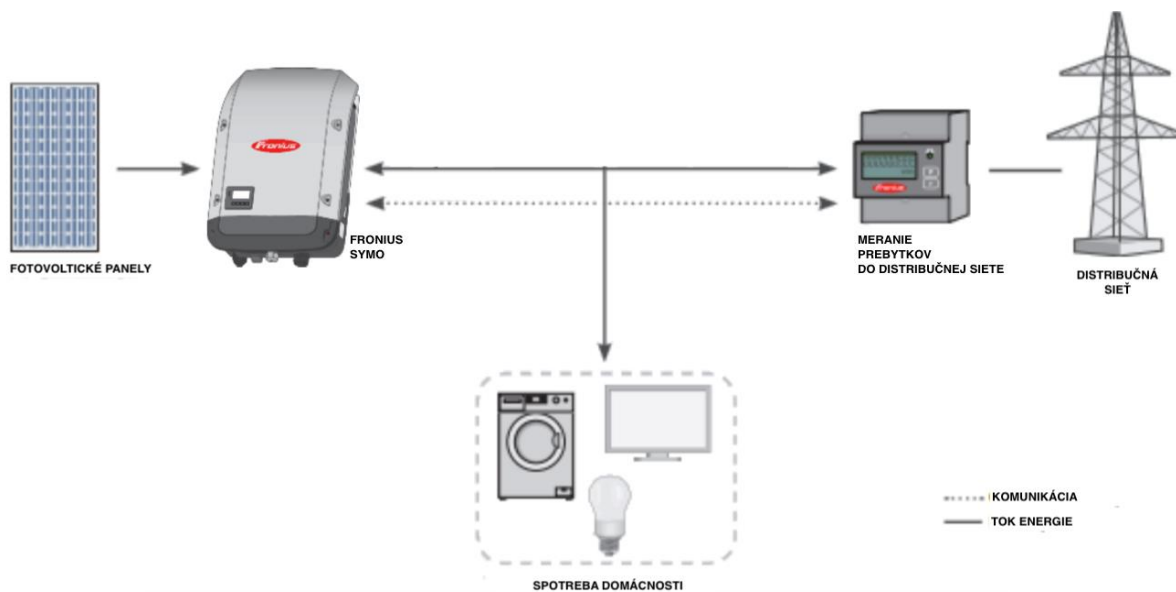
Tak ako sa mení intenzita a objem slnečného žiarenia počas roka, tak je tomu aj každý deň. Na obrázku sú uvedené priemerné odhadované hodnoty výroby elektriny z fotovoltaického systému podľa zadania v danej lokalite jednotlivé dni daného mesiaca. Na obrázku nižšie sú vyjadrené aj graficky v priebehových grafoch.

Obr. 6.52 Profil priemernej hodinovej výroby v jednotlivých mesiacoch – Odhadovaná celková výroba z fotovoltaického systému [kWh]



Zdroj: P. Haľko, M. Kušnir

Obr. 6.53 Schéma zapojenia fotovoltaického systému bez akumulácie elektrickej energie



Zdroj: P. Haľko, M. Kušnir

Schéma zapojenia fotovoltaického systému bez akumulácie je relatívne jednoduchá. Fotovoltické panely umiestnené na strešnej konštrukcii sú káblovou trasou spojené s fotovoltaickým striedačom, ktorý premieňa vyrobenú DC elektrinu na AC elektrinu, použiteľnú pre potreby domácnosti. Meranie prebytkov do siete je prvok, ktorý sa zvykne využívať v prípade vyvolávanej spotreby v odbernom mieste v prípade, ak vzniknú prebytky do distribučnej siete. To v jednoduchosti znamená, že v prípade, že je vyrobená elektrina z fotovoltaického systému dodávaná do siete, zariadenie spustí vybraný spotrebič, aby bola tá elektrina radšej spotrebovaná ako dodaná do distribučnej siete.

### Produkcia elektrickej energie pomocou fotovoltaického systému

Strecha rodinného domu je pokrytá škridľou, ktorá je ukladaná na drevenom krove. V tomto prípade sa používajú strešné háky, ktoré sa skrutkujú priamo na krokvy.

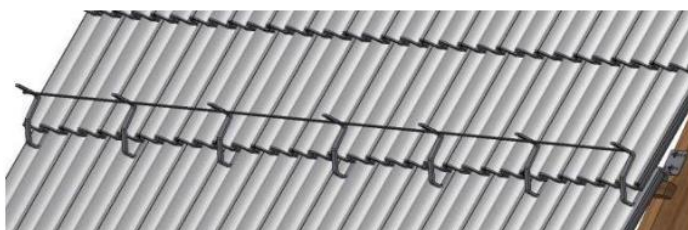
Obr. 6.54 Spôsob inštalácie fotovoltaických panelov na hliníkové profily – detail uchytenia



Priskrutkovanie strešného háku na krokve



Uchytenie strešného háku vrchnou škridľou



Rozmiestnenie strešných hákov v rade



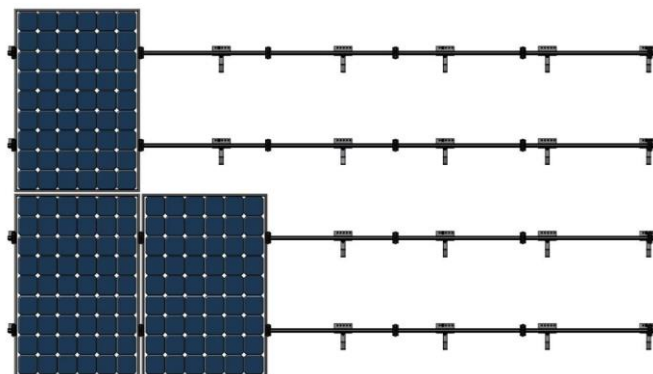
Zarovnanie v rade pomocou vodiaceho lanka

Dôraz je potrebné klásť na správny výber rozmeru a typu použitého strešného háku. Rozdiely pri tomto type konštrukcie vznikajú v rôznych rozmeroch krokiev, strešných lát a betónových škridiel. Kotviaca plocha strešného háku musí lícovať s plochou krokvy a zároveň kopírovať plochu škridle pri vyústení strešného háku popod škridlu. Pri vrátení hornej krycej škridle na pôvodné miesto musí ostať vodeodolnosť strechy zachovaná.

Po zarovnaní všetkých strešných hákov v rade pomocou vodiaceho lanka sa na strešné háky umiestňujú roznášacie hliníkové profily, na ktoré sa pomocou panelových úchytovcov kotvia samotné fotovoltaické panely.



Obr. 6.55 Spôsob inštalácie fotovoltaických panelov na hliníkové profily - uchytené na strešných hákoch - variant A



Fotovoltaické panely sa zapájajú do tzv. reťazcov (stringov) a nimi vyrobená elektrina je tak vedená do elektroinštalácie rodinného domu. Objem vyrobenej elektriny v jednotlivých rokoch osciluje okolo cieľovej hodnoty, čo je spôsobené zmenami počasia. Pre investora je avšak najdôležitejšie čo najväčšie množstvo vyrobenej elektriny spotrebovať vo vlastnej spotrebe.

Obr. 6.56 Inštalácia fotovoltaického systému – variant A



Zdroj: P. Haľko, M. Kušnir

Obr. 6.57 Celková výroba z fotovoltaického systému [kWh] – ročná bilancia - variant A

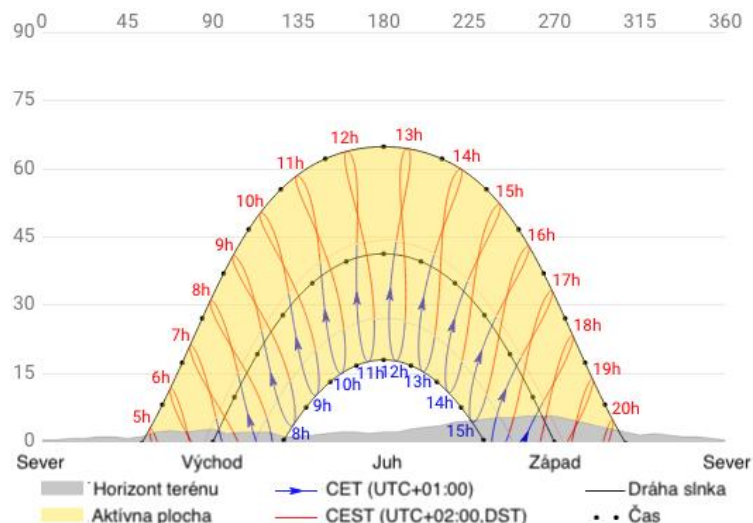
Rok prevádzky fotovoltaického systému	Celková ročná výroba [MWh]
2012	2,500
2013	4,559
2014	4,880
2015	5,020
2016	4,863
2017	5,054
2018	5,016
2019	4,992

## Variant B – Fotovoltický systém s akumuláciou do batérií

Fotovoltický systém s akumuláciou do batérií bol uvedený do prevádzky v roku 2016. Rodinný dom sa nachádza v okolí Košíc v lokalite s veľmi dobrou intenzitou slnečného svitu. Strecha je šikmá a orientovaná na juh so sklonom 30 °. Na drevenom krove sú umiestnené škridle, čiže konštrukcia aj v tomto prípade bola realizovaná pomocou strešných hákov popísaných v predošlej kapitole. Tieto predpoklady sú vynikajúce pre realizáciu strešného fotovoltického systému.

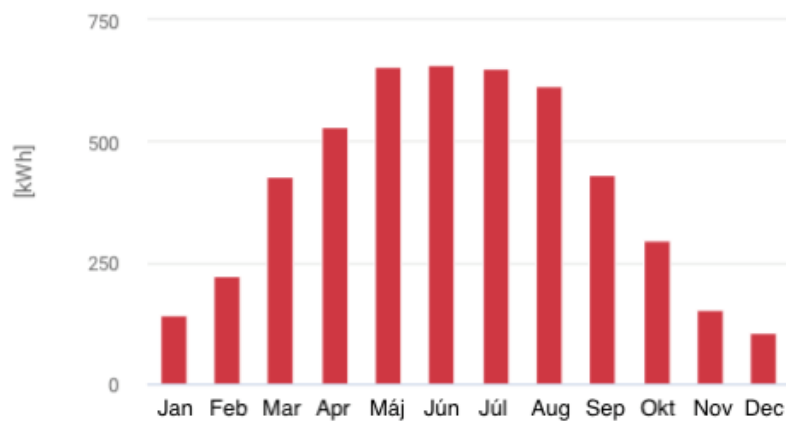
V dome je elektroinštalácia napojená na jednu fázu, čomu bol prispôsobený aj celý fotovoltický systém s batériou. V dome sú použité len bežné domáce spotrebiče ako sú chladnička, práčka, sušička, umývačka a mraziaci box.

Obr. 6.58 Solárny azimut – variant B



Na obrázku je znázornená geografická dráha slnka po oblohe. Horná (červená) predstavuje najdlhšiu dráhu, ktorú slnko vykonáva počas najdlhšieho dňa v roku, t.j. 21.6. a spodná (modrá) predstavuje najkratšiu dráhu, ktorú slnko vykonáva počas najkratšieho dňa v roku, t.j. 21.12. Plocha medzi týmito krivkami predstavuje aktívnu dennú plochu, počas ktorej bude daný systém produkovať elektrinu. Vďaka nižšej úrovni horizontu v danej lokalite je predpoklad pre väčší objem výroby elektriny zo slnečného osvit.

Obr. 6.59 Mesačné priemery – Odhadovaná celková výroba z fotovoltického systému [kWh] – variant B



Zdroj: P. Haľko, M. Kušník

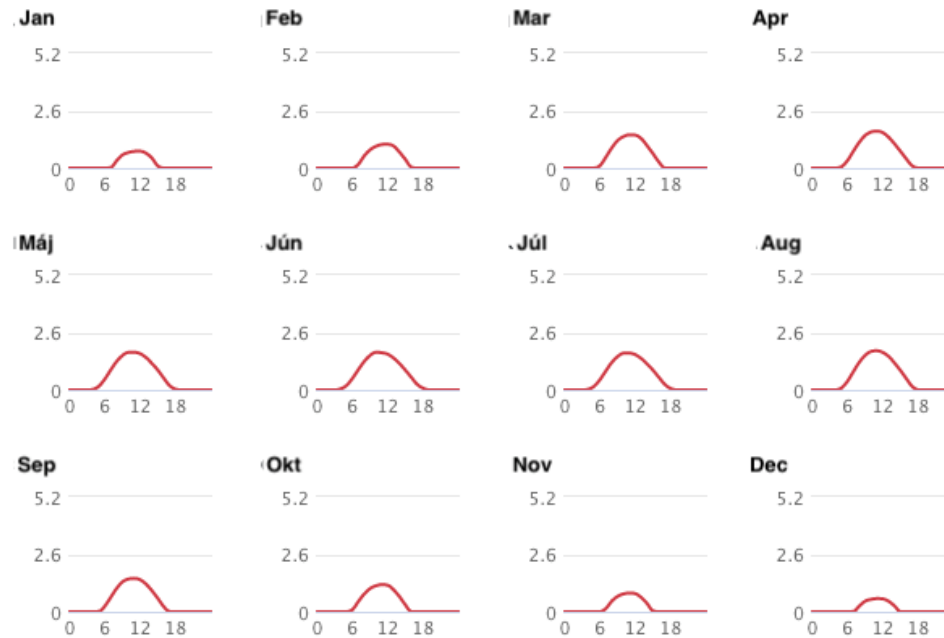
Podľa vstupných informácií o danej lokalite a fotovoltaickom systéme sme vypočítali odhadovanú ročnú výrobu zo slnka na úrovni 3,538 MWh, čo je približne 1432 kWh/m<sup>2</sup>. Na obrázku vyššie je uvedená výroba v jednotlivých mesiacoch roka. Objem výroby elektriny zo slnka v jednotlivých mesiacoch sa líši kvôli rôznej dĺžke geografickej dráhy slnka po oblohe. Na obrázkoch profilov priemernej hodinovej výroby je taktiež viditeľné, ako sa mení odhadovaný objem výroby elektrickej energie v priebehu jednotlivých dní počas jednotlivých mesiacoch v priebehu roka. Na základe vedomostí o objeme výroby v priebehu roka je ďalej možné nastaviť aj spotrebu individuálnych spotrebičov v domácnosti. V zimných mesiacoch začína produkcia z fotovoltaického systému neskôr a končí výrazne skôr oproti letnému obdobiu. Najzaujímavejším faktom avšak stále ostáva, že účinnosť premeny energie vo fotovoltaickom systéme sa blíži k 100 % koncom apríla. V ostatnom období je priemerná účinnosť premeny energie zo slnečného osvetlenia fotovoltaického zariadenia na úrovni v priemere 60 %.

Obr. 6.60 Profil priemernej hodinovej výroby – odhadovaná celková výroba z fotovoltaického systému [kWh] - variant B

	Jan	Feb	Mar	Apr	Máj	Jún	Júl	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5					0	0	0	0				
5 - 6			0	0	0	0	0	0	0			
6 - 7			0	0	0	1	0	0	0	0		
7 - 8	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
8 - 9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
9 - 10	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	0
10 - 11	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
11 - 12	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
12 - 13	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
13 - 14	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	0
14 - 15	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
15 - 16	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
16 - 17		0	0	0	1	1	1	1	0	0		
17 - 18			0	0	0	0	0	0	0			
18 - 19				0	0	0	0	0				
19 - 20						0						
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	4	7	10	12	14	14	14	14	11	8	5	3

Zdroj: P. Haľko, M. Kušnir

Obr. 6.61 Profil priemernej hodinovej výroby v jednotlivých mesiacoch – Odhadovaná celková výroba z fotovoltického systému [kWh]



Obr. 6.62 Schéma zapojenia fotovoltického systému s akumuláciou elektrickej energie

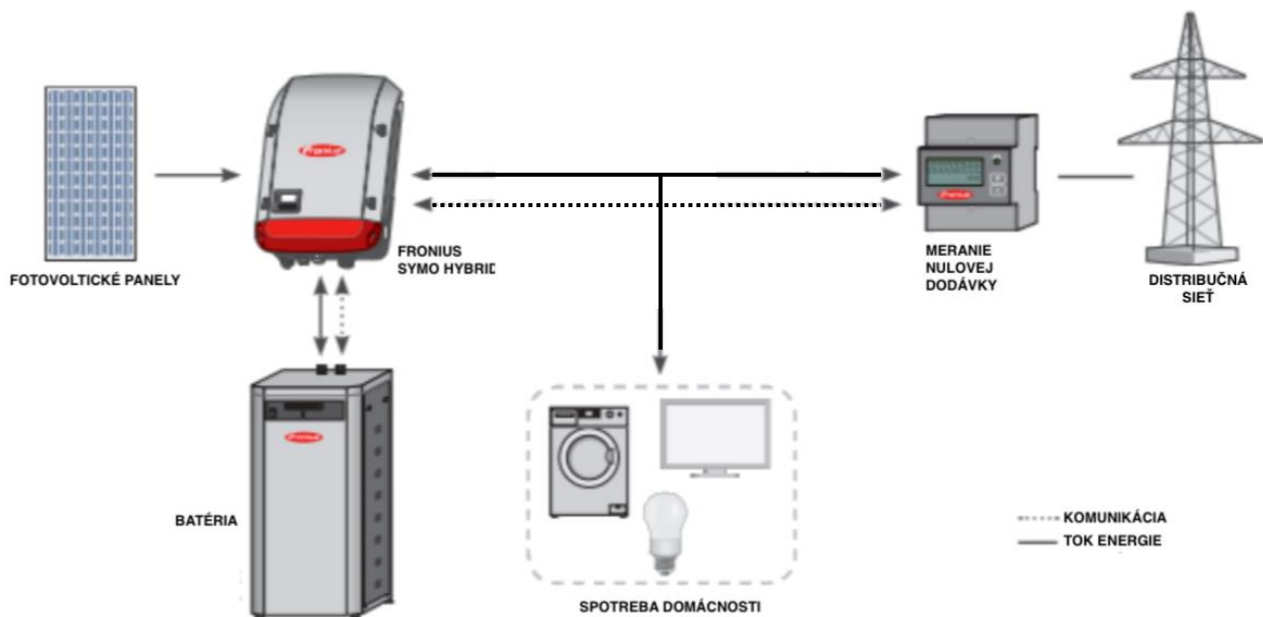


Schéma zapojenia fotovoltického systému s akumuláciou je v podstate len doplnená o batériový systém. V praxi to znamená, že pokiaľ nie je vyrobená elektrina z fotovoltického systému priamo spotrebovaná v domácnosti, tak je uložená na neskoršie použitie v batériách. Batérie tak tvoria záložný zdroj pre celú domácnosť a kvôli ich vysokej obstarávacej cene sú určené skôr na vytvorenie zálohy v prípade výpadku elektriny pre domácnosť.



