

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA  
V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE**

**AKUMULACE ENERGIE  
Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ  
DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: doc. RNDr. Miroslav Martiš, CSc.**

**Diplomant: Bc. Renata Dvořáková**

**2012**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekologie krajiny

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Dvořáková Renata

Regionální environmentální správa - kombinované Litvínov

Název práce

**Akumulace energie z obnovitelných zdrojů**

Anglický název

**Accumulation of energy from renewable sources**

### Cíle práce

Zhodnocení vybraných zdrojů obnovitelné energie z hlediska času a doby výroby energie a jejího využití v reálném čase.

Na základě dat bude provedena analýza, na jejímž základě bude navrhnout vhodný způsob akumulace této energie do doby skutečné potřeby.

### Metodika

Metodika vychází z vyhodnocení archivních a publikovaných údajů (scholar google, science direkt, časopisy a knihy v SIC CZU atp.) pro zhodnocení současného stavu obnovitelných zdrojů energie a problematiky akumulace energií. Na základě vlastního sběru dat na konkrétních zařízeních (fotovoltaické elektrárny, termální systémy apod.) i převzatých údajů budou vyhodnoceny a popsány zjištěné zákonitosti. Analýza technických možností akumulace bude základem pro doporučení a závěry zpracované formou návrhu zařízení vhodného pro akumulaci energie. Práce bude rozdělena na: Úvod, Rešerše, Cíle a metodika, Analýza dat, Výsledky a diskuze, Závěr a doporučení.

### Harmonogram zpracování

30.8.2011 – předložení literární rešerše, 31.10.2011 – sběr dat, 30.11.2011 – vyhodnocení dat, 31.1.2012 – předložení metodické verze práce, 15.3.2012 – předložení verze s vyhodnocením výsledků, 15.4.2012 – zkompletovaná práce, 29.4.2012 – odevzdání práce a její nahrání do systému BADIS

**Rozsah textové části**

40 stran

**Klíčová slova**

akumulace, energie, obnovitelné zdroje, solární energie

**Doporučené zdroje informací**

Odborná, metodická a učební literatura na dané téma dle výsledků rešerše studenta a ústního doporučení vedoucího práce či školitele.

MUSIL, Petr. Globální energetický problém a hospodářská politika : se zaměřením na obnovitelné zdroje

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií

PETRAŠ, Dušan. Nízkooteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie

TOŽIČKA, Tomáš. Udržitelné technologie pro rozvoj : příručka pro implementaci udržitelných technologií v rozvojové spolupráci

**Vedoucí práce**

Martiš Miroslav, doc. RNDr., CSc.

**doc. RNDr. Miroslav Martiš, CSc.**

Vedoucí katedry



V Praze dne 30.6.2011

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan fakulty

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 20. 4. 2012

.....

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce doc. RNDr. Miroslavu Martišovi, CSc. za cenné rady a odborné vedení práce.

V Praze 20. 4. 2012

.....

### **Abstrakt**

S ubývajícími zásobami fosilních paliv roste nutnost zabývat se možnostmi využití obnovitelných zdrojů energií. Rozvoj použití těchto obnovitelných zdrojů je zatím tlumen jejich vyšší cenou, i když tato cena v poslední době klesá. Dalším aspektem bránícím širšímu rozšíření a využití některých obnovitelných zdrojů je jejich závislost na slunečním záření či větru.

Z tohoto důvodu v diplomové práci mapuji stav dnešního poznání v problematice solárních zdrojů energie a zejména možnosti akumulace této energie.

### **Klíčová slova**

Obnovitelná energie, solární energie, akumulátorové baterie, přečerpávací nádrže, akumulace energie.

### **Abstract**

The searching of any possibilities for utilization of renewable resources is very important in these days because resources of fossil fuel are significantly giving out. The expansion of utilization of renewable resources is slow also due to higher cost of these resources although this cost is recently decreasing. Some renewable resources like a sunshine or wind are unsteady and it is also the reason causing difficulties with wider utilization of these resources.

It is the reason why I map here a situation of present knowledge about solar sources of energy and nominally knowledge about the possibility of accumulation of this energy.

### **Keywords**

Renewable energy, solar energy, batteries, pumped-storage tanks, accumulation of energy.

## Obsah

Seznam zkratk a výklad pojmů .....	8
Úvod.....	9
1. Cíle a metodika .....	10
2. Rešerše .....	11
2.1 Obnovitelné zdroje energie.....	11
2.2 Výhody a nevýhody solární energie .....	17
2.3 Akumulace energie .....	18
3. Rozbor získávání solární energie v průběhu roku .....	21
3.1 Průběh slunečních dnů.....	21
3.2 Průběh teplot.....	24
3.3 Časový průběh výroby ve FVE .....	26
4. Analýza možností akumulace .....	30
4.1 Analýza obecných možností akumulace .....	30
4.2 Analýza akumulace pomocí akumulátorů .....	31
4.3 Analýza akumulace pomocí vodních nádrží.....	32
4.4 Jiné způsoby akumulace .....	36
5. Výsledná řešení.....	38
5.1 Řešení pro malé zdroje .....	38
5.2 Řešení pro velké zdroje .....	43
6. Diskuze .....	47
Závěr .....	49
Použitá literatura .....	50
Seznam obrázků .....	53
Seznam fotografií.....	53
Seznam tabulek .....	53
Přílohy .....	53

## **Seznam zkratek a výklad pojmů**

Blackout – výpadek elektrického proudu na velkém území

EIA (Environmental Impact Assessment) – posuzování vlivu staveb či projektů na obyvatelstvo a životní prostředí

FVE – fotovoltaická elektrárna

HDR (Hot Dry Rock) – horké suché horniny

Off grid – ostrovní systém – FVE není připojena k veřejné síti

SWOT analýza (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) – Analýza identifikující silné a slabé stránky, příležitosti a ohrožení



## Úvod

Současným světem mimo jiné hýbe otázka výroby elektrické energie, její ceny, bezpečnosti a vlivu na životní prostředí.

Největším zdrojem elektrické energie jsou uhelné elektrárny, které jsou odkázány na palivo, jehož zásoby jsou omezené a navíc jeho těžba přeměňuje krajinu k nepoznání.

Dalším dominantním zdrojem elektrické energie je jádro. Zejména po fukušimské havárii se opět rozběhla debata o bezpečnosti jaderných elektráren. A např. Německo chce od tohoto zdroje zcela ustoupit.