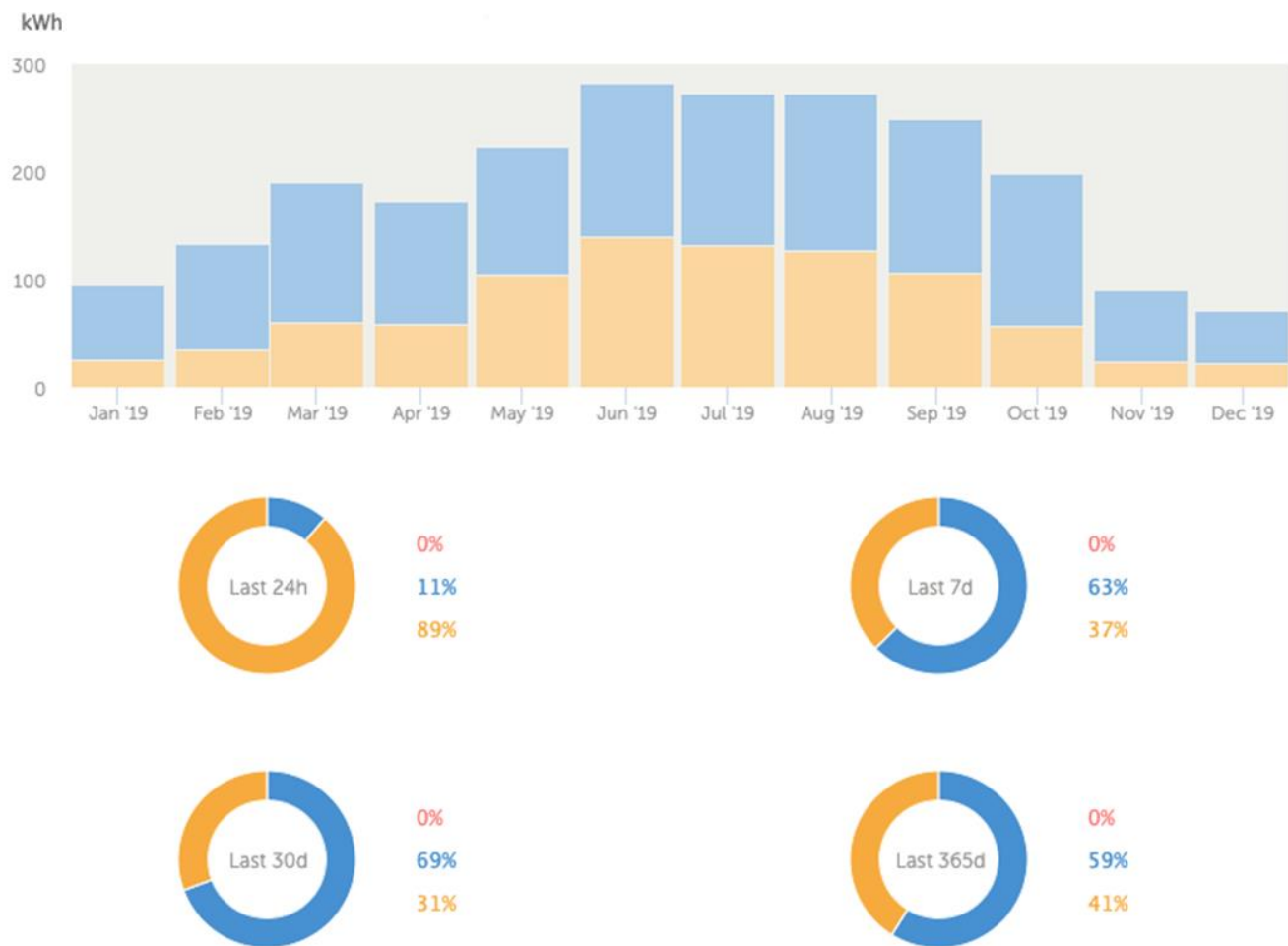
Po prvotnej analýze bolo na streche rodinného domu umiestnených 12 kusov fotovoltaických panelov s nominálnym inštalovaným výkonom 3,06 kWp. Inštalovaný výkon dokonca presahuje ročnú spotrebu domácnosti, a práve z toho dôvodu boli do systému pridané batérie kvôli akumulácii prebytočnej elektriny.

Tab. 6.1 Celková výroba z fotovoltaického systému [kWh] – ročná bilancia - variant B

Rok prevádzky fotovoltaického systému	Celková ročná výroba [MWh]	Priame využitie [MWh]	Akumulácia batérií [kWh]
2017	2,766	1,103	1,663
2018	2,233	0,860	1,373
2019	2,256	0,890	1,366
2020	2,614	1,089	1,525

Fotovoltaický systém s akumuláciou vyrobenej elektriny do batérií vyrába v ročnom vyjadrení menej ako sa predpokladalo, hlavne z toho dôvodu, že vyrobenú elektrinu nie je kam použiť a aby sa zabránilo jej prietokom do distribučnej siete, utlmuje sa výroba fotovoltaických panelov softvérovo. Na úplné využitie daného fotovoltaického systému je potrebné zvýšiť kapacitu akumulátorov, aby sa zväčšilo miesto na uloženie vyrobenej elektriny.

Obr. 6.64 Výroba elektrickej energie z fotovoltického systému za rok 2019



Zdroj: P. Halcko, M. Kušnír

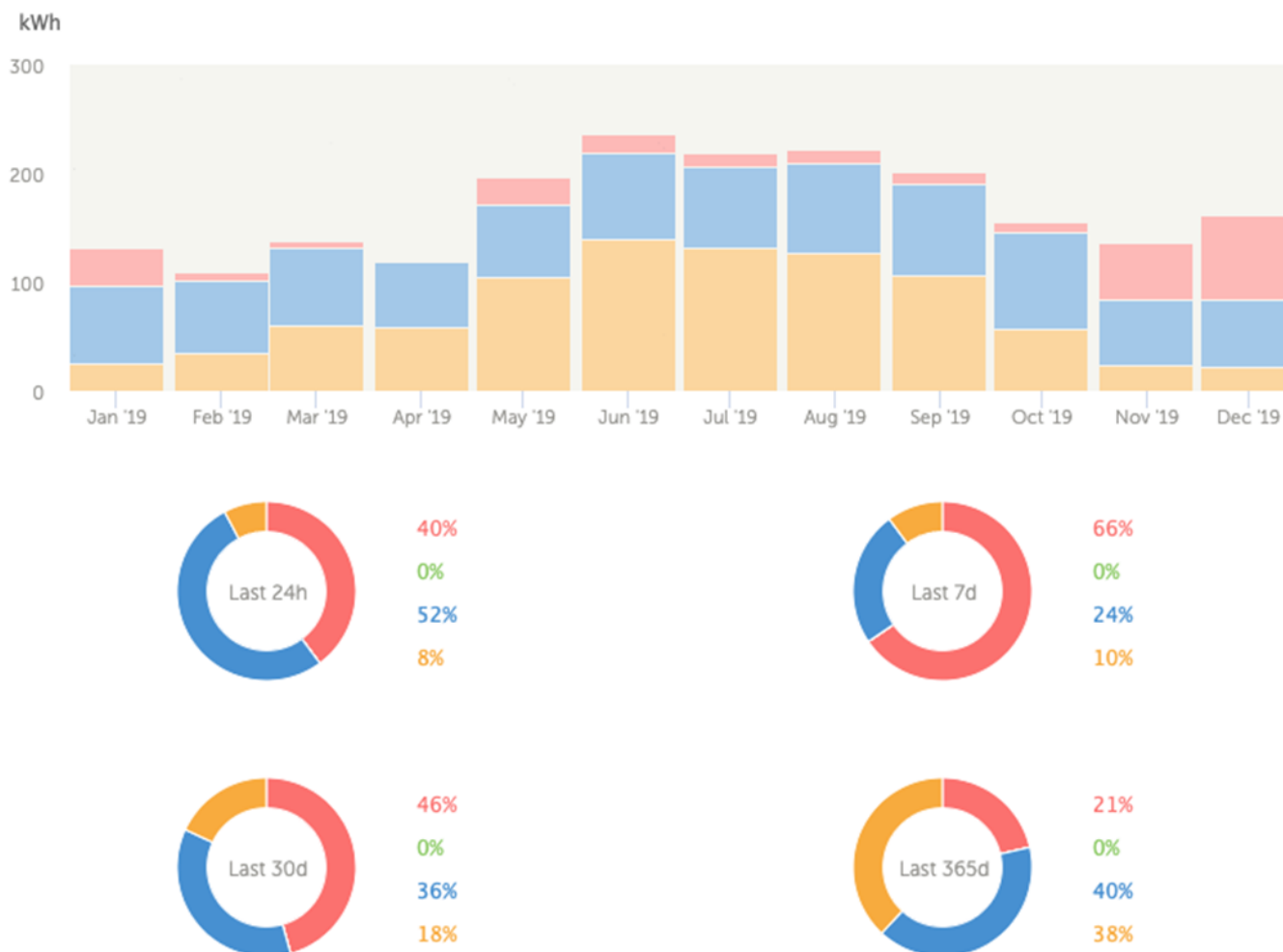
Stĺpcové a koláčové grafy znázorňujú priebeh výroby elektriny z fotovoltického systému s akumuláciou v priebehu roka 2019. Žlté plochy znázorňujú objem vyrobenej elektriny, ktorá bola priamo využitá v spotrebe domácnosti bez akumulácie. Modré plochy vyjadrujú objem vyrobenej elektriny uloženej do batérie. V tomto konkrétnom prípade boli použité gélové olovené batérie určené na akumuláciu elektriny z fotovoltických zdrojov.

Na základe údajov z roku 2019 bolo 41 % celkovej ročnej výroby priamo spotrebovanej v domácnosti a 59 % bolo akumulovaných v batériách pre neskoršie využitie.

Na priebehu grafu výroby elektriny z fotovoltického systému je zreteľný rozdiel objemu výroby elektriny z fotovoltiky v priebehu roka. Rozdiely medzi zimou a letom sú výrazné hlavne kvôli rôznej dĺžke dráhy slnka po oblohe, ako bolo spomenuté v predošlých odsekoch.

Vo fotovoltických systémoch, v ktorých je baterka poddimenzovaná je zreteľný ešte jeden jav, ktorý nazývame prebytky do distribučnej siete. V prípade, ak fotovoltický systém vyrába elektrinu, batéria je nabitá na 100 % a v domácnosti nie je žiadna spotreba, dochádza k dodávke prebytkov výroby z fotovoltického systému do distribučnej siete. V súčasnosti existuje možnosť inkasovať za túto dodávku, avšak jednotková cena dodávanej elektriny do distribučnej sústavy je na úrovni ceny silovej zložky elektriny, ktorá sa pohybuje na úrovni 30 % koncovej ceny elektriny pre konečného zákazníka. Najmä v inštaláciách pre rodinné domy je tá cena tak nízka, že môžeme hovoriť až o neefektívnej oproti administratívne úsilie na jej získanie.

Obr. 6.65 Priebeh spotreby danej domácnosti za rok 2019



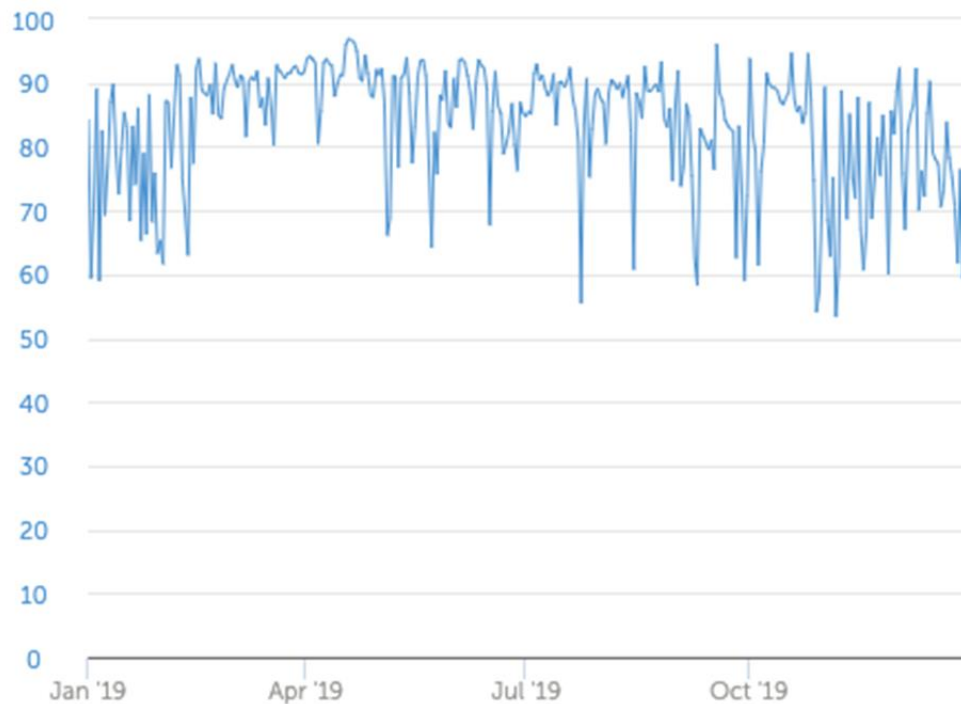
Zdroj: P. Haľko, M. Kušnir

V týchto grafoch je znázornený priebeh spotreby v danej domácnosti v roku 2019. Keďže má domácnosť na streche domu inštalované fotovoltaické zariadenie, tak je spotreba rodinného domu čerpaná alebo priamo z fotovoltaického systému, alebo z batérií, v ktorých je elektrina uložená z fotovoltaického systému, alebo z distribučnej siete ako zvyčajne. V tomto prípade v roku 2019 domácnosť odobrala z distribučnej siete pre svoju potrebu 21 % elektriny, z batérií 40 % a priamo z výroby fotovoltaického systému 38 %.

Pri správnom nastavení veľkosti batériového systému, pri ktorom nedochádza k dodávke prebytkov do distribučnej siete, však takmer vždy dochádza k dodatočnému odberu elektriny z distribučnej siete v prípade potreby. Preto musíme konštatovať, že fotovoltaický systém s akumuláciou nie je určený na autonómny chod domácnosti bez pripojenia do distribučnej siete. Objem elektriny odoberanej z distribučnej siete rastie najmä v období s nízkou intenzitou slnečného osvetlenia a teda, keď je dráha slnka po oblohe najkratšia.

Cieľom fotovoltaických systémov s akumuláciou je znížiť objem elektriny odoberanej z distribučnej siete na minimum.

Obr. 6.66 Priebeh hodnoty SOC za rok 2019



SOC je veličina, ktorá je vzorcom kalkulovaná podľa hodnoty napätia na batériách. SOC je hodnota nabitia batérie a vyjadruje sa v %. Opačnou veličinou k tejto hodnote je DOD a tá vyjadruje hĺbku vybitia. Pri identifikácii stavu batérií sa zvyknú používať oboje. Na grafe je znázornený priebeh hodnoty SOC v danom fotovoltickom systéme s akumuláciou počas roka 2019. Z grafu je jasne zreteľné, že hodnota SOC počas roka 2019 neklesla pod úroveň 50 %. Je nutné pripomenúť, že v tomto prípade boli použité gélové olovené batérie, pre ktoré je táto charakteristika známa. Olovené batérie sa totiž vo fotovoltickom systéme nesmú vybíjať do tzv. úplnej 0. Vybitie batérie do stavu hodnoty SOC = 0 % pri olovených batériách znamená, že batéria už nemusí byť nikdy schopná podržať napätie na jej článkoch. Pri úplnom vybití dochádza k deformácii katódy, ktorá už ďalej môže strácať schopnosť prijímania elektrónov v procese nabíjania. V jednoduchosti povedané, batéria stráca kapacitu a úplne ľudovo povedané svoju výdrž. Lítiové batérie uvádzajú podľa technického listu hodnotu SOC až 20 %, to znamená, že v bežnej praxi je možné využívať až 80 % ich kapacity. To samozrejme vrhá úplne nové svetlo do problematiky komponovania batérií do fotovoltických systémov s akumuláciou, pretože pri dosiahnutí rovnakého využiteľného spektra energie pri olovenej a lítiovej batérii je potrebné pracovať s inou hodnotou celkovej kapacity batérie, a to má samozrejme vplyv na cenu batérie.



## 6.3 Energia prostredia – tepelné čerpadlá

Základnou koncepciou tepelných čerpadiel (ďalej TČ) je transformácia energie z nízkoenergetického tepla na vyšší teplotný potenciál s možnosťou priameho využitia. Spravidla sa energia získava z obnoviteľného zdroja, alebo z odpadného tepla inak nevyužiteľného. Na túto transformáciu sa používa energia na pohon zariadenia, ktorá je výrazne nižšia, ako energia v tomto procese získaná. Z tohto dôvodu sa tepelné čerpadlá radia k alternatívnym zdrojom energie.

Typ TČ je určený druhom média, z ktorého sa energia získava a média, do ktorého sa energia transformuje:

- voda / voda,
- zem / voda,
- vzduch / voda,
- vzduch / vzduch.

Vlastnosť TČ je rozlíšená pohonnou jednotkou a palivom, resp. energiou spotrebovanou v pohonnej jednotke:

- kompresorové elektrické,
- kompresorové plynové,
- absorpčné,
- adsorpčné.

### História tepelných čerpadiel

Základnú myšlienku princípu tepelného čerpadla vyslovil už v roku 1852 Lord Kelvin vo svojej druhej termodynamickvej vete. Prvé tepelné čerpadlo zostrojil americký vynálezca Robert C. Webber v roku 1940, išlo však iba o náhodu. Pri experimentovaní s mraziacimi zariadeniami sa nechtiac dotkol výstupného zariadenia, ktoré ho popálilo.

### 6.3.1 Princíp činnosti tepelných čerpadiel

Základnými časťami tepelného čerpadla sú výparník, kondenzátor, kompresor, expanzný ventil a vhodné chladivo. Tieto hlavné zariadenia umožňujú vďaka vlozenej energii na pohon prečerpať energiu z primárneho zdroja na sekundárnu stranu. Na primárnej strane sa „vyrába“ chlad, na sekundárnej výstupnej strane teplo. Preto tepelné čerpadlo je možné používať v režime chladenia aj v režime vykurovania. Princíp činnosti je na uplatnení fyzikálnych zákonov.

#### Prvá veta termodynamická

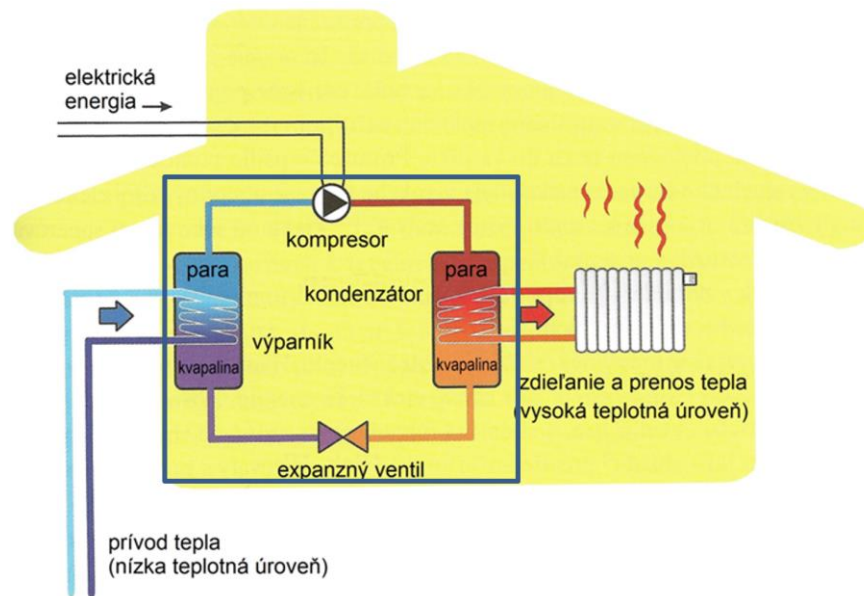
Množstvo energie v uzavretej sústave je konštantné. Energia môže byť premenená len na inú formu energie, ale nemôže dôjsť k jej strate, alebo nárastu.

#### Druhá veta termodynamická

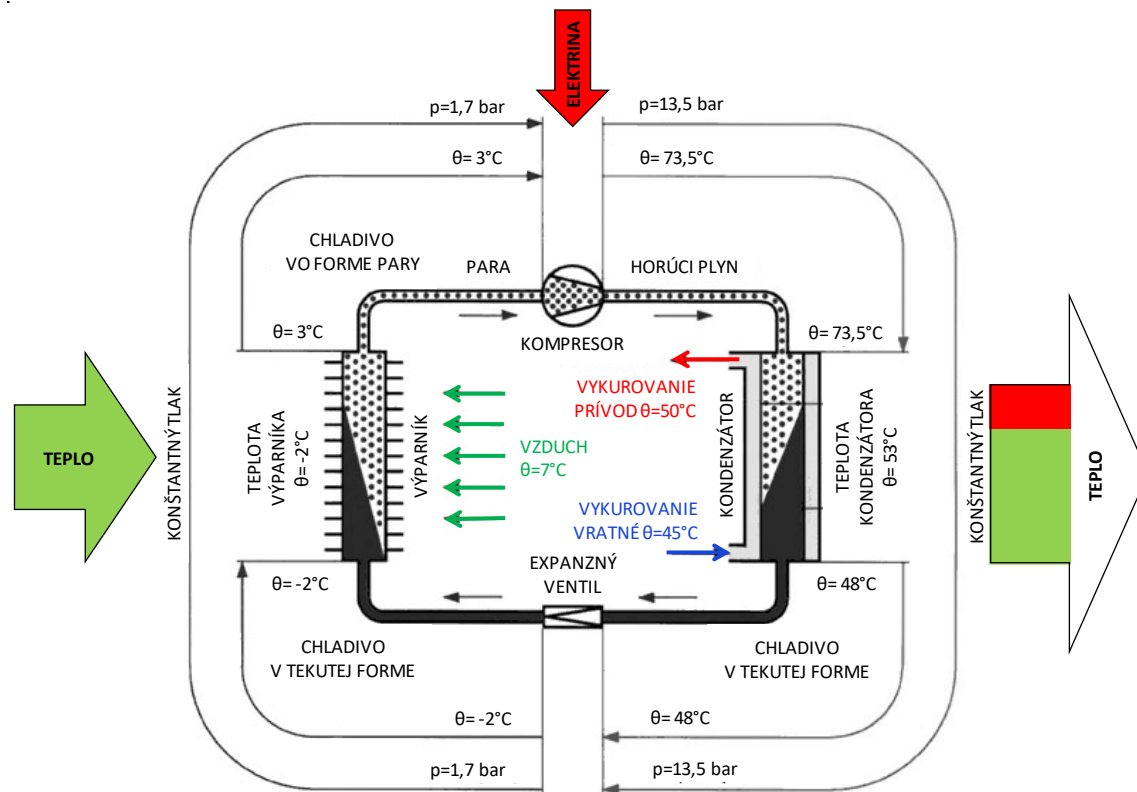
Teplo sa prenáša len z prostredia s vyššou teplotou do prostredia s nižšou teplotou.

Práve druhá veta termodynamická je dôvodom, prečo na prenos tepla z chladnejšieho do teplejšieho prostredia je potrebné TČ. Na tento prenos je potrebné dodať do TČ energiu na pohon. Princíp všeobecne známy ako pracuje TČ je chladnička v domácnosti. Ochladzované potraviny sú prostredie, z ktorého čerpáme energiu pomocou výparníka. Na pohon chladničky slúži kompresor, ktorý potrebuje energiu na pohon (najčastejšie elektrinu). Zadná strana chladničky obsahuje kondenzátor, ktorý je pri činnosti teplý, pomocou ktorého sa odovzdá celková energia do prostredia v danom prípade miestnosti. Táto tepelná energia sa využíva pri prevádzke TČ na vykurovanie, ohrev médií, alebo iných zariadení.

Obr. 6.67 Princíp kompresorového tepelného čerpadla



Obr. 6.68 Princíp funkcie tepelného čerpadla s definovaním stavov chladiacej zmesi



Poznámka: Údaje sú odlišné pri zmene prevádzkového režimu, alebo použití iného chladiiva

Zdroj: F. Vranay

Na Obr. 6.67 a Obr. 6.68 je schematicky vyjadrená činnosť TČ a toky energií v rámci pracovného cyklu. Podstatné pre samotnú činnosť je chladivo, ktorým je plnený systém, a práve ono pri cirkulácii svojimi skupenskými zmenami zabezpečuje možnosť prečerpávať energiu. Vlastnosti chladiva (teplota varu a teplota skvapalnenia pri určitých tlakoch) určujú pracovný rozsah TČ. Bežné prevádzkové teploty ochladzovaného prostredia na primárnej strane sú cca -20 až +25 °C.

Hodnoty v zátvorkách sa vzťahujú k Obr. 6.68. Chladivo vo výparníku pri odparovaní odoberá teplo z daného prostredia (vzduch  $\theta=7$  °C). Ochladzovaným prostredím môže byť zem, voda, vzduch. Chladivo vo forme pary vstupuje do kompresora ( $\theta=3$  °C a  $p=1,7$  bar). Po stlačení sa výrazne zvýši tlak plynov a ich teplota ( $\theta=73,5$  °C a  $p=13,5$  bar). V kondenzátore prídu do kontaktu cez steny výmenníka s chladnejšou vykurovacou vodou ( $\theta=50/45$  °C), čím plyny skondenzujú a odovzdajú svoju tepelnú energiu bez zmeny tlaku ( $\theta=48$  °C a  $p=13,5$  bar). Na sekundárnej strane sú teploty ohrievaného prostredia pri bežných TČ v rozsahu cca +25 až +55 °C. Expanzný ventil má za úlohu prepúšťať (vstrekovať) chladivo v kvapalnej forme do potrubia s výparníkom. Po znížení tlaku za expanzným ventilom sa zníži teplota a tlak ( $\theta=-2$  °C a  $p=1,7$  bar). Táto látka opätovne vstupuje do výparníka, kde zmenou na plynné skupenstvo odoberie z okolia teplo. Proces sa takto opakuje.

Najbežnejšie chladivá používané v tepelných čerpadlách sú R407C a R410A.

Tab. 6.2 Teplotné hodnoty bežne používaných chladív v TČ

označenie	názov	bod varu pri tlaku 1 bar (0,1 MPa)	teplota skvapalnenia pri 26 baroch (2,6 MPa)
R 12	Dichlorfluormetan	-30 °C	86 °C
R143a	1,1,1,2 + Tetrafluoretan	-26 °C	80 °C
R290	Propan	-42 °C	70 °C
R4040A	zmes fluorovaných uhľovodíkov	-47 °C	55 °C
R407C	zmes fluorovaných uhľovodíkov	-45 °C	58 °C
R410A	zmes fluorovaných uhľovodíkov	-51 °C	43 °C
R600A	Bután	-12 °C	114 °C
R717	Amoniak	-33 °C	60 °C
R744	CO <sub>2</sub>	-57 °C	-11 °C
T1070	Propen	-48 °C	61 °C

### 6.3.2 Energetická efektívnosť tepelných čerpadiel

#### Energetická efektívnosť tepelných čerpadiel podľa COP

Pri transformácii tepla je energetická efektívnosť charakterizovaná výkonovým číslom. Označuje sa COP (z anglického „coefficient of performance“ = „výkonové číslo“, alebo tiež používaný „vykurovací faktor“) a vyjadruje pomer:

$$COP = \frac{\text{vyrobená tepelná energia}}{\text{dodaná energia na pohon TČ}} = \frac{Q_t}{Q_e} \quad [-] \quad (6.2)$$

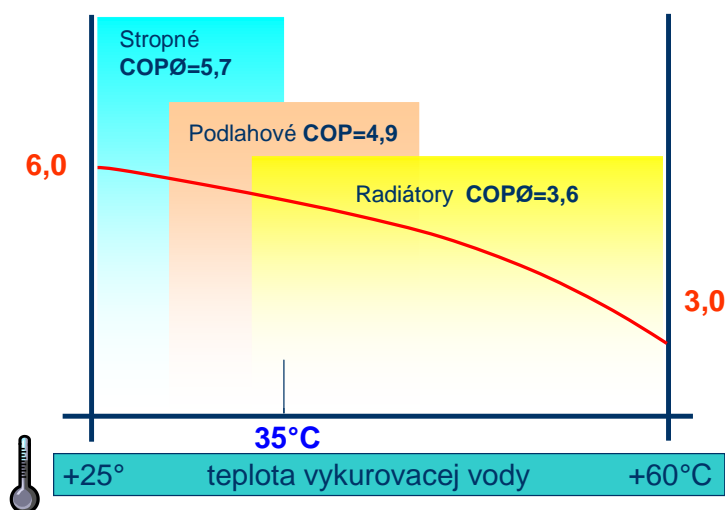
kde: podľa Obr. 6.70

$Q_t$  vyrobená energia je nameraná meračom M2,

$Q_e$  dodaná energia na pohon TČ je nameraná elektromerom E2.

Čím vyššia je hodnota COP, tým sme schopní získať viac užitočnej tepelnej energie na jednotku dodávanej pohonnej energie. TČ je teda energeticky účinnejšie. Táto hodnota sa často používa pre porovnávanie TČ s rovnakým druhom pohonnej energie. Hodnota COP ale nie je konštantnou. Vplýva na ňu teplotné pásmo, v ktorom čerpadlo pracuje (výparná teplota a kondenzačná teplota pracovnej látky v TČ). V zásade platí, že pri nižšom rozdiel teplot medzi ochladzovaným a zohrievaným médiom je vyššia hodnota COP. Ochladzované médium sa deklaruje ako primárna strana a ohrievané médium ako sekundárna strana tepelného čerpadla. Preto je výhodné nasadzovať TČ do systémov nízko teplotných. Pri vykurovaní je to podlahové, stenové, resp. stropné vykurovanie, alebo nízko teplotné radiátorové vykurovanie. Na Obr. 6.69 je zobrazený priebeh hodnoty COP počas vykurovania pre rôzne druhy vykurovacích systémov. Najlepší z hľadiska porovnania COP je systém s najvyššou hodnotou.

Obr. 6.69 Celoročný priebeh hodnoty COP pri prevádzke TČ poháňaného elektromotorom (voda/voda) pri rôznych druhoch vykurovania počas vykurovacej sezóny



Pozn.: Teplota primárnej vody sa uvažuje v danom prípade 10 °C.

Zdroj: F. Vranay

Z obrázka je vidieť, že pre aplikáciu TČ je najvýhodnejší systém stropného, resp. stenového vykurovania. Teplota vykurovacej vody sa počas vykurovacej sezóny pohybuje medzi hodnotami 25 – 35 °C s priemernou hodnotou COP cca 5,7. Pri bežnom vykurovaní radiátormi medzi 32 – 60 °C s priemerným COP cca 3,6. Využitie TČ je možné aj pri iných aplikáciách, napr. ohrev teplej vody, ale aj v procese výroby chladu.

### Energetická efektívnosť tepelných čerpadiel podľa SPF

Pri dodávke tepelnej energie, do procesu vstupujú aj ďalšie zariadenia, hlavne na dopravu média na primárnej, ale aj sekundárnej strane TČ. Sú to hlavne sacie a cirkulačné čerpadlá. Ich podiel na celkovej spotrebovanej energii sa v sezóne výroby tepla mení. Vyjadrením je energetická efektívnosť cez hodnotu SPF (z anglického „seasonal performance faktor“ = „sezónny výkonový faktor“). Do procesu dodávky energie na distribúciu a spotrebu zahŕňame aj energiu na prevádzku bivalentného zdroja. V prípade elektrických tepelných čerpadiel chýbajúci výkon je doplnený bivalentným zdrojom BZ=(elektrická špirála, elektrokotol, ...). Tento zdroj môže byť súčasťou TČ a preto sa podieľa na jeho celkovej spotrebe. Obeh vody v systéme zabezpečujú obehové čerpadlá ČO.

$$SPF = \frac{\text{vyrobená tepelná energia}}{\text{dodaná energia na pohon (TČ + BZ + ČO)}} = \frac{Q_t}{Q_d} \quad [-] \quad (6.3)$$

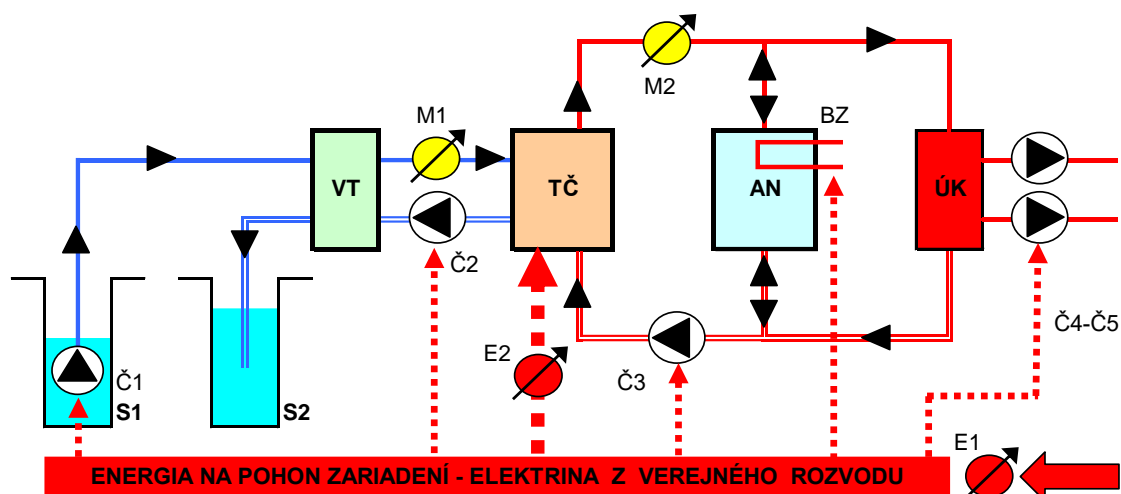
kde: podľa Obr. 6.70

$Q_t$  vyrobená energia je nameraná meračom  $M_2$ ,

$Q_d$   $E_1$  = energia na pohon TČ + pohon BZ + ČO (elektrická energia na čerpadlá obehové Č1 - Č5).

Hodnota SPF je preto vždy nižšia ako hodnota COP. Zníženie ovplyvňuje činnosť podporných systémov, čiže ich účinnosť na celkovej transformácii a doprave tepla. Do ekonomických, ale aj energetických porovnaní je preto nutné používať hodnotu SPF, ktorá vystihuje reálne prevádzkové spotreby energií a náklady za porovnávacie obdobie. Spôsob zapojenia TČ v systéme výroby tepla je veľmi rôznorodý a je ho možné zapojiť samostatne (monovalentný systém), alebo ho kombinovať aj s inými zdrojmi (systém bivalentný, trivalentný,...).

Obr. 6.70 Schéma zapojenia tepelného čerpadla voda/voda v systéme výroby tepla pre vykurovanie v bivalentnom zapojení



**LEGENDA :**

**VT** VÝMENNÍK TEPLA  
**TČ** TEPELNÉ ČERPADLO VODA / VODA  
**M1-2** MERAČ TEPLA  
**E1-2** ELEKTROMER  
**AN** AKUMULAČNÁ NÁDRŽ TEPLA  
**ÚK** VYKUROVANÝ OBJEKT

**BZ** BIVALENTNÝ / ZÁLOŽNÝ ZDROJ TEPLA  
**S1-2** STUDŇA ZDROJOVÁ SACIA / VSAKOVACIA  
**VT** VÝMENNÍK TEPLA  
**Č1** ČERPADLO VÝTLAČNE V STUDNI  
**Č2-3** ČERPADLÁ CIRKULAČNÉ STROJOVNÁ  
**Č4-5** ČERPADLÁ CIRKULAČNÉ OBJEKTOVÉ

Zdroj: F. Vranay

Schéma popisuje základné prvky, ktoré slúžia na prenos tepelnej energie z OZE (voda v studni), jej transformáciu na vyšší energetický potenciál (TČ zvyšuje teplotu vody vykurovacej o energiu odobratú zo studne a energiu práce elektrinou poháňaného kompresora premenenú na teplo). Pre účely vyhodnotenia práce systému a energetickej účinnosti sú rozhodujúce namerané veličiny.

**Energia elektrická:**

$Q_{e1}$  = energia elektrická nameraná elektromerom  $E_1$  = (kWh) spotrebovaná na prevádzku celého systému (spotrebiče TČ, čerpadlá Č1-Č5, BZ bivalentný zdroj elektrická špirála),

$Q_{e2}$  = energia elektrická nameraná elektromerom  $E_2$  = (kWh) spotrebovaná v TČ na jeho prevádzku.

**Energia tepelná:**

$Q_{t1}$  = energia tepelná nameraná meračom tepla  $M_1$  = (kWh) získaná z vody z OZE (studňa),

$Q_{t2}$  = energia tepelná nameraná meračom tepla  $M_2$  = (kWh) vyrobená v TČ a použitá na dodávku do systému (v danom prípade do vykurovania).