Proto jako východisko pro budoucnost se jeví využití obnovitelných zdrojů energie. Tedy vody, větru, slunce.

Bohužel energie větru a slunce jsou energiemi velmi proměnlivými, čímž jsou diskvalifikovány před ostatními a v současné době tak nemohou být považovány za hlavní energetické zdroje.

Z těchto důvodů stojí před lidstvem otázka: Jak vyřešit ekonomicky a ekologicky přijatelné uchování (akumulaci) této energie?

Řešením akumulace energie se v současné době zabývá mnoho odborníků vědeckotechnických pracovišť po celém světě. Výstupy práce těchto týmů se pohybují stále v oblasti studií, zkoušek a prototypů.

## **1. Cíle a metodika**

Cílem diplomové práce je zhodnocení možností výroby elektrické energie získávané přeměnou slunečního záření ve fotovoltaických elektrárnách a následná akumulace této energie pro období skutečné potřeby. Návrh řešení bude vypracován zvlášť pro malý zdroj energie a zvlášť pro soustavu velkých zdrojů.

Metodika diplomové práce vychází ze zpracování dostupných literárních zdrojů, vyhodnocení publikovaných dat a statistik o průběhu a vývoji podmínek potřebných pro získávání solární energie, potřebnosti uchování energie pro jednotlivá období roku a zejména z analýzy sebraných dat ze čtyř reálných fotovoltaických zdrojů za rok 2011.

## **2. Rešerše**

### **2.1 Obnovitelné zdroje energie**

Obnovitelnými či alternativními zdroji energie dnes označujeme například využití biomasy, geotermální energie či energie větru, slunce, vody a také využití rozdílu teplot vzduchu, země, vody, hospodářských budov apod. (Musil, 2009).

#### **Tepelné čerpadlo**

Princip funkce, konstrukce a typy tepelných čerpadel je podrobně a srozumitelně popsán v (Navrátil, 1997): Na rozdíl od jiných zdrojů tepla pro naše domovy, tepelné čerpadlo teplo nevyrábí spalováním čehokoliv, ale teplo odebírá okolnímu prostředí. K tomuto procesu však nutně spotřebovává energii pro pohon kompresoru, oběhových čerpadel přívodu vody do výparníku, k ovládání řídicích prvků, ventilátoru atd. Při uvedení agregátu do chodu jsou z výparníků nasávány páry chladiva do pracovní části kompresoru (nad písty apod.), kde při stlačení vlivem změny tlaku dochází ke změně teploty této látky. Horké a stlačené plyny jsou pak vedeny do výměníku, kde se odebírá teplo pro náš topný systém. Ochlazené médium je pak vedeno k výparníkům, kde při řízené expanzi chladicí látka získá toto odebrané teplo zpět. Tím je okruh uzavřen a při následném stlačení par chladiva nastává opět cyklus nárůstu teploty stlačované látky. Tepelné čerpadlo nám tak plynule dodává tepelnou energii pro náš topný systém.

Tepelná čerpadla jsou nízkopotenciálním zdrojem energie (Petráš, 2008).

#### **Biomasa**

Vznik rostlinné biomasy – rostliny odebírají z atmosféry oxid uhličitý a v procesu zvaném fotosyntéza jej pomocí barviva chlorofylu a energie slunečního záření redukuje a vytvářejí z něj glukózu a postupně řadu složitých organických sloučenin, které potřebují ke svému životu. Jako odpadní produkt přitom vypouštějí do atmosféry kyslík. Jen pro zajímavost – uvolněný kyslík nepochází z oxidu uhličitého, ale z vody (ta je v rostlině vždy přítomna; všechny reakce v živých organismech probíhají ve vodě) (Murtinger, Beranovský, 2011).

Dle (Pastorek et al., 2004) ji lze rozdělit do pěti základních skupin:

1. Fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy
2. Fytomasa olejnatých plodin
3. Fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru
4. Organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu
5. Směsi různých organických odpadů

Podle (Pastorek et al., 2004) se pro získávání energie využívá:

a) Biomasa záměrně pěstovaná k tomuto účelu: cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina (pro výrobu etylalkoholu), olejniny (z nich nejvýznamnější je řepka olejná pro výrobu surových olejů a metylesterů), energetické dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty a další stromové a keřovité dřeviny).

b) Biomasa odpadní

- Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny: kukuřičná a obilná sláma, řepková sláma, zbytky z lučních a pastevních areálů, zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů, odpady ze sadů a vinic.

- Odpady z živočišné výroby: exkrementy z chovů hospodářských zvířat, zbytky krmiv, odpady mléčnic, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit.

- Komunální organické odpady z venkovských sídel: kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů, odpadní organické zbytky z údržby zeleně a travnatých ploch.

- Organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob: odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, odpady z mlékáren, odpady z lihovarů a konzerváren, odpady z vinařských provozoven, odpady z dřevařských provozoven (odřezky, hobliny, piliny).

- Lesní odpady (dendromasa): dřevní hmota z lesních probírek, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, manipulační odřezky, klest.

Využití odpadní biomasy k výrobě tepla je možností jak rozumně zužitkovat množící se odpady (Irvine et al., 2010).

S biomasou souvisí i výroba a využití bioplynu např. (Ošlaj, Muršec, 2010) a biopaliv jako např. bionafta (Kralova, Sjoblom, 2010).

### **Geotermální energie**

Popisem a využitím geotermální energie se např. zabývá (Rawlings, 2011) či (Quaschnig, 2010), kde je zmínka o tom, že střední Evropa není bohatá na optimální geotermální zdroje. To však neznamená, že zde v podzemí neexistují vyšší teploty. Na rozdíl od geotermicky bohatě obdařených oblastí, jako je Island, musíme ve střední Evropě proniknout do podstatně větší hloubky vrtů, abychom na podobné teploty narazili. Z řady studií je možné odvodit, že i na území České republiky je podle prvních výpočtů možné identifikovat minimálně šedesát lokalit vhodných pro výrobu elektřiny s celkovým výkonem cca 250 MW a tepla na vytápění s výkonem cca 2 000 MW, tedy s roční výrobou cca 2 TWh elektřiny a 4 TWh (14,4 PJ) využitelného tepla.

Při odkrývání zdrojů geotermální energie rozlišujeme:

- zásoby horké páry,
- zásoby termální horké vody,
- teplo ze suchých hornin (HDR – Hot Dry Rock).