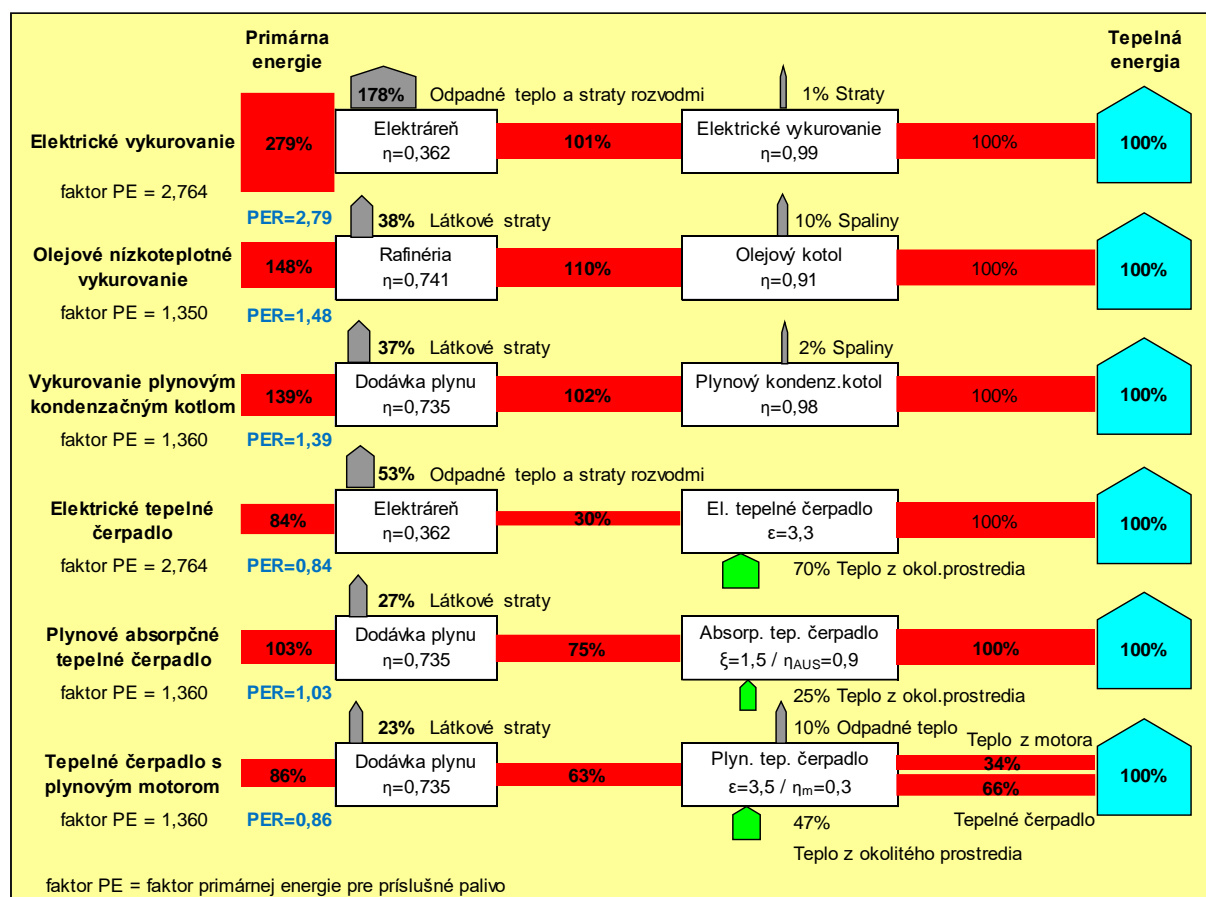
## Energetická efektívnosť tepelných čerpadiel podľa PER

Objektívnejšie vyjadrenie energetickej efektívnosti je možné hodnotou stupňa využitia primárnej energie PER (z anglického „primary energy rate“ = „stupeň využitia primárnej energie“):

$$PER = \frac{\text{spotrebovaná primárna energia}}{\text{získaná užitočná energia}} = \frac{Q_t}{Q_d} \quad [-] \quad (6.4)$$

Využívaných palív alebo energií na pohon TČ je viac druhov, preto aj metodika všeobecného porovnávania cez hodnotu COP je neobjektívna. Do porovnania cez hodnotu PER takto vstupuje tepelná energia obsiahnutá v primárnom palive, vyjadrená jeho výhrevnosťou na jednotku získanej užitočnej tepelnej energie. Pomocou hodnoty PER je možné porovnávať ľubovoľné energetické systémy na výrobu tepla, chladu, elektrickej energie s rôznymi druhmi pohonnej energie. Najlepší z hľadiska porovnania PER je systém s najnižšou hodnotou.

Obr. 6.71 Spotreba primárnej energie pri rôznych systémoch transformácie tepla



Zdroj: F. Vranay

kde:

- $\eta$  účinnosť premeny (transformácie) energie [-],
- $\epsilon$  sezónny výkonový faktor (SPF) [-],
- PE faktor primárnej energie pre príslušné palivo [-],
- PER stupeň využitia primárnej energie [-].

Poznámka: Elektrické vykurovanie: Potreba tepelnej energie pre objekt činí 100 %. Účinnosť premeny elektrickej energie na teplo v objekte je s účinnosťou  $\eta = 99\%$ . Straty elektrickej energie = 1 %, do objektu musíme dodať 101 % energie. Priemerná účinnosť pri jej konverzii a distribúcii elektrárňo-odberné miesto  $\eta = 0,362$ . Je vyjadrená obrátenou hodnotou faktoru primárnej energie ( $PE = 1/0,362 = 2,764$ ). Pre získanie 101 % elektrickej energie pre objekt energetické straty sú =178 %. Potrebná energia dodaná v palivách = 279 %. Hodnota ( $PER = 279\% / 100\% = 2,79$ ). V tabuľke je to najnepriaznivejšia hodnota v porovnaní s inými systémami. Elektrické tepelné čerpadlo: Oproti priamemu elektrickému vykurovaniu je pri zhodnotení elektrickej energie vykurovanie tepelným čerpadlom voda/voda s hodnotou  $SPF = 3,3$  výrazne priaznivejšie. Dôvodom je, že do objektu je potrebné dodať len 30% energie vo forme elektriny. Rozdiel do 100 % je tvorený energiou získanou z obnoviteľného zdroja (teplo z vody, zeme, alebo vzduchu,...). Hodnota  $PER = 0,84$  činí tepelné čerpadlo najvýhodnejšie z pohľadu potreby primárnej energie. Pri porovnaní podľa PER je zohľadnený aj pôvod a miesto vstupujúcej energie použitej na pohon TČ. Je to vidieť hlavne pri elektrickej energii, kde vstupujú rôzne palivá s rôznou účinnosťou pri transformácii na elektrickú energiu. Do bilancie sa zahŕňajú ešte straty energie pri jej distribúcii a využití tepla, pri jeho spotrebe. Na Slovensku je skladba výroby elektrickej energie v pomere 66 % jadrová energia, 21 % z fosílnych palív, 13 % vo vodných elektrárňach (\*). Z pohľadu primárnej energie je množstvo premenenej energie na výsledné teplo definované. Percentuálne vyjadrenia jednotlivých tokov energie a paliva sú pre systémy s obvyklou priemernou účinnosťou. V tabuľke 6.3 sú odvodené aj produkcie emisií, ktoré sú vyprodukované v procese transformácie. Rozhodujúce pre prevádzku sú náklady za energiu pri dodávke tepla podľa jednotlivých systémov transformácie. Sú ovplyvnené rôznymi sadzbami, kde jednotkovú cenu ovplyvňuje veľa činiteľov (veľkoodberateľ, maloodberateľ, príslušný dodávateľ, cena distribúcie, poplatky za trvalé pripojenie,...). Preto je cenotvorbu nutné prehodnotiť na dané špecifické podmienky.

### 6.3.3 Nasadzovanie tepelných čerpadiel

#### Úspora primárnych energií

Primárnou nazývame energiu vo forme, v akej sa vyskytuje v prírode (nap: uhlie, ropa, zemný plyn, drevo, vietor, vodná energia, prírodný urán, slnečné žiarenie, ...).

Ako vyplýva z princípu TČ, množstvo dodanej energie na pohon je závislé od druhu pohonného zariadenia, jeho energetickej účinnosti, ale hlavne od prevádzkových podmienok, ktoré ovplyvňujú teploty na primárnej a sekundárnej strane TČ. Druh energie na pohon TČ určuje aj druh primárnej energie (v prípade elektrickej energie je pri jej získavaní primárnou energiou jadrové palivo, uhlie, plyn a energia z mechanického potenciálu vody). V prípade priamej spotreby plynu, je plyn aj primárnou energiou. Vo všetkých prípadoch ale ostatné podporné zariadenia (cirkulačné a výtlačné čerpadlá) pracujú pomocou elektrickej energie.

Účelom primárnej energie (tej, ktorú „musíme nakupovať“) je hlavne transformovať teplo z OZE na teplotný potenciál s možnosťou jeho priameho využitia. Pri tejto transformácii (mechanická práca) sa aj primárna energia premieňa na teplo a prispieva do celkovej bilancie tepla získaného pre spotrebu.

Jednou z realizácie úspor primárnej energie je snaha vytesniť jej potrebu energiou z OZE (energia, ktorú „nemusíme nakupovať“ = teplo z vody, zeme, vzduchu). Môžeme sem zaradiť aj odpadové teplo vhodné na využitie, ktoré však nemá charakter OZE.

Najvyšší podiel využitia OZE v systéme je možný voľbou vhodného zdroja TČ a prispôbenie odberného miesta, aby umožňovalo vysoko účinnú prevádzku, čo je možné vyjadriť vysokou hodnotou SPF.

#### Využitie domácej energie

Slovensko vlastní veľmi malé množstvo energetických zdrojov fosílného pôvodu. V procese výroby tepla sú v súčasnosti fosílny zdroje zastúpené vo vysokej miere. Nákup týchto palív výrazne zaťažuje obchodné saldo Slovenska. Povahou OZE je, že sa nachádzajú priamo v mieste spotreby. Druh a množstvo je závislé od prírodných daností a geologických pomerov (jedná sa o zdroje využiteľné pre TČ, t.j. voda, zem, vzduch, nepriamo aj slnko).

Využitie týchto zdrojov znamená zníženie potreby fosílnych palív s priamym dopadom na priaznivejšiu cenu tepla z OZE, a nepriamo aj podporu výroby a zamestnanosti.

## Zníženie emisií CO<sub>2</sub> pri výrobe energie

Obnoviteľné zdroje majú aj charakter nízkoemisnej, alebo bezemisnej energie. Pri ich využití produkciu emisií spôsobujú primárne zdroje na transformáciu a pohon zariadení. Základné potreby primárnych energií pri najbežnejších spôsoboch získavania tepla sú v tab. 6.3. Pre určenie emisií je rozhodujúca účinnosť, alebo transformácia dodanej energie na získanú tepelnú energiu. Energia dodaná priamo ku zdroju je meraná fakturačným meradlom a jej prináleží súčiniteľ emisií CO<sub>2</sub>. Údaje korekčných faktorov vyjadrujú účinnosť získania tepla, resp. transformáciu paliva na tepelnú energiu. Dodaná energia je súčinom získanej tepelnej energie a korekčného faktora. Vyprodukované emisie sú súčinom dodanej energie a súčiniteľa emisií CO<sub>2</sub>, a sú prevedené na transformáciu 1 MWh tepla príslušným spôsobom. Z pohľadu dodanej energie a emisií CO<sub>2</sub> je najvýhodnejšie použiť drevo, alebo tepelné čerpadlá.

Tab. 6.3 Výpočet vyprodukovaného množstva emisií CO<sub>2</sub> pri rôznych systémoch výroby tepla pri potrebe energie 100 kWh/m<sup>2</sup>

URČENIE VYPRODUKOVANÉHO MNOŽSTVA EMISIÍ CO <sub>2</sub>	potreba energie	prepočítavacie faktory			dodaná energia	primárna energia	emisie CO <sub>2</sub>
		podľa ( vyhláška 324/2016 Z.z.)					
SPOSOB VYKUROVANIA	kW/m <sup>2</sup>	transformacie	emisií CO <sub>2</sub>	primar.energie	kW/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	tona
zemný plyn	100	1,00	0,2200	1,10	100,0	110	22,0
zemný plyn TČ voda/voda	100	1,60	0,2200	1,10	62,5	69	13,8
LPG	100	1,00	0,2484	1,35	100,0	135	24,8
koks	100	0,73	0,3600	1,10	137,0	151	49,3
čierne uhlie	100	0,74	0,3600	1,10	135,1	149	48,6
hnede uhlie	100	0,70	0,3600	1,10	142,9	157	51,4
olej	100	0,90	0,2900	1,10	111,1	122	32,2
drevo pelety	100	0,86	0,0200	0,20	116,3	23	2,3
drevo štiepka	100	0,78	0,0200	0,15	128,2	19	2,6
drevo kusove	100	0,70	0,0200	0,10	142,9	14	2,9
drevo splyňovanie	100	0,83	0,0200	0,10	120,5	12	2,4
elektrina	100	0,99	0,1670	2,20	101,0	222	16,9
elektro TČ voda/voda	100	3,40	0,1670	2,20	29,4	65	4,9
elektro TČ vzduch/voda	100	2,60	0,1670	2,20	38,5	85	6,4
elektro TČ zem/voda	100	2,90	0,1670	2,20	34,5	76	5,8
CZT plyn/uhlie KOŠICE	100	0,74	0,2900	0,70	136,1	95	39,5

Zdroj: F. Vranay

### 6.3.4 Kritériá pre výber tepelného čerpadla a jeho návrh

Tepelné čerpadlo kompresorové, najčastejšie používané, je zdroj pracujúci na mechanickom princípe, s premenlivou účinnosťou, obmedzenou životnosťou a nárokmi na údržbu. Tieto vlastnosti ho radia k náročným zariadeniam s vysokou nadobúdacou cenou voči iným zdrojom tepla. Nevýhodou je aj úzky teplotný rozsah jeho využitia, ktorý je ovplyvnený druhom pracovnej látky v TČ. Preto sa kladie vysoký dôraz na jeho správny návrh a priaznivý prevádzkový režim.

Špecifiká pre použitie sú podrobnejšie popísané v kapitolách jednotlivých typov tepelných čerpadiel. Spoločným ukazovateľom je spôsob návrhu výkonu (veľkosti TČ) a jeho kombinácia s bivalentným zdrojom.

Potrebný výkon každého iného zdroja tepla (okrem TČ) sa dimenzuje tak, aby pokryl tepelné straty objektu. Výpočet tepelných strát objektu sa realizuje pri vonkajšej najnižšej výpočtovej teplote. Na území Slovenska sú od -18 do -11 °C. Lokality sa od seba líšia aj počtom vykurovacích dní, ktoré sú obmedzené vonkajšou priemernou dennou teplotou +13 °C. Výkon tepelného čerpadla je ale hodnota premenlivá. U vzduchových TČ je vonkajší vzduch zároveň zdrojom tepla. Nižšia teplota vzduchu spôsobuje požiadavku na vyššiu teplotu vykurovacej vody. Teda s klesajúcou teplotou vonkajšieho vzduchu klesá výkon, ale aj vykurovací faktor (COP). Tento fakt je zásadný pre návrh výkonu TČ.



U klasických TČ s kompresorom scroll alebo u väčších výkonov cca nad 50 kW s piestovými kompresormi, ktoré nemajú regulovateľný výkon, sa obvykle navrhuje na 75 % - 80 % maximálnych tepelných strát. Dôvodom je, aby pri nízkych tepelných stratách okolo +13 °C nedochádzalo v TČ k častému vypínaniu a zapínaniu (taktovaniu), čo má nepriaznivý dopad na jeho životnosť. Čiastočným riešením je zaradenie akumuláčnej nádrže do systému, ktorá predlžuje pracovné cykly TČ a znižuje počet štartov. Naakumulovaná energia z nádrže sa dodáva do systému, a až po vychladení nádrže následne zapína TČ. Pre správnu činnosť je rozhodujúci správny objem nádrže (odporúča sa 20-30 litrov na 1 kW výkonu TČ). Teplotný rozkmit v nádrži sa (teplota vypínacia a zapínacia pre TČ) pohybuje cca ± 2,5 °C okolo požadovanej teploty dodávanej do systému. Možnou alternatívou je použitie invertorových TČ s osadeným frekvenčným meničom, ktorý umožňuje meniť požadovaný výkon TČ v rozpätí cca 30 – 100 %. V tomto prípade je možné TČ navrhovať aj na maximálnu tepelnú stratu objektu aj bez nutnosti používať akumuláčnú nádrž. Do akumulácie sa započítava aj vodný objem systému vykurovania.

Podmienky / požiadavky:

- ✓ vhodný nízkoteplotný systém vykurovania alebo zásobovania teplom,
- ✓ maximálny požadovaný výkon (tepelná strata objektu, ...),
- ✓ pripojovacie parametre pohonnej energie, v prípade elektriny vhodnosť rozvodov a ich zaťažiteľnosť,
- ✓ nárok na prisúdenie výhodnej sadzby elektriny pre činnosť systému s TČ,
- ✓ riešenie odstávky TČ pri vysokej zaťaženosti rozvodnej siete, čas a dĺžka odstávky vo vysokej odberovej tarife elektrickej energie,
- ✓ pri väčších aplikáciách potreba samostatného merania strojovne TČ,
- ✓ pri prítomnosti aj iných energetických médií je potrebné ekonomické prehodnotenie vhodnosti použitia daného systému.

### 6.3.5 Návrh tepelného čerpadla

#### Návrh TČ na optimálny výkon - BIVALENTNÁ PREVÁDZKA

Popisované riešenie je rozumným kompromisom medzi investičnými a prevádzkovými nákladmi systému s TČ.

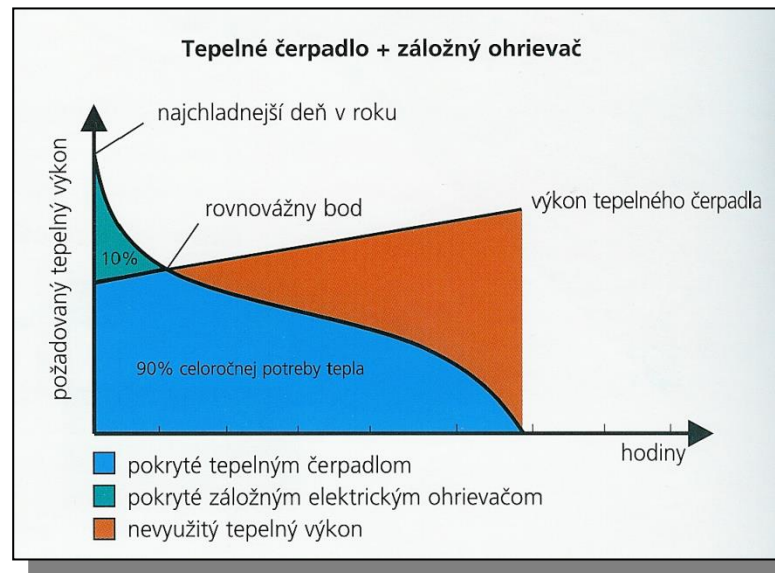
NÁVRH:

- určenie zaťaženia zdroja tepla (vykurovanie, ohrev teplej vody, ohrev bazéna, vzduchotechnika, chladenie),
- maximálna potreba výkonu (spravidla maximálna tepelná strata objektu),
- výkon TČ sa volí v rozpätí 65 – 80 % maximálnej potreby výkonu,
- výkon bivalentného zdroja je doplnkom do 100 % maximálnej potreby výkonu.

POPIS:

- TČ má premenlivý výkon v závislosti od teploty vykurovacej vody,
- chýbajúci výkon pri najchladnejších dňoch sa doplní o záložný ohrievač = bivalentný zdroj (pri vhodnom návrhu bivalentný zdroj pokrýva cca 5-10 % dodanej energie počas roka),
- teplota, pri ktorej je tepelná strata objektu rovná výkonu TČ, sa nazýva bod bivalencie (rovnovážny bod),
- pri teplotách vzduchu vyšších ako bod bivalencie TČ dodáva samostatne celý výkon. Jeho reguláciou sa eliminuje prebytočný výkon,
- pri teplotách vzduchu nižších ako bod bivalencie TČ dodáva výkon spolu s bivalentným zdrojom. TČ pracuje spravidla bez prestávky na plný výkon
- v prípade poruchy TČ bivalentný zdroj je schopný zabezpečiť aspoň minimálnu dodávku tepla.

Obr. 6.72 Celoročný priebeh energetického pokrytia dodávky tepla tepelným čerpadlom a záložným zdrojom v bivalentnej prevádzke



Zdroj: F. Vranay

#### PRÍKLAD – TEPELNÉ ČERPADLO vykurovanie, ohrev teplej vody a ohrev vonkajšieho bazéna:

Príklad pre dodávku tepla na vykurovanie, ohrev teplej vody a ohrev vonkajšieho bazéna so vstupnými parametrami z príkladu OHREV SOLÁRNYM SYSTÉMOM. Pre porovnanie uvádzam rovnaký objekt s rovnakými parametrami. Dodávka tepla sa realizuje tepelným čerpadlom voda/voda.

Zásady pre návrh systému:

- Tepelné čerpadlo voda/voda. Návrh výkonu TČ pri maximálnej potrebe tepla je na 78 % výkonu. Chýbajúci výkon dodáva elektrická špirála.
- Dáta pre exteriér boli uvažované pre rok 2017 (teploty vzduchu, teplota primárnej vody v studni = 10 °C).
- Systém bol nastavený tak, aby tepelné čerpadlo pokrylo pri maximálnej potrebe 78 % energie priamo. Jedná sa o najchladnejšie dni v mesiaci január a december, chýbajúci výkon doplnil bivalentný zdroj tepla = elektrická špirála.
- Pre možnosť porovnania solárneho systému s plynovým kotlom a systému s elektrickým tepelným čerpadlom som použil neštandardnú mesačnú metódu aj pre tepelné čerpadlo. Výpočet som realizoval aj dennostupňovou metódou, ktorú ale pre zložitosť výpočtu neuvádzam. Obe metódy majú rovnaké energetické výstupy.
- Pri výpočte má prioritu vykurovanie, nakoľko použitý systém je nízkoteplotný (podlahové vykurovanie, max 40 °C) a pre celkovú bilanciu je výhodnejšie chýbajúcu energiu dohriať bivalentným zdrojom na ohrev teplej vody, ktorá má celoročne teplotu 50 °C.
- Ohrev bazéna vonkajšieho (27 °C) je len v letných mesiacoch, kedy tepelné čerpadlo má dostatok prebytočného výkonu.
- Záverečné posúdenie je vo finančnom vyjadrení v porovnaní s plynom. Cena plynu bola určená pre SPP domácnosť v tarife D3 pre rok 2020. Elektrina je uvažovaná pre domácnosť v tarife EKO DOM (DD6) pri cene 0,143 €/kWh. Prevádzka tepelného čerpadla je len v nízkej tarife 22 hodín počas dňa.
- Náklady na výrobu tepla celého systému bez soláru, plynom sú (23.367 kWh) = 1.097,- € s DPH za rok.

- Náklady na výrobu tepla celého systému bez soláru tepelným čerpadlom sú (23.368 kWh) = spotrebovaná elektrická energia na pohon TČ a bivalentného zdroja je (5.375 kWh) = 769,- €.
- Prínos tepelného čerpadla (úspora nákladov voči ohrevu plynom) je = 328,- € s DPH za rok.
- Náklady investičné na realizáciu tepelného čerpadla sú závislé od podmienok inštalácie, prípadne od využitia dotačných programov. Preto investičné náklady neuvádzam.

Vstupné parametre pre štandardný rodinný dom: použité z príkladu Solár obrázok 6.38 Do výpočtu prevzatá celková potreba tepla vrátane (potreba tepla kWh – po mesiacoch) vykurovania, ohrevu teplej vody a ohrevu exteriérového bazéna. Parametre výpočtu tepelného čerpadla sú v Tab. 6.4.

Tab. 6.4 Parametre prevádzky systému s tepelným čerpadlom voda/voda - v režime vykurovania, ohrevu vody a ohrevu bazéna

VSTUPNE UDAJE						VÝROBA TEPLA															
mesiac	vzduch		OBJEKT prevádzka				potreba teplo	PRIMAR			VODA OHREV			TEPELNÉ ČERPADLO					TČ + ÚK = SYSTÉM		BIVAL. ZDROJ
	ext	te	PVD	UK	VT	NT		vstup.	výtok.	nadrz	dodávky		chod			Čerpadlá		spolu			
	°C	dni	hod	hod	hod	hod	°C	°C	°C	COP	možnosť	skutočnosť			elektrina	SPF	teplo				
	-13	-	24	2	22		10,0	45,0	15,0	-	kW	kWh	kWh	hod	kWh	kWh	-	potreba kWh			
1	-7,8	31	744	62	682	3 705	10,0	45,0	45,0	4,69	5,62	3 705	790	658,8	132	20	3,93	0,0			
2	0,5	28	672	56	616	2 429	10,0	45,0	42,0	5,05	5,74	2 429	481	423,4	85	13	4,20	0,0			
3	6,9	31	744	62	682	2 414	10,0	45,0	39,0	5,42	5,85	2 414	446	412,7	83	12	4,46	0,0			
4	8,9	30	720	60	660	1 536	10,0	45,0	36,0	5,78	5,96	1 536	266	257,6	52	8	4,73	0,0			
5	15,5	31	744	62	682	1 053	10,0	45,0	33,0	6,14	6,08	1 053	171	173,3	35	5	4,98	0,0			
6	19,7	30	720	60	660	1 062	10,0	45,0	30,0	6,51	6,19	1 062	163	171,6	34	5	5,24	0,0			
7	19,6	31	744	62	682	1 157	10,0	45,0	30,0	6,51	6,19	1 157	178	187,0	37	6	5,24	0,0			
8	21,5	31	744	62	682	1 050	10,0	45,0	33,0	6,14	6,08	1 050	171	172,8	35	5	4,98	0,0			
9	15,0	30	720	60	660	770	10,0	45,0	36,0	5,78	5,96	770	133	129,1	26	4	4,73	0,0			
10	8,0	31	744	62	682	1 983	10,0	45,0	39,0	5,42	5,85	1 983	366	339,0	68	10	4,46	0,0			
11	4,1	30	720	60	660	2 616	10,0	45,0	42,0	5,05	5,74	2 616	518	456,0	91	14	4,20	0,0			
12	0,3	31	744	62	682	3 593	10,0	45,0	45,0	4,69	5,62	3 593	766	638,9	128	19	3,93	0,0			
	9,38	365	8 760	730	8 030	23 368				COP TČ =	5,251		23 368	4 450	4 020,3	804	121	4,348	0,00		

Zdroj: F. Vranay

### Návrh TČ na maximálny výkon - MONOVALENTNÁ PREVÁDZKA

Popisované riešenie využíva ako zdroj tepla len tepelné čerpadlo. Prevádzka je najlacnejšia, avšak investičné náklady na TČ a súvisiace zariadenia sú vyššie.

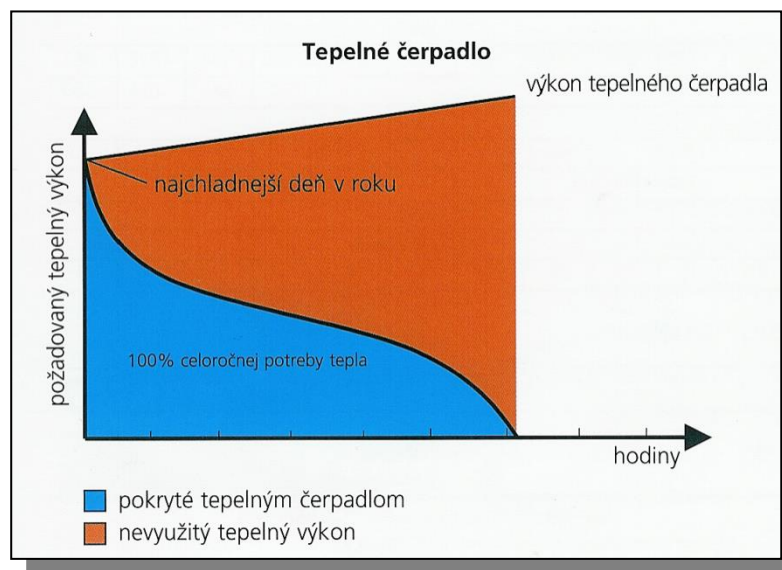
NÁVRH:

- určenie zaťaženia zdroja tepla (vykurovanie, ohrev teplej vody, vzduchotechnika, chladenie),
- maximálna potreba výkonu (spravidla maximálna tepelná strata objektu),
- výkon TČ sa volí na 100 % maximálnej potreby výkonu,
- bivalentný zdroj nie je.

POPIS:

- TČ má premenlivý výkon v závislosti od teploty vykurovacej vody,
- celý potrebný výkon zabezpečuje TČ počas celého roka,
- pri vyšších teplotách vzduchu, jeho reguláciou sa eliminuje prebytočný výkon (vhodné kombinovať TČ s akumulacnou nádržou),
- vzhľadom k vysokému výkonu TČ sú vyššie investičné náklady,
- v prípade poruchy je objekt bez zdroja tepla.

Obr. 6.73 Celoročný priebeh energetického pokrytia dodávky tepla tepelným čerpadlom pri monovalentnej prevádzke



### Návrh TČ - BIVALENTNÁ PREVÁDZKA SO ZÁLOŽNÝM ZDROJOM

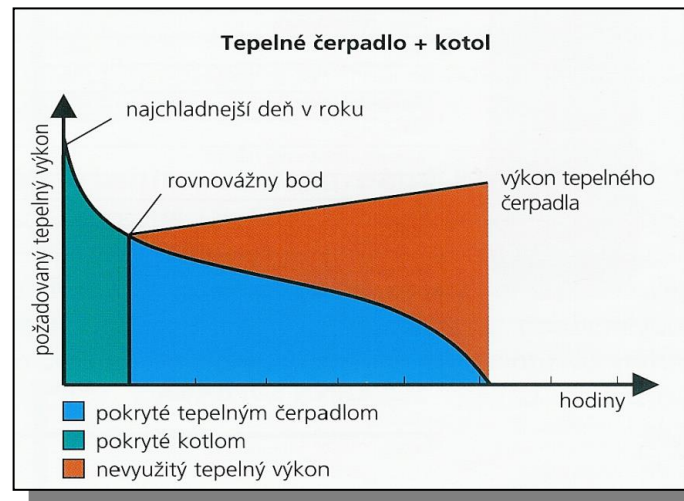
Popisované riešenie využíva TČ na dodávku tepla len po teplotu bivalencie, kedy je účinnosť TČ vysoká. Pri nižších teplotách vzduchu pod bodom bivalencie celý výkon dodáva záložný zdroj. Systém TČ je lacnejší, účinnosť TČ vysoká. Bivalentný zdroj je nákladnejší na investície. Toto riešenie kombinácie zdrojov je výhodnejšie pri TČ vzduch/voda, kde SPF TČ pri nízkych vonkajších teplotách je výrazne nižšie.

#### NÁVRH:

- určenie zaťaženia zdroja tepla (vykurovanie, ohrev teplej vody, vzduchotechnika, chladenie),
- maximálna potreba výkonu (spravidla maximálna tepelná strata objektu),
- výkon TČ sa volí v rozpätí 65 – 80 % maximálnej potreby výkonu,
- výkon bivalentného zdroja je 100 % maximálnej potreby výkonu.

#### POPIS:

- TČ má premenlivý výkon v závislosti od teploty vykurovacej vody,
- chýbajúci výkon pri najchladnejších dňoch sa doplní o záložný ohrievač = bivalentný zdroj (pri vhodnom návrhu bivalentný zdroj pokrýva cca 10-20 % dodanej energie počas roka),
- teplota, pri ktorej je tepelná strata objektu rovná výkonu TČ, sa nazýva bod bivalencie (rovnovážny bod),
- pri teplotách vzduchu vyšších ako bod bivalencie TČ dodáva samostatne celý výkon. Jeho reguláciou sa eliminuje prebytočný výkon,
- pri teplotách vzduchu nižších ako bod bivalencie TČ dodáva celý výkon len bivalentný zdroj,
- v prípade poruchy TČ bivalentný zdroj je schopný zabezpečiť celú 100 % dodávku tepla.



Zdroj: F. Vranay

### 6.3.6 Tepelné čerpadlo s primárnym zdrojom energie zem

Tepelné čerpadlá využívajú geotermálne teplo obsiahnuté v zemi (v pevnej látke). Na jeho využitie je potrebné realizovať vhodný výmenník tepla (kolektor). Jedná sa o uzavretý okruh tvorený rúrami z plastu, ktoré sú naplnené nemrznúcou zmesou (soľankou). Zmes je cirkulovaná cez potrubie kolektora (prívodné a vratné potrubie) do TČ, kde odovzdá energiu na transformáciu. Základné spôsoby odberu tepla sú:

- hlbinný kolektor = zemné suché vrtý o hĺbke 100-150 m,
- plošný kolektor, alebo výkopový s potrubiami v hĺbke 1,5-2,0 m,
- energetické pilóty.

#### Hlbinné vrtý

Podliehajú schvaľovaciemu procesu. Nevýhodou sú vysoké náklady na realizáciu. Pri väčších aplikáciách je nutné urobiť test TRT (thermal response test = test teplotnej odozvy), ktorý potvrdí výkon vrtu na 1 m hĺbky. Slúži na rozhodovanie o počte nutných vrtov pre využitie. V prevádzke vykurovania sa vrt dlhodobo podchladzuje, čím sa znižuje SPF tepelného čerpadla. Preto je výhodné vrtý využívať aj v letnej prevádzke v režime chladenia. Pri získavaní chladu sa podložie opätovne ohrieva odpadným teplom, čo napomáha regenerácii vrtu a jeho príprave na zimné obdobie. Do vrtu vstupuje potrubie prívodné na dne, cez oblúk sa vracia späť cez vratné potrubie do TČ pomocou cirkulačného čerpadla. Jedná sa o uzavretý okruh. Vrt sa po realizácii a osadení potrubí vyplní látkou (bentonit), ktorá zabezpečí prestup tepla medzi rúrkami a okolitou horninou. Pri väčšom počte vrtov sú rúry spájané paralelne, hydraulicky vyvážené a privádzané k TČ.

Zásady návrhu:

- Nerobiť vrtý pod objektom - odstup min 2 m (kvôli novej tlakovej vode).
- Od hĺbky 15 m už nepôsobí na vrt povrchová teplota (prvých 10 m sa do výkonu vrtu nezapočítava).
- Odstup vrtov je cca 10 % ich hĺbky (problém pri zvislom vrtaní, kde je možnosť prekríženia vrtov a tým ich vzájomnému ovplyvňovaniu).
- Optimálna hĺbka vrtu je cca 120 metrov. Pri väčších hĺbkach narastá čerpacia práca.
- Merný výkon pri odbere 1800 hodín prevádzky:
  - 25 W/m pre horšie podložie, suché sedimenty,
  - 60 W/m normálna pevná hornina, alebo vodou nasýtený sediment,
  - 84 W/m pevná hornina s vysokou tepelnou vodivosťou.

## Plošné kolektory

Realizujú sa horizontálne pod povrch terénu spravidla na vlastnom pozemku. Systém rúr s nemrznúcou zmesou odoberá teplo z okolia. Teplota zo zemného kolektora nie je stabilná, pretože osadenie je relatívne v malej hĺbke. Dopadom pre rastlinstvo nad zemnými kolektormi je posun vegetačného obdobia kvôli vychladeniu o cca 2 mesiace. Nad kolektormi neporastú a nie sú dovolené hlbokokoreňové rastliny.

Zásady návrhu:

- Pri ich realizácii je požiadavka na veľkú plochu pozemku.
- Plošný výkon pri odbere 1 800 hodín prevádzky do roka je:
  - o cca 10 W/m<sup>2</sup> pri suchej nesúdržnej hornine,
  - o 20 – 30 W/m<sup>2</sup> pri štrkoch a pieskoch,
  - o 40 W/m<sup>2</sup> pri pretekajúcej spodnej vode cez štrky a piesky.
- Kolektory sa nemajú osadzovať pod objekt. Hĺbka uloženia plastového potrubia je cca 1,5-2,0 m. Odstup rúrok je 0,5 až 1,0 m.
- Osadenie rúr je do tvaru meandra, špirály, alebo do tzv. slinku, kde je obmedzenie pre uloženie.
- Dĺžka okruhu kvôli optimalizácii čerpacej práce je max 150 m. Pri potrebe väčších výkonov sa okruhy spájajú paralelne a privádzajú do TČ.
- Cirkuláciu nemrznúcej zmesi zabezpečuje obehové čerpadlo.

## Energetické pilóty

V zásade ich využite je ako pri zemných vrtoch. Na energetický zisk sú využívané pilóty, ktoré slúžia na zakladanie stavieb. Jedná sa o pilóty vŕtané a následne betónované. Pri armovaní pilót sa osadia plastové potrubia, ktoré obalujú valcový tvar pilóty s krytím betónovou vrstvou. Výkon a prevedenie pilót je závislé od statických požiadaviek (hĺbka, priemer a rozostup).

Obr. 6.75 Spôsob odberu tepla pri zemných kolektoroch



Poznámka.: A- hlbinný vrt

B- plošný kolektor

C- plošný kolektor

### 6.3.7 Tepelné čerpadlo s primárnym zdrojom energie voda

Charakteristickou vlastnosťou TČ s primárnym zdrojom energie voda je zdroj OZE.

Základné spôsoby odberu tepla sú:

- voda podzemná,
- voda pôvodom povrchová.

#### Voda podzemná

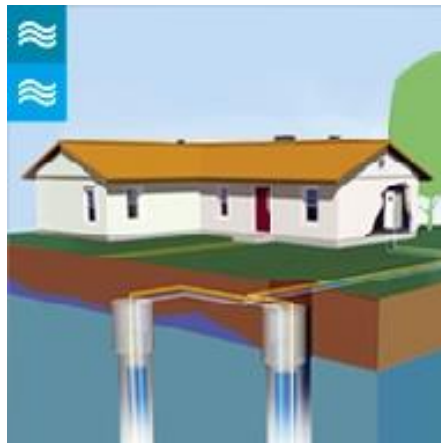
Najčastejšie sa využíva podzemná voda vzhľadom k jej celoročnej stabilnej teplote (v zimných mesiacoch 8 až 12 °C, v letných mesiacoch 11 až 15 °C.). Podmienkou využitia je jej dostupnosť a výdatnosť počas celého obdobia prevádzky TČ. V procese výroby tepla sa voda nespotrebuje, len sa z nej odoberie energia, voda sa ochladí a následne vráti späť do podzemia vsakovacou studňou. Tento proces vodu nijako neznehodnotí, ani nemení jej kvalitu. Teplota odčerpávanej vody počas roka osciluje okolo priemernej ročnej teploty vzduchu v mieste, kde sa nachádza systém s TČ. Vyššie teploty môžu byť spôsobené vplyvom geotermálnych procesov vo vrstve vodonosného podložia. Vyššia teplota je pre TČ výhodnejšia, nakoľko zvyšuje účinnosť výroby tepla. Pri termálne ovplyvnených vodách je ale predpoklad, že budú mať chemické zloženie, ktoré je nepriaznivé pre proces dopravy a odovzdávania tepla vo výmenníkoch. Aj pri vodách s nízkou tvrdosťou sa odporúča pred TČ predradiť oddelovací výmenník. Na primárnej strane medzi TČ a výmenníkom sa tak vsadí okruh s nemrznúcou zmesou (soľankou). Nemrznúca zmes zabraňuje vytváraniu námrazy v potrubí na strane výparníka.