Zásoby horké páry a termální vody lze využít přímo k vytápění a ohřevu a k výrobě elektrické energie. Pokud existují zásoby horkých hornin, lze jejich energii využít k ohřevu vody, která se pod tlakem vstříká do podzemí. Tato původně studená voda se v podzemí vlivem vysokého tlaku a teplot ohřívá a takto získané tepelné energie lze dále využít (Quaschnig, 2010).

Ve využívání geotermální energie (a nejen jí) může být vzorem Island (Tran, Sigurbjornsson, 2011).

## **Větrná energie**

Podle (Beranovský, Truxa, 2003) větrná energie vzniká jako důsledek dopadající sluneční energie. Vítr je proudění vzduchu, které vzniká tlakovými rozdíly mezi různě zahřátými oblastmi vzduchu v zemské atmosféře. Pokud není uvedeno jinak, rozumí se (i v odborné literatuře) pod pojmem vítr pouze horizontální složka proudění vzduchu.

Beranovský, Truxa (2003) dále uvádí, že

- Větrná energie byla dříve většinou využívána ve větrných mlýnech pro mletí obilí a čerpání vody (tzv. farmářská kola), přibližně posledních sto let se však používá i k výrobě elektřiny. Několikamegawattové elektrárny se vyvíjejí pro využití na moři, kde jsou velmi příznivé větrné podmínky.

- Větrná energie je na předním místě pomyslného žebříčku velikosti dostupného potenciálu obnovitelných zdrojů energie v ČR. Česká republika je vnitrozemský stát s typickým kontinentálním klimatem, který se projevuje významným sezonním kolísáním rychlostí větru. Příčinou je zejména globální vzdušné proudění typické pro severní a střední Evropu.

- V případě vnitrozemských oblastí (v podmínkách ČR) jsou příhodné lokality převážně ve vyšších nadmořských výškách, obvykle nad 500 m n. m. V nižších nadmořských výškách je roční průměrná rychlost větru poměrně nízká (kolem 2 až 4 m/s).

- Možnosti využití větrné energie:
  - přímá přeměna na mechanickou práci, např. čerpání vody nebo dříve známé mletí obilí,
  - přímá přeměna energie větru na elektřinu, kterou je možné dodávat do sítě nebo využívat v dané lokalitě.

## **Vodní energie**

Energie je schopnost konat práci, je to tedy vlastnost. Voda má vodní energii. Rozlišujeme energii polohovou (potenciální) a energii rychlostní (kinetickou) (Procházka, 1966).

Základem využití energie vody jsou vodní motory. Nejjednodušším je vodní kolo. Rozlišujeme kola se spodním náhonem – využívá kinetickou energii vody, kola s vrchním náhonem – využívá potenciální energii a kola se středním náhonem. Účinnějšími motory než vodní kola jsou vodní turbíny různé konstrukce – rovnotlaké a přetlakové. Představitelem rovnotlakých turbín jsou Peltonova, Bánkiho a Girardova turbína. Mezi přetlakové turbíny patří Francisova a Kaplanova turbína (Kminiak, 1990).

Podle údajů z (Quaschnig, 2010) dnes existuje mnohem méně vodních strojů, než jich bylo v době rozkvětu využívání vodní energie – v 18. století. Tenkrát se jen v Evropě točilo asi 500 000 až 600 000 vodních mlýnů. Hlavní využití tehdy nacházely ve Francii, ale i v jiných evropských zemích se otáčely tisíce vodních mlýnů. Vodní kola nepoháněla jen mlýny, ale sloužila i jako pohon dalších pracovních a výrobních strojů. Podél vodních toků vznikal typický obrázek vodních mlýnů s velkými otáčejícími se koly, jejichž průměr dosahoval až 18 m. Průměrný výkon tehdejších vodních kol však byl skromný – od pěti do sedmi koňských sil.

### **Solární energie**

Solární energie je všude přítomná a je základem pro veškeré bytí na Zemi. Lze ji označit za energii energií. Bez slunečního záření by nebylo nejen biomasy, ale ani větru či cirkulace vody.

Karamanolis (1996) uvádí, že část vyzářené sluneční energie –  $10^7$  TW<sub>r</sub> za rok – dopadá na Zemi. Tato část – asi 178 000 TW<sub>r</sub> – je zodpovědná za to, že náš ekosystém funguje bez závady. Uvědomíme-li si, že světová roční spotřeba energie je asi 12 TW<sub>r</sub>, vystačila by sluneční energie, která ročně dopadá na Zemi na dobu  $178\,000 / 12 = 14\,850$  let (čistě početně vzato).

Karamanolis (1996) se dále zabývá tím, co se s touto sluneční energií na Zemi děje. Téměř třetina, totiž 63 000 TW<sub>r</sub> se odráží od atmosféry a zemského povrchu a zmizí tedy navždy v hlubinách vesmíru. Zbytek, tj. asi 115 000 TW<sub>r</sub> se zapojí do energetických procesů Země a podléhá nerůznějším přeměnám. Ze sluneční energie tedy vznikají jiné formy energie. Asi 41 000 TW<sub>r</sub> vede k vypařování vody, především mořské, což způsobuje atmosférické srážky.

Ty zajišťují vytváření potenciální energie vysoko položených zdrojů vody, která se mění v kinetickou, např. pohybem v řekách.

Problém doby a intenzity slunečního záření popisuje (Themessl, Weiss, 2005) takto: Doba slunečního svitu a intenzita záření jsou závislé na zeměpisné poloze, ročním období a povětrnostních podmínkách. Roční úhrny globálního záření dosahují v nejslunečnějších oblastech Země hodnot přes 2 200 kWh/m<sup>2</sup>. V Česku je v některých oblastech dosahováno hodnot o velikosti 1 100 kWh/m<sup>2</sup>.

Globální záření se skládá z přímého a rozptýleného, difúzního záření. Přímé sluneční záření je to, které rozptýleno nebylo. Jak je silné, poznáme například podle hloubky stínů. Rozptýlené záření přichází z celé oblohy (za jasného počasí hlavně z těsného okolí Slunce) i od osvětleného terénu. Jeho role je tím větší, čím je Slunce níže (tedy čím delší je cesta záření atmosférou), čím je ovzduší prашnějši a samozřejmě čím více je na nebi oblačnosti. Průměrný podíl nepřímého záření je závislý na klimatických a geografických podmínkách, jakož i na nadmořské výšce.