Zásady návrhu:

- Existencia vhodného zdroja tepla z pohľadu výdatnosti počas celého obdobia prevádzky ( studňa, vrty, ...). Požadovaná výdatnosť vody 3-5 m<sup>3</sup>/hod pre 10-15 kW. Ochladenie vody je cca 4 °C (požaduje sa čerpacia skúška).
- Vhodná teplota a chemické zloženie vody vyjadrené tvrdosťou, obsah a zloženie mechanických častí v vode (vodný kal, ...).
- Existencia studne, alebo zariadenia na spätné navrátenie ochladenej vody do podložia s dostatočnou hĺbkosťou (požaduje sa vsakovacia skúška).
- Hĺbka hladiny vody, z ktorej bude čerpaná, nakoľko má význam pre čerpaciu prácu.
- Studne podliehajú schvaľovaniu na príslušných úradoch.
- Pri väčších výkonoch zdrojov je nutná hydrodynamická skúška, ktorá potvrdí požadovanú výdatnosť sacej aj vsakovacej studne. Skúška pozostáva z čerpania a rozboru kvality vody a merania jej teploty po dobu 14 dní.
- Je možné v systéme prevádzkovať súčasne aj viac studní, ak je to nutné,
- Rozhodujúce je rozloženie vrtov vzhľadom ku smeru toku podzemných vôd. Čerpacia studňa sa navrhuje na strane prívodu toku spodnej vody, vsakovacia po prúde, aby sací vrt nebol ovplyvnený vrátenou vodou.
- Vhodným riešením pre rýchlejšiu ekonomickú návratnosť je využitie použitej vody v TČ (už je vyčerpaná na povrchu) pre prevádzku objektu (úžitková voda, alebo voda na zavlažovanie).

#### Voda povrchová

Povrchová voda počas roka mení výrazne svoju teplotu, čím sa stáva pre energetické využitie síce vhodná, ale SPF systému s TČ je premenlivé. Počas zimných mesiacov sa môže stať, že teplota vody neumožní jej využitie cez bežné TČ. Podľa vzdialenosti od TČ je možné vodu buď priamo čerpať do strojovne a cez výmenník odoberať energiu a vrátiť, alebo na dno vodného toku, alebo do nádrže osadiť systém rúrok plošne ako pri zemných kolektoroch. Pri dimenzovaní a výpočte energetických účinností je potrebné zohľadniť špecifiká dané prostredím. Podľa druhu zdroja je schválenie podmienené príslušnými úradmi, kde je nutné doložiť aj prípadnú dopadovú štúdiu.



A- voda podzemná



B- voda pôvodom povrchová s odberom cez plošný kolektor

Poznámka:

### 6.3.8 Tepelné čerpadlo s primárnym zdrojom energie vzduch

Tepelné čerpadlá s primárnym zdrojom vzduch vývojovo najviac získali v dôsledku generačných zmien technológie kompresorov. Dnešné zariadenia sú schopné pracovať s primárnou látkou vzduch až do teploty  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  pri ešte akceptovateľnej účinnosti. Takéto podmienky sa v našich klimatických pásmach buď nevyskytujú, alebo veľmi zriedka. Pri celoročnej prevádzke, kde sa zohrieva aj teplá voda, vykazujú tieto TČ niekedy v letných mesiacoch (teplota vzduchu aj  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) aj vyššie účinnosti ako systémy s primárnym zdrojom voda. V celoročnej prevádzke tak môžu účinnosťou konkurovať systémom voda/voda a zem/voda pri neporovnateľne nižších investičných nákladoch. Pre prípadné extrémne nízke teploty vzduchu sa dopĺňa v prevádzke chýbajúci výkon bivalentným zdrojom tepla.

Základné spôsoby odberu tepla sú:

Systém vzduch / voda:

- kompaktné tepelné čerpadlo vo vnútornom prevedení,
- tepelné čerpadlo pre vonkajšiu inštaláciu.

Systém vzduch / vzduch:

- systém s vnútornou a vonkajšou jednotkou (split).

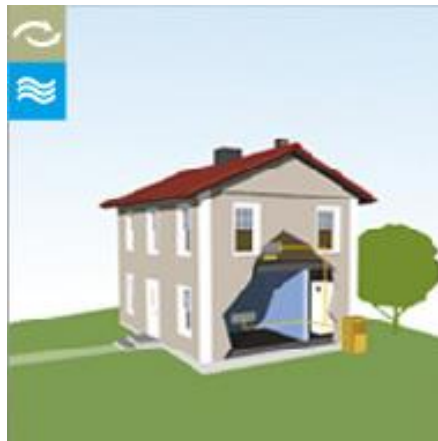
#### Kompaktné tepelné čerpadlo vo vnútornom prevedení - vzduch / voda

Podstatné pre konštrukciu je, že TČ je kompaktné. Vzduch sa privádza nasávacou a výfukovou hadicou, ktoré sú hlukovo a teplotne izolované. Vzduch po ochladení resp. ohriatí podľa druhu prevádzky (ohrev/chladenie) sa vyfukuje späť do ovzdušia. Systém vyžaduje minimálne stavebné úpravy, ktoré sú otvory na fasáde objektu opatrené žalúziami. Je potrebné zabezpečiť tok nasávaného a odvádzaného vzduchu tak, aby nedochádzalo k jeho opätovnému nasávaniu. Energia získaná vo forme teplej, alebo studenej vody je vedená do systému.

#### Tepelné čerpadlo pre vonkajšiu inštaláciu - vzduch / voda

Odlíšnosťou voči vnútornému prevedeniu je jednotka delená na dve časti. Výparníková časť je v exteriéri, kde cez výparník je ventilátorom preháňaný vzduch. Vnútorná časť obsahuje ostatné prvky a je spojená s exteriérovou potrubiami s cirkulujúcim chladivom. Z pohľadu účinnosti a využitia sú systémy zrovnateľné.





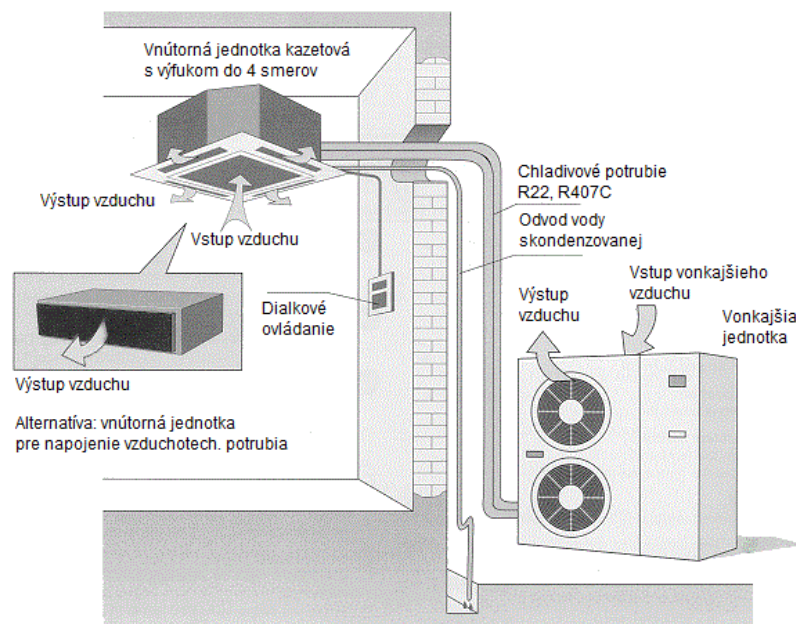
### System s vnútornou a vonkajšou jednotkou vzduch / vzduch

Tento systém sa bežne uvádza pod názvom split, multisplit a VRV. Technologicky je to tepelné čerpadlo s jednou vonkajšou jednotkou so vzduchom chladeným kondenzátorom a vnútornými jednotkami. Rozvod je chladivový dvoj-, alebo trojrúrovňový podľa prevedenia.

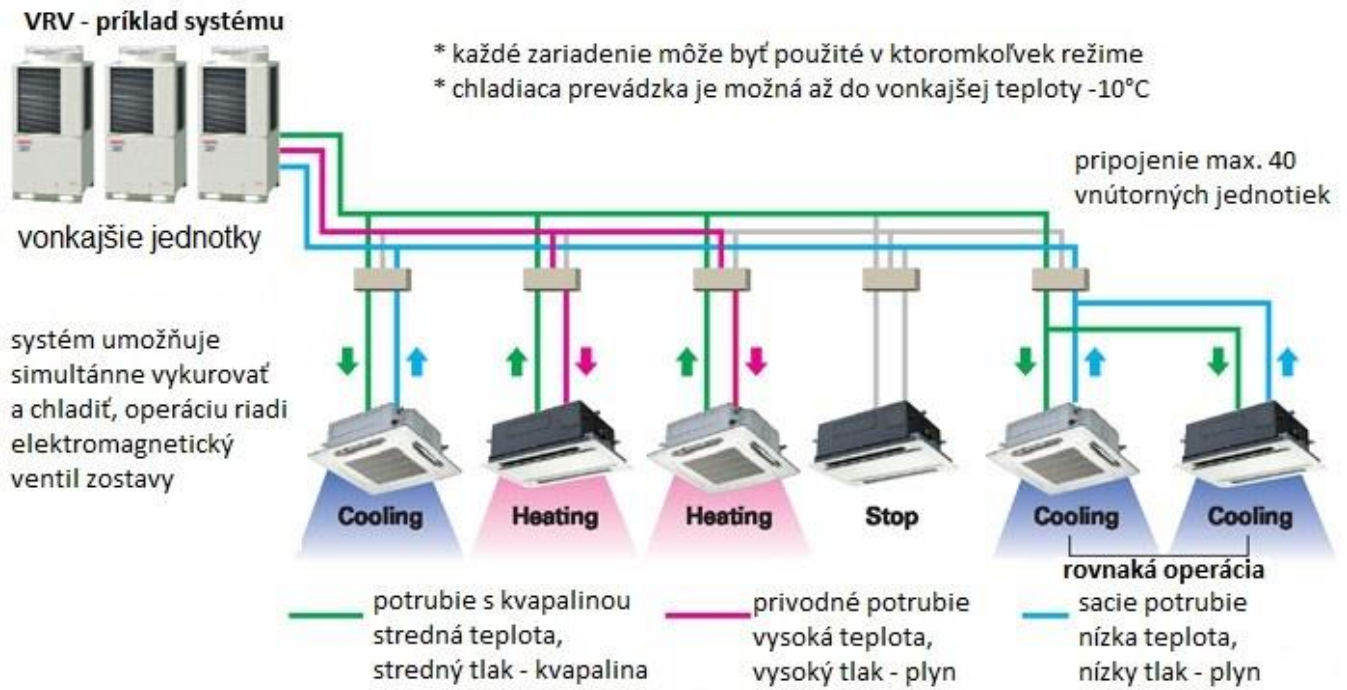
- split: 1 vonkajšia + 1 vnútorná jednotka (chladí alebo vykuruje),
- split: 1 vonkajšia + 2 vnútorné jednotky (s rovnakým chladiacim výkonom pričom jedna jednotka je riadiaca),
- multisplit: 1 vonkajšia + 3 až 5 vnútorných jednotiek (pracujúcich na sebe nezávisle chladenie / vykurovane),
- VRV: 1 vonkajšia + 6 až 40 vnútorných jednotiek (pracujúcich na sebe nezávisle chladenie / vykurovane).

Ovládanie vnútorných jednotiek je cez samostatné ovládače, čo umožňuje nezávislú prevádzku. Pri systémoch multisplit a VRV je umožnené súčasne vykurovať a chladieť, čo znamená že energiu tepelnú získanú v chladenej miestnosti systém pretransformuje do vykurovanej miestnosti a naopak. Celková účinnosť systému sa takto zvyšuje.

Obr. 6.78 Schéma systému Split (tepelné čerpadlo vzduch/vzduch) na vykurovanie / chladenie (1x vonkajšia jednotka a 1x vnútorná jednotka)



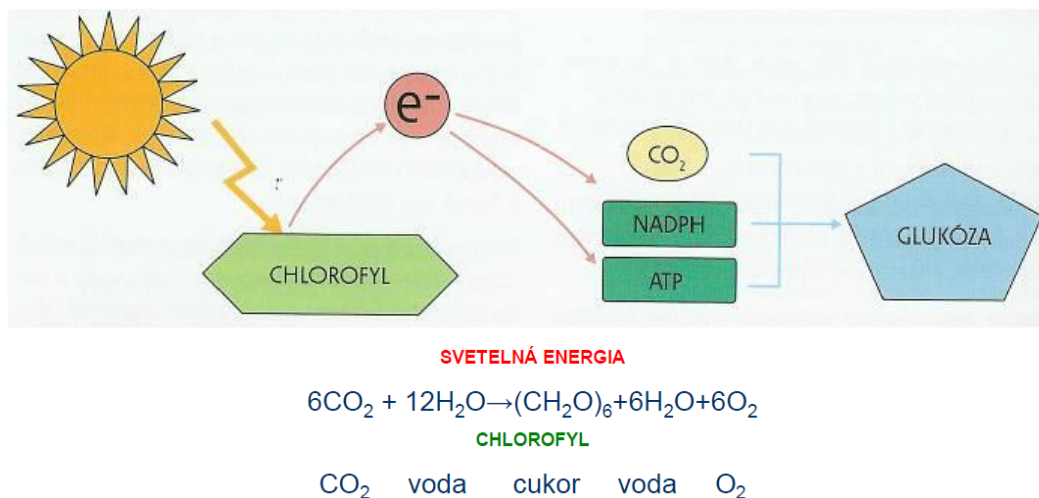
Obr. 6.79 Schéma systému VRV (tepelné čerpadlo vzduch/vzduch) na vykurovanie / chladenie



## 6.4 Biomasa

Organická hmota či už vo forme dreva, rastlín, alebo zvyškov nám dokáže poskytnúť všetky užitočné formy energie - elektrinu, teplo aj kvapalné palivá pre motorové vozidlá. Biomasa je v podstate zakonzervovaná slnečná energia, ktorú rastliny vďaka fotosyntéze premieňajú na organickú hmotu. Rastliny na svoj rast využívajú oxid uhličitý z atmosféry a vodu zo zeme, ktoré vďaka fotosyntéze pretvárajú na uhľovodíky – stavebné články biomasy. Slnečná energia, ktorá je hybnou silou fotosyntézy, je v skutočnosti uskladnená v chemických väzbách tohto organického materiálu. Pri spaľovaní biomasy opätovne získavame energiu uskladnenú v chemických väzbách. Kyslík zo vzduchu sa spája s uhlíkom v rastline pričom vzniká oxid uhličitý a voda. Tento proces je cyklicky uzatvorený, pretože vznikajúci oxid uhličitý je vstupnou látkou pre novú biomasu.

Obr. 6.80 Model fotosyntézy



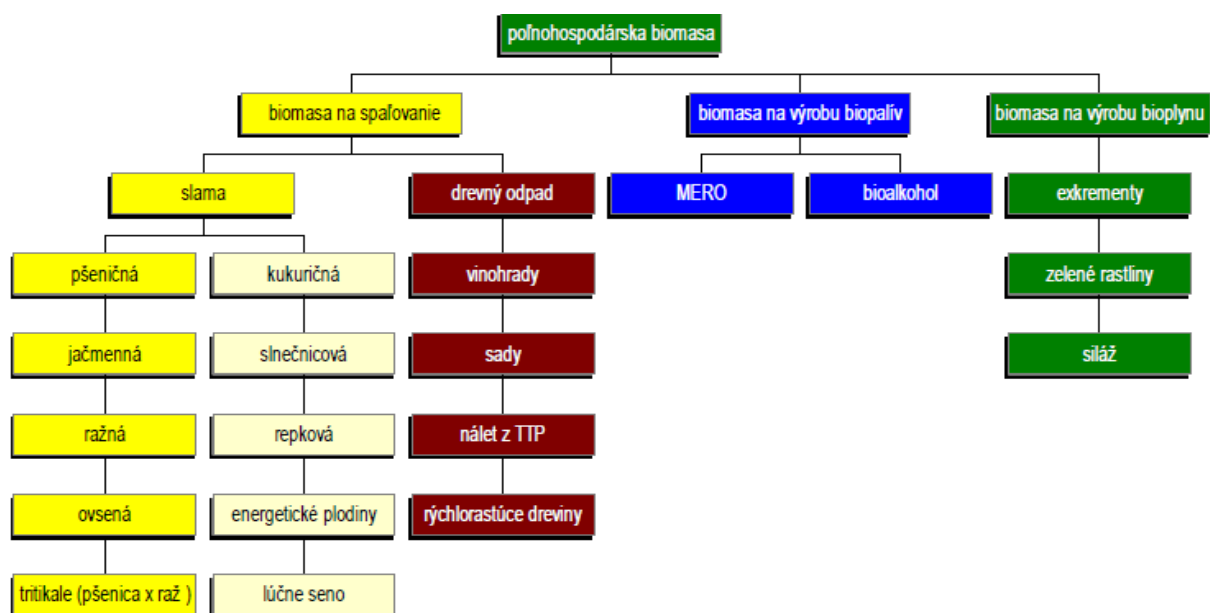
### Rozdelenie biomasy podľa produkčného odvetvia

- poľnohospodárska biomasa:
  - fytomasa = obilná, repková, kukuričná slama. Konopa, odpady zo sadov a vinogradov, účelovo pestované energetické plodiny (vrba, topol, lásokavec, štiavec...),
  - zoomasa = živočíšne exkrementy,
- lesná biomasa (dendromasa) – palivové drevo, konáre, pne, korene, kôra, štiepka, rýchlorastúce dreviny:
  - odpady z drevospracujúceho priemyslu – odrezky, hobliny, piliny,
  - komunálny odpad – tuhý spáliteľný odpad, biologicky rozložiteľný odpad, skládkový plyn, kalový plyn.

#### 6.4.1 Poľnohospodárska biomasa – fytomasa

Poľnohospodárska biomasa je všetka biomasa, ktorá sa vyprodukuje pri hospodárskej činnosti na poľnohospodárskej pôde, v prvovýrobe a pri spracovaní poľnohospodárskych produktov.

Obr. 6.81 Rozdelenie poľnohospodárskej biomasy

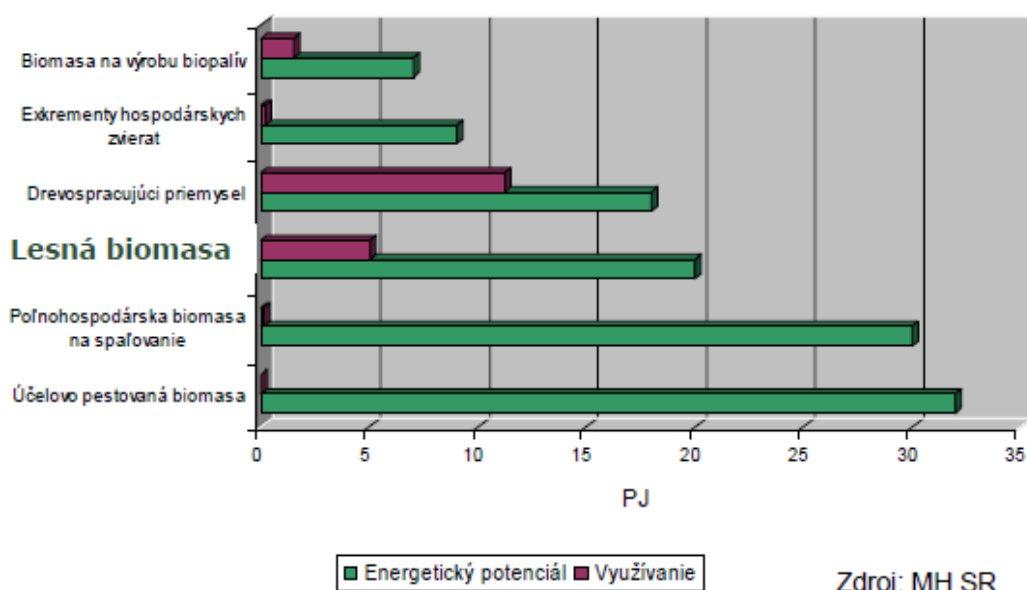


Zdroj: F. Vranay

#### 6.4.2 Lesná biomasa – dendromasa

Významným zdrojom biomasy je biomasa z lesnej pôdy a z drevospracujúceho priemyslu. Najvýznamnejším lesohospodárskym podnikom na Slovensku sú Lesy Slovenskej Republiky, š.p., ktorý disponuje obrovským potenciálom biomasy vhodnej pre energetické účely. Z celkovej výmery pôdy SR 4 903 408 ha tvorí lesná pôda 2 002 129 ha, z toho 48 % obhospodarujú práve Lesy SR s potenciálom až 1 100 000 ton energetickej štiepky ročne.

Obr. 6.82 Energetický potenciál dendromasy a jej využívanie v SR



Zdroj: MH SR

### 6.4.3 Spôsoby konverzie biomasy na energiu

Biomasu je možné energeticky využiť viacerými spôsobmi (Obr. 6.83). V prvom stupni termochemická konverzia sa spaľovaním uvoľní chemicky viazaná solárna energia vo forme tepla, ktoré sa spravidla využije priamo na zásobovanie teplom. V druhom stupni sa transformuje na hodnotnejšiu konečnú energiu, plyn, kvapalné palivo, ...elektrinu, a pri kogenerácii sa odpadové teplo z tejto energetickej premeny využije na zásobovanie teplom.

Obr. 6.83 Spôsoby konverzie biomasy na energiu

Typ konverzie biomasy	Spôsob konverzie biomasy	Energetický výstup	Odpadový materiál alebo druhotná surovina
<b>termochemická konverzia (suché procesy)</b>	spaľovanie	teplo viazané na nosič	popol
	splyňovanie	generátorový plyn	dechtový olej, uhlíkaté palivo
	pyrolýza	generátorový plyn	dechtový olej, pevné horľavé zbytky
<b>biochemická konverzia (mokré procesy)</b>	anaeróbná fermentácia	bioplyn	fermentovaný substrát
	aeróbná fermentácia	teplo viazané na nosič	fermentovaný substrát
<b>fyzikálno-chemická konverzia</b>	esterifikácia bioolejov	metylester, biooleje	glycerín

### 6.4.4 Termochemická konverzia biomasy

Z prvotnej biomasy, z ktorej sa energia dá získať efektívne spaľovaním (kusové drevo, slama a iné odpady z poľnohospodárstva, lesného hospodárstva a drevospracujúceho priemyslu, účelne pestované energetické plodiny) alebo po úprave (štiepkovanie, peletovanie, briketovanie), sa zdá byť nerozumné nákladnou technológiou vyrábať bioplyn pre kombinovanú výrobu elektriny a tepla, ktorá je investične tiež dosť náročná. Z hadiska environmentálnej záťaže je však bioplyn výhodnejšou alternatívou.

### 6.4.5 Spaľovanie

Technológia spaľovania využíva niekoľko princípov spaľovania:

- spaľovanie na rošte,
- spaľovanie so spodným prívodom paliva,
- špeciálne horáky, horákové prevedenia ohniska, a
- spaľovanie vo fluidnej vrstve.

#### Spaľovacie zariadenia

Za spaľovacie zariadenia považujeme v prípade zdrojov pre vykurovanie lokálne zdroje – krby a pece, kotle pre ústredné vykurovanie rôznych prevedení, teplovodné a horúcovodné kotle pre lokálne centralizované systémy, parné kotle pre kogeneráciu tepla a elektriny.

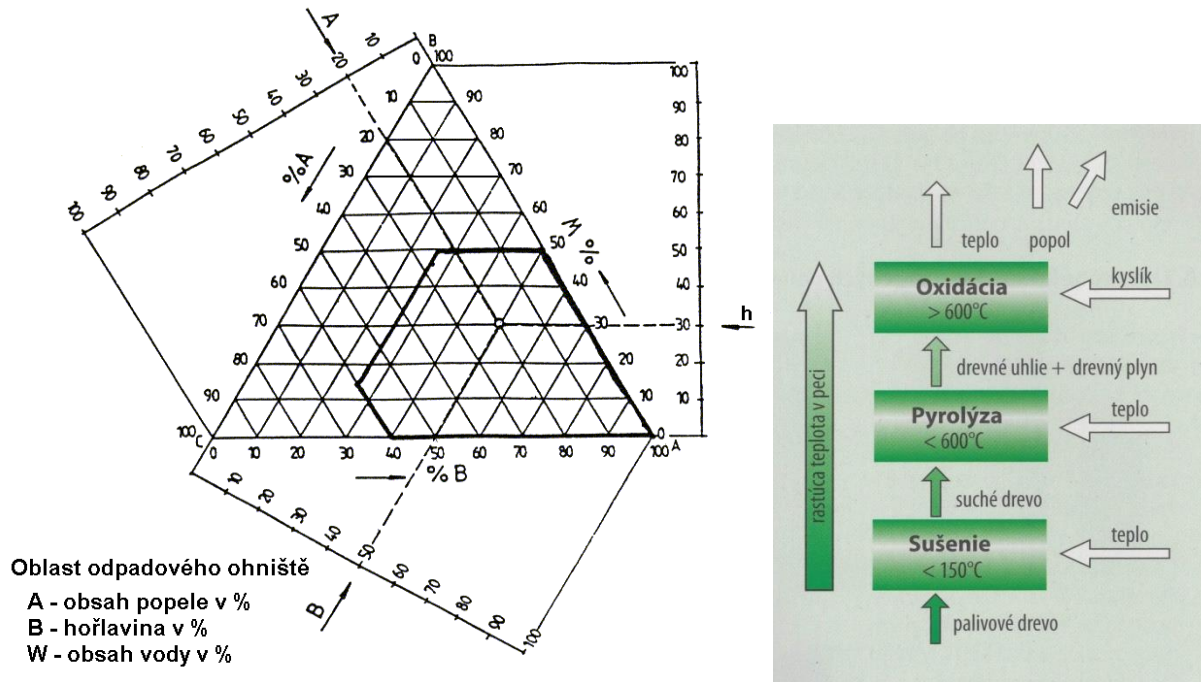
- pece, sporáky,
- krby a krbové pece,
- kachľové pece,
- kotle pre ústredné vykurovanie.

#### Proces spaľovania

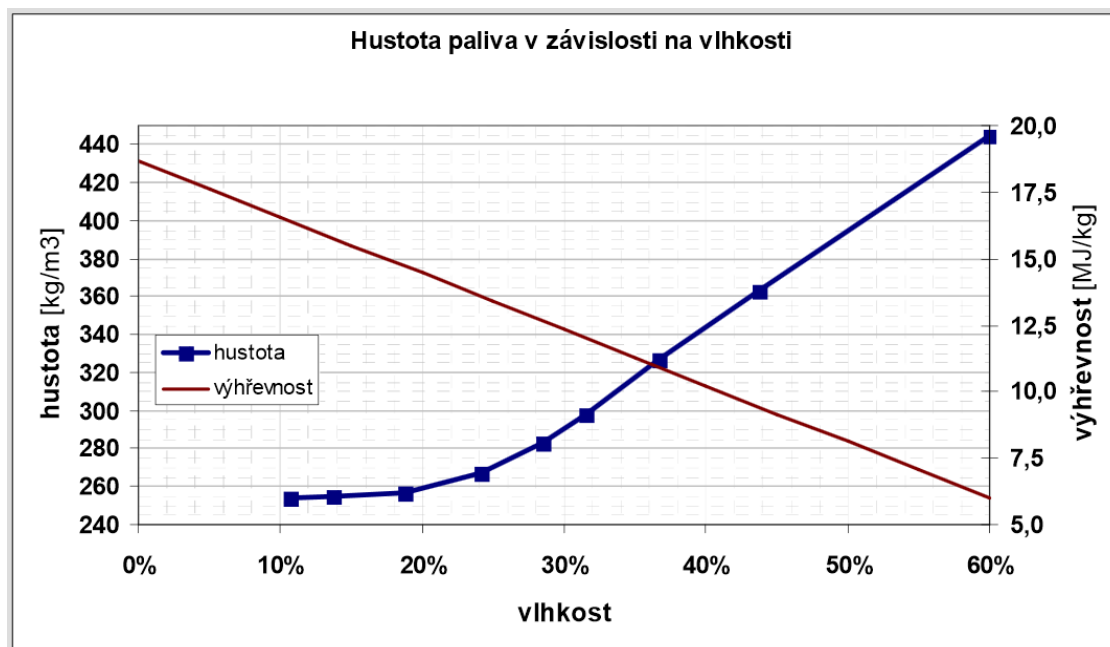
- spaľovaním získavame tepelnú energiu – teplo,
- dochádza tu k rozkladu organických látok v odpade najmä CO<sub>2</sub> a voda,
- základná výhoda značná redukcia pôvodného objemu,
- každé palivo je charakterizované: obsahom horľaviny „B“, obsahom popola „A“, obsahom vody „W“,

- palivo je schopné samostatne horieť iba ak platí:  $A < 60\%$      $W < 50\%$      $B > 25\%$ , pričom musí platiť  $A + B + W = 100\%$ .

Obr. 6.84 Proces spaľovania dreva



Obr. 6.85 Výhrevnosť paliva závislá od vlhkosti



## Palivá na báze dreva a biomasy

Pre lepšiu manipuláciu s palivom, ktorého pôvod je drevo alebo rastlinná hmota, sa vyrábajú palivá vo forme:

- brikety z dreva alebo rastlinného pôvodu (valce alebo kvádre s priemerom cca 10 cm s dĺžkou cca 15-30 cm),
- drevené pelety (z rozdrveného dreva sa lisovaním vyrábajú granule – pelety s priemerom cca 0,5 cm a dĺžke cca 1,5 cm),
- drevná štiepka (z rozdrveného dreva štiepka o dĺžke cca 5-10 cm),
- slama vo forme balíkov sa dopravuje do spaľovacieho kotla.

Obr. 6.86 Palivá na báze biomasy – brikety, drevené pelety, drevná štiepka, slama



### 6.4.6 Splyňovanie

Spôsob úpravy biomasy na palivo vyššej kvality – horľavé plyny (vodík, oxid uhoľnatý, metán, ...). Proces prebieha pri nedokonalom (čiastočnom) horení. Vznikajúca zmes plynov sa využíva ako iné plynné palivo. Druhy splyňovacích procesov sa líšia podľa stavu splyňovacieho materiálu, prípadne podľa prúdu pevného materiálu a prúdu splyňovacieho média:

- spaľovanie na rošte,
- spaľovanie so spodným prívodom paliva,
- špeciálne horáky, horákové prevedenia ohnišťa, a
- spaľovanie vo fluidnej vrstve.

### 6.4.7 Pyrolýza

Pyrolýza (alebo tiež odplynenie) predstavuje tepelný rozklad organických materiálov za neprítomnosti splyňovacích médií, ako je kyslík, vzduch, oxid uhličitý, vodná para pri teplote 300 – 500 °C. Produktom je napr. drevné uhlie ktoré má dvojnásobnú energetickú hustotu, lepšie horenie, vyššiu teplotu horenia. Na 1 tonu drevného uhlia je potrebných cca 4 – 10 ton dreva.

### 6.4.8 Kachle na drevo

Kachle na drevo je voľne stojace zariadenie pre vykurovanie priestorov, v ktorom sa nachádzajú. Kachle odovzdávajú užitočnú tepelnú energiu radiáciou a konvekciou do okolia. Steny ohniska a krbu sú typicky vyrobené z ohňovzdorného materiálu. Niektoré kachle sú vybavené dverkami na vyberanie popola, zvyčajne s popolovou nádobou pod roštom. Iné takúto možnosť nemajú. Rýchlosť horenia dreva v kachliach sa riadi dodávkami primárneho spaľovacieho vzduchu. V mnohých kachliach je okno z priehľadného skla zabudované v predných dverách, čo prispieva nielen k estetike horenia dreva, odovzdávaniu tepla, ale poskytuje prevádzkovateľovi oveľa lepšiu možnosť nastaviť optimálne spaľovanie v kachliach.

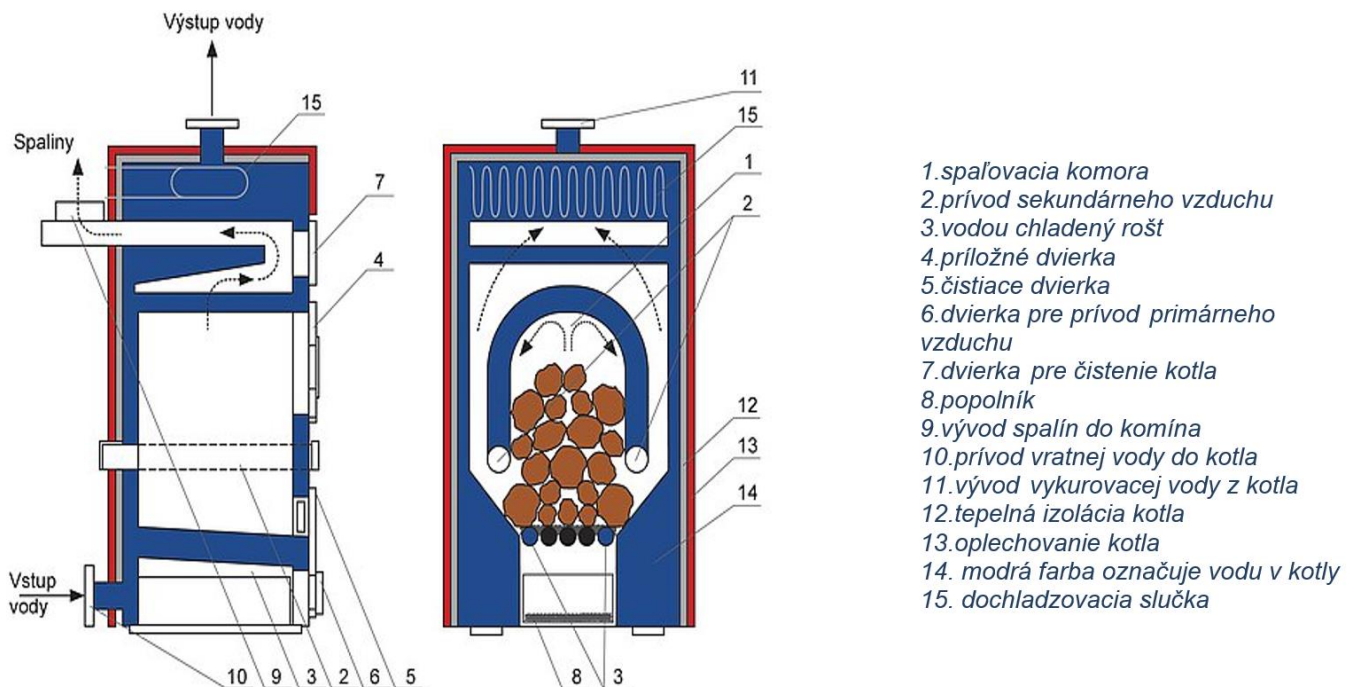
### 6.4.9 Kachle s akumuláciou tepla

Akumulačné kachle sú zhotovené z prefabrikovaných ťažkých kamenných dosiek, alebo čisto len z kameňa. Jedným z materiálov je mastenec ktorý je známy svojou ohňovzdornosťou a akumuláčnou schopnosťou. Počas spaľovania drevo horí veľkou rýchlosťou. Po dohorení sa nahromadené teplo ďalej uvoľňuje do prostredia počas 1-2 dní. Typické mastencové pece sú veľmi masívne a vážia od 700-3000 kg a preto môžu uskladniť veľa energie, ktorú pomaly uvoľnia do okolia. Ďalším typom kachľových akumuláčnych pecí sú keramické pece. Vyvinuté boli v roku 1700 ako prvé účinné drevo spaľujúce zariadenie vo Švédsku a používajú sa dodnes. Protiprúdny systém používaný v mastencových, alebo kachľových peciach slúži na odvedenie termálnej energie z horúcich spalín do stien kachlí. Krbová vložka je v podstate pec na drevo inštalovaná v existujúcom krbe. Teplo je transformované radiáciou, a to predovšetkým cez predné dvere od plameňa, stien komory a skla na predných dverách. Avšak najdôležitejší prenos tepla je prirodzenou alebo nútenou konvekciou. Otvorený kozub môžeme zmeniť na účinnejší tepelný spotrebič, a to práve inštalovaním krbovej vložky.

### 6.4.10 Kotle na spaľovanie kusového dreva alebo brikiet

Sú najjednoduchšie a najlacnejšie kotle pre domácnosti. Princíp takéhoto zariadenia je ilustrovaný na Obr. 6.87. Spaľovanie paliva prebieha v jeho celom objeme viac či menej v rovnakom čase ako v kachliach. Kotel je zvyčajne vybavený primárnym prívodom vzduchu pod roštom a sekundárnym prívodom vzduchu nad palivom. Horné dvierka slúžia na dávkovanie dreva a spodné slúžia ako otvor pre vyberanie popola. Tieto kotle využívajú prirodzený ťah. Emisie nespálených uhľovodíkov sú príliš vysoké ak sú kotly prevádzkované pri tlmených režimoch horenia, napríklad v jarom a jesennom vykurovacom období.

Obr. 6.87 Kotel na spaľovanie kusového dreva a brikiet

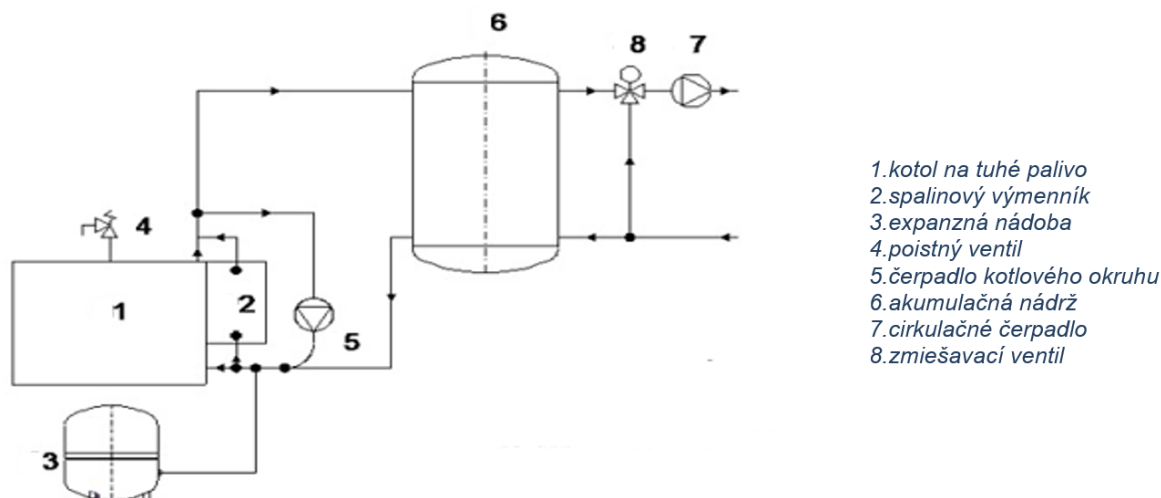


Ekologické a optimálne spaľovanie môžeme dosiahnuť len vtedy, ak kotel bude prevádzkovaný pri menovitom tepelnom výkone. Tieto kotly sú často napojené na zásobníky vody o objeme 1-5 m<sup>3</sup> (Obr. 6.88). Teplá voda je vyrábaná tepelným výmenníkom v akumuláčnej nádrži. Toto umožňuje využiť menovitý výkon kotla a znížiť tak emisie zo spalín. V akumuláčnych nádržiach sa tiež často umiestňujú aj elektrické ohrievače. Týmto spôsobom je možné



kombinovať spaľovanie dreva s elektrickým vykurovaním. V mnohých krajinách EU je cena elektrickej energie pomerne nízka počas letnej sezóny, cez víkend a v noci, čo zvyšuje ekonomickú efektívnosť systému.