Zatímco v letním úhrnu představuje podíl rozptýleného záření přibližně 50 % z globálního záření, v zimě je to ještě více. Čím je však podíl difúzního záření vyšší, tím nižší je využitelná energie globálního záření.

Využití solární tepelné energie:

- Zajímavým využitím slunečního záření je transparentní tepelná izolace se skleněnou omítkou – cihelná stěna domu, opatřená tmavým nátěrem, tvoří absorbér. Na něj jsou umístěny desky transparentní izolace tloušťky 10 cm. Neprůsvitné části fasády jsou izolovány polystyrénovými deskami ve stejné tloušťce, uzavřenými vnější omítkou. Na vnějším povrchu transparentních izolací je netkaná textilie a průsvitná skleněná omítka. Plochy transparentní izolace se nemusí zastiňovat, protože masivní zdivo vyrovnává teplotní špičky a prostup solární energie transparentní izolací je v létě díky vyššímu úhlu slunce asi o 15 až 20 % menší než v zimě (Haller et al., 2001).

- Výroba elektrické energie – (Krieg, 1993): křemíkové solární články nejsou tvořeny naprosto „čistým“ křemíkem, nýbrž jsou to vlastně křemíkové diody. Do základního materiálu jsou ve zcela nepatrném množství přimíseny cizí atomy, kterým k zabudování do krystalové mřížky chybí jeden valenční elektron. Obvykle



jsou to atomy bóru nebo hliníku. V tomto případě se jedná o dotování polovodičů typu P. Cizím atomem je přitom nahrazen každý miliónový atom křemíku. Do určité velmi tenké vrstvy na lící straně se pak difúzním procesem zavedou cizí atomy, které mají o jeden valenční elektron více. Takovými cizími atomy jsou atomy fosforu nebo arsenu. Toto dotování je u polovodičů typu N. Zde je koncentrace těchto atomů nejméně tisíckrát vyšší: tzn., že je jimi nahrazen každý stý až tisící atom křemíku. Na rozhraní těchto dvou vrstev vzniká elektrické pole vyšší intenzity. Toto vnitřní elektrické pole uvádí do pohybu volné nosiče náboje vznikající absorpcí světla a vyrábí tak elektrický proud, jenž je možno využít k napájení spotřebiče. K odvádění proudu jsou na obou stranách článku nutné kontakty.

## **2.2 Výhody a nevýhody solární energie**

### **Výhody**

Hlavními výhodami solární energie, tedy energie tepelného a světelného záření Slunce je:

- dostupnost,
- čistota,
- prakticky nevyčerpatelnost této energie.

### **Nevýhody**

Hlavní nevýhodou je nerovnoměrnost dopadajícího množství energie na dané území v čase. Toto je dáno nejen střídáním dne a noci či střídáním ročních období ale i měnícím se počasím.

Největší množství energie můžeme získat přes den v letních měsících. Bohužel to je doba, kdy tuto energii potřebujeme nejméně.

S rozvojem solárních a větrných elektráren a jejich nepravidelné výroby energie vyvstává otázka zdokonalení distribučních soustav a vytvoření nových tzv. inteligentních sítí (Liye et al., 2011).

## 2.3 Akumulace energie

Pokud chceme smysluplně využívat solární energii, musíme se zabývat její akumulací pro dobu, kdy je jí skutečně potřeba. Způsobů jak této akumulace dosáhnout je sice mnoho, ale ne všechny jsou vhodné, technicky realizovatelné a ekonomicky zdůvodnitelné.

Podle (Scheer, 2004) lze akumulaci sluneční energie provést pomocí elektrochemických akumulátorů, elektrostatických akumulátorů, setrvačníků, tlakového vzduchu, elektrodynamického uskladnění energie, solárního vodíku.

### **Biomasa**

Z našeho, čistě praktického hlediska je biomasa vzniklá činností rostlin vlastně jakási „energetická konzerva“ – je v ní uložena část zachycené sluneční energie a my ji můžeme uvolnit a využít pro své potřeby (Murtinger, Beranovský, 2011).

### **Fosilní paliva**

Trefně (Quaschnig, 2010) uvádí jako naakumulovanou sluneční energii fosilní paliva.

Fosilní zdroje energie – zásobárna sluneční energie.

Fosilní paliva jsou koncentrovanou zásobou energie, která vznikla ze zbytků živočišných a rostlinných těl. K fosilním palivům patří ropa, zemní plyn, černé uhlí, hnědé uhlí a rašeliny.

Výchozím materiálem fosilních nosičů energie je přeměněná sluneční energie, která vznikala a ukládala se po milióny let. Takto se stala fosilní paliva formou zásoby uložené sluneční energie.

Z chemického hlediska sestávají fosilní energetické zdroje z organických uhlíkatých sloučenin. Při spalování s kyslíkem se uvolňuje energie ve formě tepla a výsledkem této chemické reakce je oxid uhličitý, svítivý plyn a další produkty hoření.

### **Akumulátorové baterie**

Energie se uchovává v chemické látce. Typy akumulátorů rozlišujeme podle použitých chemických látek. Nejznámějšími akumulátory jsou akumulátory olověné. Podle (Murtinger, Beranovský, 2011) se dají na krátkodobou akumulaci použít akumulátory typu Li-ion, NaS, Zn-Br či kov-vzduch. Názvy napovídají, jaké mají tyto akumulátory složení.

### **Kondenzátorové baterie**

Kondenzátorové baterie pracují na principu vázání elektrického náboje silou elektrostatického pole nebo chemickou reakcí.

Použití kondenzátorů je především v distribuční síti jako rychlý krátkodobý záložní zdroj (Qudaih, Hiyama, 2010).

### **Zásobníky tepla**

Zásobníky se používají k uchování získaného tepla pro pozdější potřebu. K nejvíce rozšířeným patří zemní zásobníky tepla v kombinaci s tepelným čerpadlem. Schulz (1999) je podle teploty rozděluje na:

- Hlubokoteplotní (do 10°C)
- Nízkoteplotní (10 – 30°C)
- Středněteplotní (30 – 50°C)
- Vysokoteplotní (nad 50°C)

Zvláštní skupinu zásobníků tvoří vodní tanky a solární rybníky.