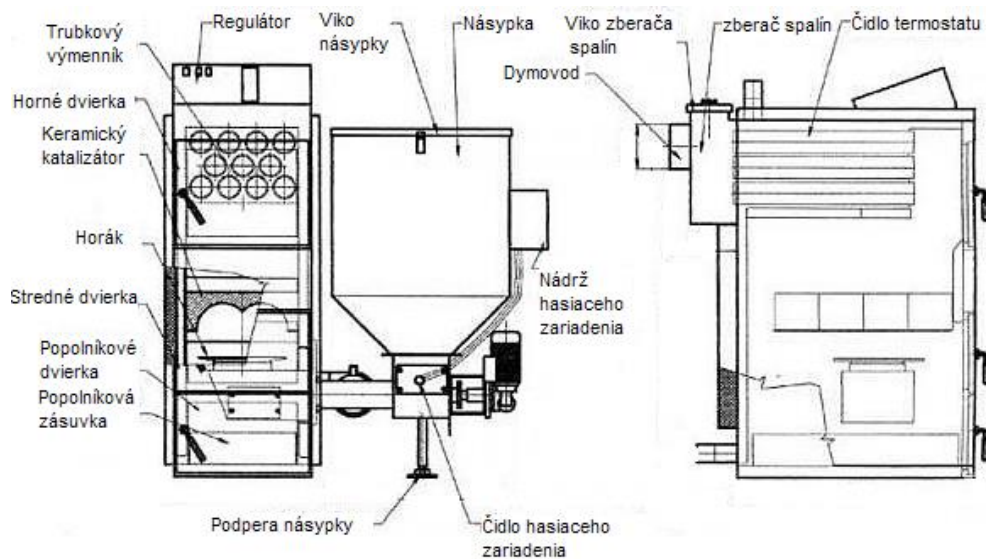
Obr. 6.88 Schéma zapojenia kotla na tuhé palivo s akumulácnou nádržou



#### 6.4.11 Kotle na spaľovanie peliet s automatickým dávkovaním

Použitie drevených peliet na vykurovanie domácností je pomerne nový fenomén. Zariadenia na spaľovanie peliet boli vyvíjané od roku 1980. Ich spaľovanie v kotloch ústredného kúrenia má významný podiel na trhu s teplom v Rakúsku, Dánsku a Nemecku. Pelety ako palivo sú predmetom záujmu, pretože pri ich spaľovaní sa produkujú nízke hodnoty emisií. Kotle na pelety umožňujú nepretržité automatické spaľovanie paliva, kontrolu rýchlosti horenia a dodávky paliva šnekovým dopravníkom zo zásobníka. Niektoré kotly majú menšie zásobníky, ktoré sa dopĺňajú ručne, iné zase sú dopĺňané šnekom z veľkého skladiska peliet. Spaľovací vzduch je privádzaný elektrickým ventilátorom. Prevádzka kotla je zvyčajne riadená termostatom, alebo aquastatom v kotli.

Obr. 6.89 Schéma zapojenia kotla na pelety so zásobníkom



## 6.4.12 Výhody a nevýhody biomasy pri energetickom využití

### Výhody biomasy

- Jednou z najväčších výhod biomasy je jej ľahká a lokálna dostupnosť. Odpadávajú náklady na dovoz zo zahraničia, čím sa znižuje aj konečná cena.
- Možnosti využitia odpadových materiálov z drevospracujúceho priemyslu (piliny, kôra, brúsny prach, odrezky, kusový odpad - ročne sa takto vyprodukuje 1,265 milióna ton odpadovej biomasy), lesníctva (odpad zo spracovania dreva preriedovaním lesov a ťažbou, konáre, pne, kôra), poľnohospodárstva (slama, zbytky plodín, odpady z viníc, ovocných sádov, hnojovica...).
- Výroba energeticky koncentrovanejších materiálov z drevnej odpadovej biomasy: brikety (valce 15 - 25 cm), štiepky (2 – 4 cm kúsky), pelety (granule cca do 1 cm), čím sa využije „bezpečný“ odpad.
- Väčšina druhov biomasy má vyššiu výhrevnosť ako hnedé uhlie.
- Len spaľovaním v súčasnosti na Slovensku málo využívanej slamy by sme mohli získať 1,6 mld kWh elektriny a 4,8 mld kWh tepelnej energie, čo sa rovná spotrebe v asi 380 000 domácnostiach.
- Veľká perspektíva z pohľadu zamestnanosti, rozvoja vidieka a pri prekonávaní krízy v poľnohospodárstve.

### Nevýhody biomasy

- Využitie biopalív sa nepovažuje za ekologické za súčasných legislatívnych a trhových podmienok z dôvodu možnosti zneužitia poľnohospodárskych plôch len na energetické účely namiesto potravinárskej výroby kvôli vyšším ekonomickým ziskom.
- Pestovanie plošne rozsiahlych monokultúr energetických plodín nie je ekologicky prijateľné, ako aj ich mohutné hnojenie priemyselnými hnojivami.
- Holorubná ťažba je na Slovensku síce zakázaná, ale nadmerná ťažba dreva je reálnou hrozbou pre lesy. Preto je nevyhnutné prijať pravidlá udržateľného využívania biomasy pre energetické účely.
- Potreba skladovania z dôvodu sezónnosti produkcie.
- Potreba zabezpečenia dlhodobu spoľahlivej dodávky biomasy.
- Potreba sušenia účelovo pestovanej biomasy pred spracovaním na tuhé palivo.
- Vysoké vstupné náklady technologických zariadení.

## Zoznam tabuliek

Tab. 6.1 Celková výroba z fotovoltického systému [kWh] – ročná bilancia - variant B

Tab. 6.2 Teplotné hodnoty bežne používaných chladív v TČ

Tab. 6.3 Výpočet vyprodukovaného množstva emisií CO<sub>2</sub> pri rôznych systémoch výroby tepla pri potrebe energie 100 kWh/m<sup>2</sup>

Tab. 6.4 Parametre prevádzky systému s tepelným čerpadlom voda/voda - v režime vykurovania, ohrevu vody a ohrevu bazéna

## Zoznam obrázkov

Obr. 6.1 Toky energie zo slnka na zem

Obr. 6.2 Porovnanie energie dopadajúcej na zemský povrch zo Slnka s celosvetovou potrebou energie za rok a zásobami fosílnych palív

Obr. 6.3 Slnčné žiarenie dopadajúce na zemský povrch a prienik zemskou atmosférou

Obr. 6.4 Podiel žiarenia priameho a globálneho počas roka v našich zemepisných šírkach

Obr. 6.5 Spôsoby využívania slnečnej energie

Obr. 6.6 Uhol naklonenia slnečného modulu [5]

Obr. 6.7 Dopadajúce slnečné lúče na naklonenú plochu

Obr. 6.8 Ročné úhrny energie slnečného žiarenia v závislosti na sklone a orientácii kolektora

Obr. 6.9 Detail výpočtu v Exceli - Kolektor plochý selektívny orientovaný na JUH so sklonom 45°

Obr. 6.10 Detail výpočtu v Exceli - Kolektor trubicový vákuový orientovaný na JUH so sklonom 45°

Obr. 6.11 Schéma štruktúry premeny slnečnej energie na iné formy energie

Obr. 6.12 Funkcia a konštrukcia plochého selektívneho kolektora a jeho energetická bilancia

Obr. 6.13 Rozdelenie solárnych kolektorov

Obr. 6.14 Relatívne spektrálne rozdelenie solárneho žiarenia (povrchová teplota slnka cca 6000 °C, a teplota absorbéra cca 70 °C

Obr. 6.15 Prechod žiarenia podľa vlnovej dĺžky pre rôzne druhy materiálov: (slnečné žiarenie 0,4 – 1 μm) do kolektora sklo prepúšťa a tepelné žiarenie 4-20 μm y kolektora neprepúšťa

Obr. 6.16 Absorpcia rôznych povlakov absorbéra: Slnečné žiarenie pohlcuje, tepelné žiarenie emituje minimálne (vysoko selektívny povlak)

Obr. 6.17 Účinnosť kolektora ako funkcia rozdielu teplôt medzi absorbérom a okolím pri slnečnom žiarení 800, 400 a 200 W/m<sup>2</sup>

Obr. 6.18 Charakteristiky rôznych konštrukcií kolektorov

Obr. 6.19 Definícia plochy apertúry a obrysovej plochy solárnych kolektorov

Obr. 6.20 Ploché kolektory kvapalinové

Obr. 6.21 Bazénové absorbéry

Obr. 6.22 Ploché kolektory vzduchové

Obr. 6.23 Slnečné kolektory vákuové

Obr. 6.24 Slnečné kolektory vákuové s priamym prúdením a na princípe tepelnej trubice

Obr. 6.25 Vplyv zmeny uhla dopadu na výkon kolektora

Obr. 6.26 Porovnanie kolektorov (plochý a vákuový) - termovízne a grafické

Obr. 6.27 Porovnanie aplikácie kolektorov: a) na streche, b) súčasť strešnej krytiny, c) na konštrukcii

Obr. 6.28 Otvorený (a) a uzatvorený (b) kolektorový okruh

Obr. 6.29 Kolektorový okruh s prirodzenou cirkuláciou (a) a s nútenou cirkuláciou (b)

Obr. 6.30 Monovalentný systém

Obr. 6.31 Bivalentný systém

Obr. 6.32 Trivalentný systém

Obr. 6.33 Hlavné prvky systému solárnych kolektorov (a – kolektor, b-výmenník tepla, c-čerpadlo, d-expanzná nádoba, e-zásobník)

Obr. 6.34 Parametre pre výpočet potreby tepla na ohrev teplej vody

Obr. 6.35 Systém ohrevu bazénovej vody ( kolektorový okruh a- otvorený b- uzatvorený)

Obr. 6.36 Straty tepla z hladiny bazéna počítané na plochu 1m<sup>2</sup> za deň pri rôznych teplotách vody a zakrytia bazéna mimo prevádzky

- Obr. 6.37 Systém vykurovania, potreba tepla na vykurovanie v priebehu roka pre objekt s tepelnou stratou 1 kW
- Obr. 6.38 Systém ohrevu teplej vody + podpora vykurovania + ohrev exteriérového bazéna (zadanie, priebehy a výsledná bilancia)
- Obr. 6.39 Rozdelenie zásobníkov podľa spôsobu akumulovanej energie
- Obr. 6.40 Porovnanie zásobníka s rozvrstvením teploty vody a bez rozvrstvenia
- Obr. 6.41 Porovnanie rôznych typov zásobníkov tepla
- Obr. 6.42 Schéma premeny slnečného žiarenia na elektrickú energiu
- Obr. 6.43 Schéma autonómneho fotovoltaického systému
- Obr. 6.44 Schéma priameho pripojenia fotovoltaického systému do rozvodnej siete
- Obr. 6.45 Schéma hybridného fotovoltaického systému
- Obr. 6.46 Spôsoby začlenenia fotovoltaických prvkov do budov
- Obr. 6.47 Jednoosový sledovací systém
- Obr. 6.48 Dvojosový sledovací systém
- Obr. 6.49 Solárny azimut – variant A
- Obr. 6.50 Mesačné priemery – Odhadovaná celková výroba z fotovoltaického systému [kWh] – variant A
- Obr. 6.51 Profil priemernej hodinovej výroby – odhadovaná celková výroba z fotovoltaického systému [kWh] - variant A
- Obr. 6.52 Profil priemernej hodinovej výroby v jednotlivých mesiacoch – Odhadovaná celková výroba z fotovoltaického systému [kWh]
- Obr. 6.53 Schéma zapojenia fotovoltaického systému bez akumulácie elektrickej energie
- Obr. 6.54 Spôsob inštalácie fotovoltaických panelov na hliníkové profily – detail uchytenia
- Obr. 6.55 Spôsob inštalácie fotovoltaických panelov na hliníkové profily - uchytené na strešných hákoch - variant A
- Obr. 6.56 Inštalácia fotovoltaického systému – variant A
- Obr. 6.57 Celková výroba z fotovoltaického systému [kWh] – ročná bilancia - variant A
- Obr. 6.58 Solárny azimut – variant B
- Obr. 6.59 Mesačné priemery – Odhadovaná celková výroba z fotovoltaického systému [kWh] – variant B
- Obr. 6.60 Profil priemernej hodinovej výroby – odhadovaná celková výroba z fotovoltaického systému [kWh] - variant B
- Obr. 6.61 Profil priemernej hodinovej výroby v jednotlivých mesiacoch – Odhadovaná celková výroba z fotovoltaického systému [kWh]
- Obr. 6.62 Schéma zapojenia fotovoltaického systému s akumuláciou elektrickej energie
- Obr. 6.63 Inštalácia fotovoltaického systému – variant B
- Obr. 6.64 Výroba elektrickej energie z fotovoltaického systému za rok 2019
- Obr. 6.65 Priebeh spotreby danej domácnosti za rok 2019
- Obr. 6.66 Priebeh hodnoty SOC za rok 2019
- Obr. 6.67 Princíp kompresorového tepelného čerpadla
- Obr. 6.68 Princíp funkcie tepelného čerpadla s definovaním stavov chladiacej zmesi
- Obr. 6.69 Celoročný priebeh hodnoty COP pri prevádzke TČ poháňaného elektromotorom (voda/voda) pri rôznych druhoch vykurovania počas vykurovacej sezóny
- Obr. 6.70 Schéma zapojenia tepelného čerpadla voda/voda v systéme výroby tepla pre vykurovanie v bivalentnom zapojení
- Obr. 6.71 Spotreba primárnej energie pri rôznych systémoch transformácie tepla
- Obr. 6.72 Celoročný priebeh energetického pokrytia dodávky tepla tepelným čerpadlom a záložným zdrojom v bivalentnej prevádzke
- Obr. 6.73 Celoročný priebeh energetického pokrytia dodávky tepla tepelným čerpadlom pri monovalentnej prevádzke
- Obr. 6.74 Celoročný priebeh energetického pokrytia dodávky tepla tepelným čerpadlom pri bivalentnej prevádzke so záložným zdrojom
- Obr. 6.75 Spôsob odberu tepla pri zemných kolektoroch
- Obr. 6.76 Spôsob odberu tepla pri primárnom zdroji voda
- Obr. 6.77 Spôsob odberu tepla pri vonkajšom prevedení vzduch / voda
- Obr. 6.78 Schéma systému Split (tepelné čerpadlo vzduch/vzduch) na vykurovanie / chladenie (1x vonkajšia jednotka a 1x vnútorná jednotka)

- Obr. 6.79 Schéma systému VRV (tepelné čerpadlo vzduch/vzduch) na vykurovanie / chladenie
- Obr. 6.80 Model fotosyntézy
- Obr. 6.81 Rozdelenie poľnohospodárskej biomasy
- Obr. 6.82 Energetický potenciál dendromasy a jej využívanie v SR
- Obr. 6.83 Spôsoby konverzie biomasy na energiu
- Obr. 6.84 Proces spaľovania dreva
- Obr. 6.85 Výhrevnosť paliva závislá od vlhkosti
- Obr. 6.86 Palivá na báze biomasy – brikety, drevné pelety, drevná štiepka, slama
- Obr. 6.87 Kotol na spaľovanie kusového dreva a brikiet
- Obr. 6.88 Schéma zapojenia kotla na tuhé palivo s akumuláčnou nádržou
- Obr. 6.89 Schéma zapojenia kotla na pelety so zásobníkom

## Zoznam literatúry

- BRESTOVIČ, T.: Možnosti využitia fotovoltaických článkov na výrobu elektrickej energie. In. ASB: Architektúra, Stavebníctvo, Biznis. (2008). Dostupné na internete: <http://www.asb.sk/tzb/energie/moznosti-vyuzitia-fotovoltickych-clankov-na-vyrobu-elektrickej-energie-1669.html>
- CENKA, M. a kol.: Obnoviteľné zdroje energie, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9
- MASTERS, G. M.: Renewable and Efficient Electric Power Systems. Stanford University, A John Wiley & Sons, Inc., publication, s. 676
- BRESTOVIČ, T.: Možnosti využitia fotovoltaických článkov na výrobu elektrickej energie. In. ASB: Architektúra, Stavebníctvo, Biznis. (2008). Dostupné na internete: <http://www.asb.sk/tzb/energie/moznosti-vyuzitia-fotovoltickych-clankov-na-vyrobu-elektrickej-energie-1669.html>
- HULD, T. et al.: Mapping the performance of PV modules, effects of module type and data averaging. In: Solar Energy 84, 2010, s. 324–338
- HULD, T. et al.: Estimating average day time and daily temperature profiles within Europe. In: Environmental Modelling & Software 21, 2006, s. 1650-1661
- LACKO, M.: Výkonové polovodičové meniče pre obnoviteľné zdroje energie. Písomná práca k dizertačnej skúške. 2006. s. 45
- MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMEŠ, M.: Fotovoltaika – elektrina ze slunce, 2007. 81 s. ISBN 987-80-7366-100-7
- MURTINGER, K., TRUXA, J.: Solární energie pro váš dům, 2006. 92 s. ISBN 80-7366-076-8
- Planning & Installing Photovoltaic Systems. A guide for installers, architects and engineers. 2008. s. 402. ISBN-13: 978-1-84407-442-6
- RADOSAVLJEVIĆ, J., ĐORĐEVIĆ, A.: Defining of the intensity of solar radiation on horizontal and oblique surfaces on earth. Facta universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection Vol. 2, No 1, 2001, s. 77 – 86
- RADOSAVLJEVIĆ, J., PAVLOVIĆ, T., PETROVIĆ, D.: The influence of direct capture of solar radiation on the heat gain in rooms. In: Facta universitatis, Series: Physics, Chemistry and Technology Vol. 2, No 3, 2001, s. 131 – 139
- SHENCK, N.: PV Power Systems. In: PV Theory II, s. 5
- SRDEČNÝ, K.: Energeticky soběstačný dům – realita či fikce? Era group, Brno, 2007. s 104. ISBN 80-7366-052-0
- SZOKOLAY, S. V.: Solar Geometry. Passive and Low Energy Architecture International. DesignTool and Techniques. 2007, s. 47, ISBN 0 86766 634 4
- <http://www.seps.sk/zp/fond/2002/slnko/slnko.html>
- <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#fv>
- <http://www.ezos.sk/fotovoltaika.html>
- <http://www.solartec.cz/cs/fv-systemy/o-fotovoltaice/fotovoltaika.html>
- <http://www.solar-tracking.it/>
- [http://sk.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaický\\_článok](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaický_článok)
- <http://www.solarne-panely.sk/slnko.html>
- <http://www.skrea.sk/>
- [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/PVcalchelp\\_en.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/PVcalchelp_en.html)