### **Přečerpávací nádrže**

Přečerpávací nádrže slouží jako zásobník vody pro vodní elektrárny. Energií získanou ze solárních elektráren jsou poháněna čerpadla sloužící k naplnění horní nádrže, solární energii tedy akumulujeme ve formě potenciální a kinetické energie vody. V době potřeby elektrické energie se přepustí voda z horní nádrže do dolní.

Během cesty voda přeměňuje v turbínách naakumulovanou energii na práci a ta je převedena generátory poháněnými turbínami na elektrickou energii.

Ministerstvo průmyslu a obchodu vytipovalo několik lokalit v horských oblastech pro budoucí možnou stavbu přečerpávacích elektráren.

Na zavádění a využívání obnovitelných zdrojů energie má velký vliv nejen cena jednotlivých energií, ale i politická podpora a regulace (Berberi et al., 2010; Outka, 2010; James, 2011; Naidoo, 2011).

Podobně jako u nás má i ve světě velký (možná i rozhodující) vliv na investory a jejich chuť investovat do energetických zdrojů legislativa (Grozdanov, Kakachev, 2011).

Zavádění obnovitelných zdrojů má vliv na snižování emisí oxidu uhličitého v energetice (San Miguel et al., 2010).

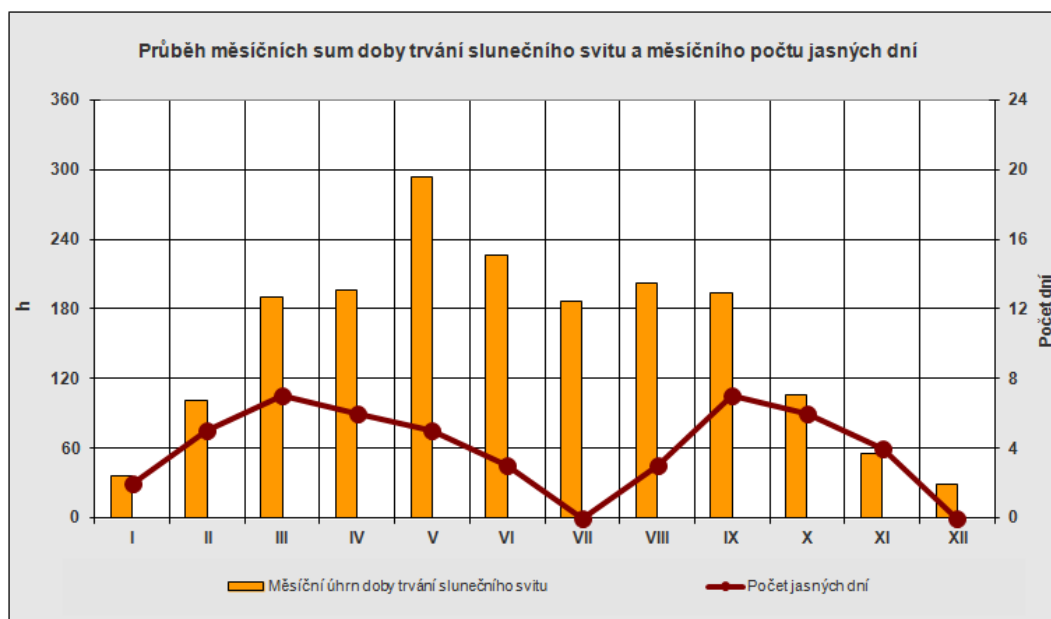
### 3. Rozbor získávání solární energie v průběhu roku

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2, je největším problémem výroby energie získávané ze Slunce její nerovnoměrné rozložení v čase. Můžeme hovořit o cyklech výroby. Základní krátkodobý cyklus je dán střídáním dne a noci tedy střídáním světla a tmy s periodou 24 hodin. Poměr délky dne (světla) a noci (tmy) se v průběhu roku mění. Střídá frekvence 1 : 1 tohoto cyklu je v období denní rovnodennosti, která se prodlužuje k maximu světla v době letního a minimu v době zimního slunovratu. Pravidelnou změnu délky dne a noci se může označit za roční cyklus.

Například vyšší intenzita slunečního záření v letním období je předvídatelná, výskyt inverzních období s mlhami v nížinách a slunečními dny na horách se může předpokládat, ale nelze předpovědět nepředvídatelné výkyvy počasí.

#### 3.1 Průběh slunečních dnů

Základním předpokladem pro výrobu elektrické energie ve FVE je sluneční svit. Měsíční sumy slunečního svitu a počet jasných dnů v Ústí nad Labem v roce 2011 jsou znázorněny na obrázku č. 1.



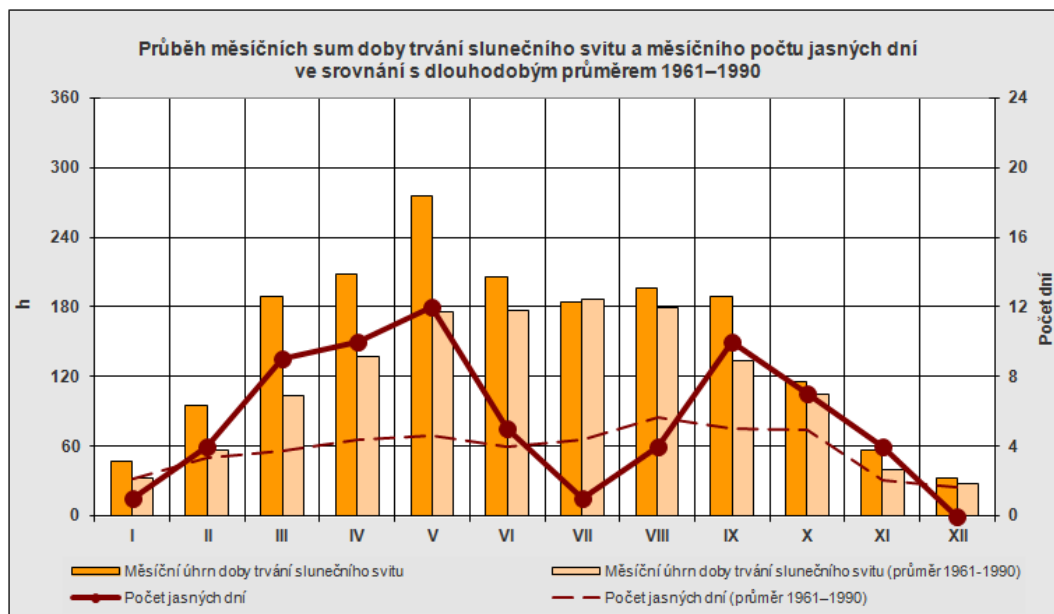
Obrázek č. 1 Sluneční svit 2011  
Zdroj: (<http://portal.chmi.cz>, 2012)

Měsícem bez jasných dnů byl červenec a prosinec, ale i přesto byl v červenci úhrn doby slunečního svitu více než šestinásobný oproti prosinci. To potvrzuje, že na úhrn doby slunečního svitu má největší vliv roční období. Se změnou ročního období se nemění jen délka dne a tím maximálně možná doba slunečního záření, ale i převládající počasí. V podzimních a zimních měsících například vznikají inverzní stavy počasí, kdy po dobu několika dní až týdnů nižší polohy zahalí tzv. londýnský smog a sluneční svit je zaznamenáván pouze na horách. V roce 2011 bylo toto dlouhodobé inverzní počasí v listopadu. Inverzní počasí při pohledu z Klínovce v listopadu 2011 je vyobrazeno na fotografii č. 1.



*Fotografie č. 1 Inverze*  
*Zdroj: (<http://portal.chmi.cz>, 2012)*

Velké výkyvy slunečního svitu způsobuje i aktuální počasí, které je velmi proměnlivé. Srovnání měsíčních sum doby slunečního svitu a jasných dní v roce 2011 s dlouhodobým průměrem je znázorněno v grafu na obrázku č. 2. Hodnoty dlouhodobého průměru jasně ukazují, že v letních měsících jsou největší úhrny slunečního svitu.



Obrázek č. 2 Průměrné doby slunečního svitu  
Zdroj: (<http://portal.chmi.cz>, 2012)

Terénní vliv umístění FVE na osvit sluncem je patrný na fotografii č. 2.



Fotografie č. 2 Vhodné umístění FVE  
Zdroj: (Dvořáková, 2011)

### 3.2 Průběh teplot

Pro odhad spotřeby elektrické energie přeměněné na energii tepelnou v různých ročních obdobích je potřeba znát průměrné teploty. V tabulce č. 1 jsou uvedeny průměrné teploty v jednotlivých měsících v roce 2011 a dlouhodobé měsíční průměry v České republice.

Tabulka č. 1 Průměrné teploty v České republice

Kraj		Měsíc												Rok
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Česká republika	T	-1,2	-2,0	3,8	10,5	13,3	16,9	16,4	18,0	14,6	7,8	2,5	1,9	8,5
	N	-2,8	-1,1	2,5	7,3	12,3	15,5	16,9	16,4	12,8	8,0	2,7	-1,0	7,5
	O	1,6	-0,9	1,3	3,2	1,0	1,4	-0,5	1,6	1,8	-0,2	-0,2	2,9	1,0

Zdroj: (<http://portal.chmi.cz>, 2012)

#### Vysvětlivky:

T = teplota vzduchu [°C]

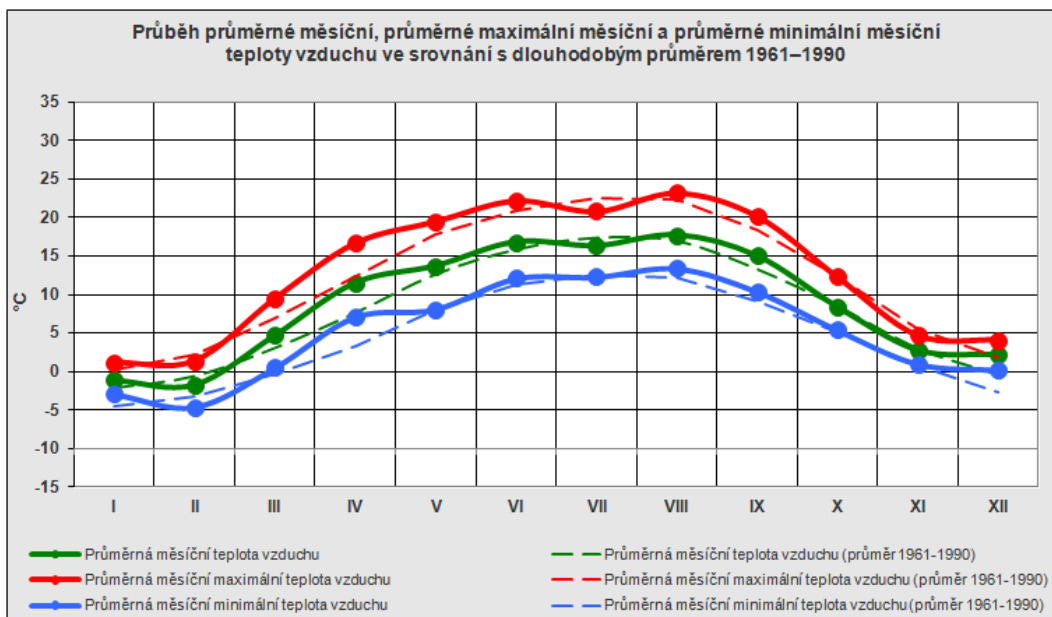
N = dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-1990 [°C]

O = odchylka od normálu [°C]

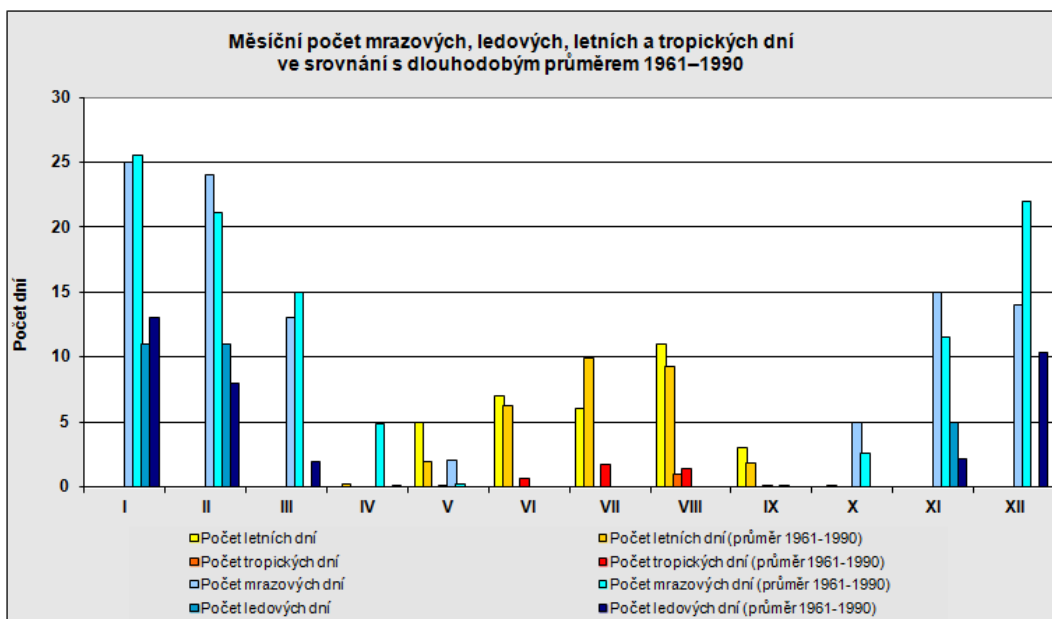
Z tabulky č. 1 se dá odvodit, že největší spotřeba energie používané pro vytápění je v měsících listopadu, prosinci, lednu, únoru a březnu. Za přechodné období z hlediska spotřeby energie na vytápění lze považovat říjen a duben.

Z grafu na obrázku č. 3 lze vyčíst průměrné, průměrné maximální a průměrné minimální teploty během roku 2011 a za období 1961 až 1990. Počty mrazových, ledových, letních a tropických dní v roce 2011 a průměr těchto dní za období 1961 až 1990 je znázorněno v grafu na obrázku č. 4.





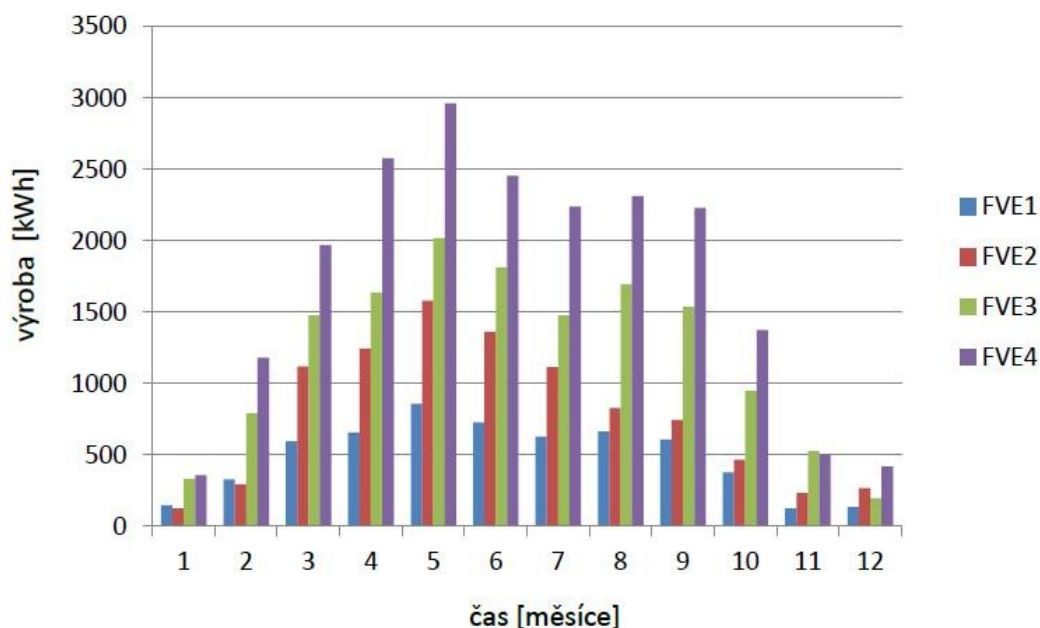
Obrázek č. 3 Průměrné měsíční teploty  
Zdroj: (<http://portal.chmi.cz>, 2012)



Obrázek č. 4 Mrazové, ledové, letní a tropické dny  
Zdroj: (<http://portal.chmi.cz>, 2012)

### 3.3 Časový průběh výroby ve FVE

Měsíční úhrny množství vyprodukované elektrické energie v roce 2011 ve čtyřech fotovoltaických elektrárnách jsou uvedeny v grafu na obrázku č. 5. Data výroby energie jsou ze čtyř FVE, které jsou postaveny v Ústeckém a Jihomoravském kraji. Mezi jednotlivými FVE jsou patrné mírné rozdíly v měsíčních úhrnech dané skutečným slunečním svitem v místě FVE.



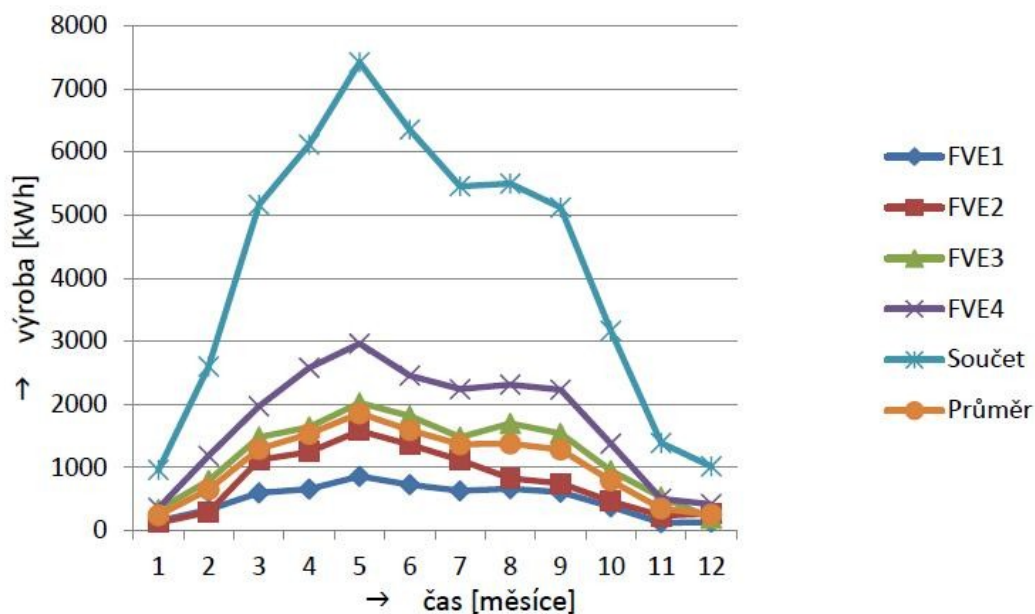
Obrázek č. 5 Měsíční úhrny výroby FVE  
Zdroj: (Dvořáková, 2012)

Měsíční data o výrobě elektrické energie jednotlivými FVE jsou v grafu na obrázku č. 6 doplněny o jejich součet a průměr. Ze souhrnných hodnot lze vyvodit trendy množství vyprodukované elektrické energie v jednotlivých měsících. Trendy lze matematicky vyjádřit pomocí rovnice regrese. Průběh trendů odpovídá polynomické rovnici. Polynomické rovnice regrese vyšších řádů mohou velmi věrně popsat průběh výroby. Použití polynomických rovnic vyšších řádů by bylo použitelné v případě dat za dlouhé období. Pokud však vycházíme pouze z dat za jeden rok, je výhodnější polynomická rovnice druhého řádu, která vykreslí trend, který je proložený skutečným průběhem a nekopíruje hodnoty, které mohou být výkyvem. Modelace trendu průměrné a souhrnné výroby daných polynomickou rovnicí druhého řádu je zobrazena v grafu na obrázku č. 7. Z tohoto grafu je odvozena rovnice regrese trendu součtu a průměru výroby ze čtyř FVE.

Matematický zápis měsíčních úhrnů výroby:

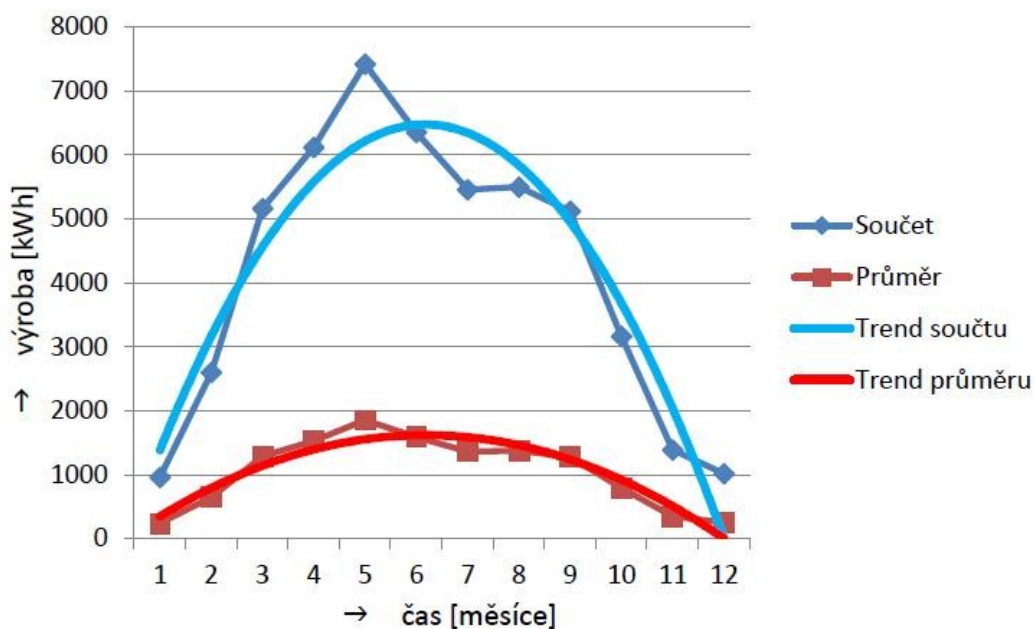
$$y_{\Sigma} = -190,38x^2 + 2349,4x - 770,53 \quad \text{pro součet výroby FVE 1, 2, 3, 4}$$

$$y_{\emptyset} = -47,596x^2 + 587,34x - 192,63 \quad \text{pro průměrnou výrobu FVE 1, 2, 3, 4}$$



Obrázek č. 6 Průměrná a celková výroba FVE

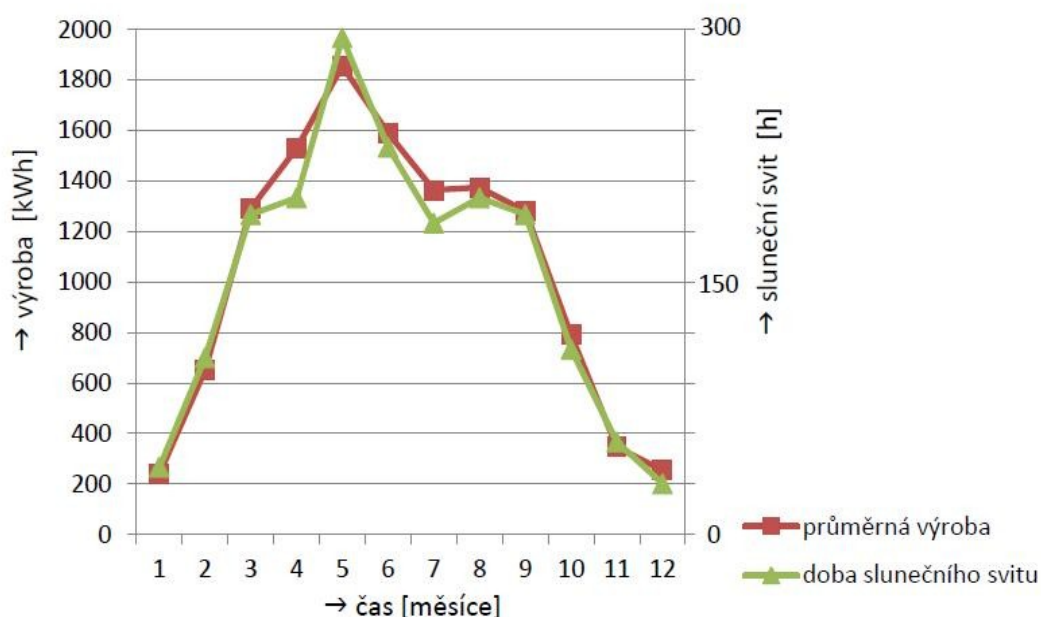
Zdroj: (Dvořáková, 2012)



Obrázek č. 7 Trend průměrné výroby

Zdroj: (Dvořáková, 2012)

Porovnání měsíčních úhrnů doby slunečního svitu a průměrné výroby elektrické energie na čtyřech sledovaných FVE je uvedeno v grafu na obrázku č. 8.



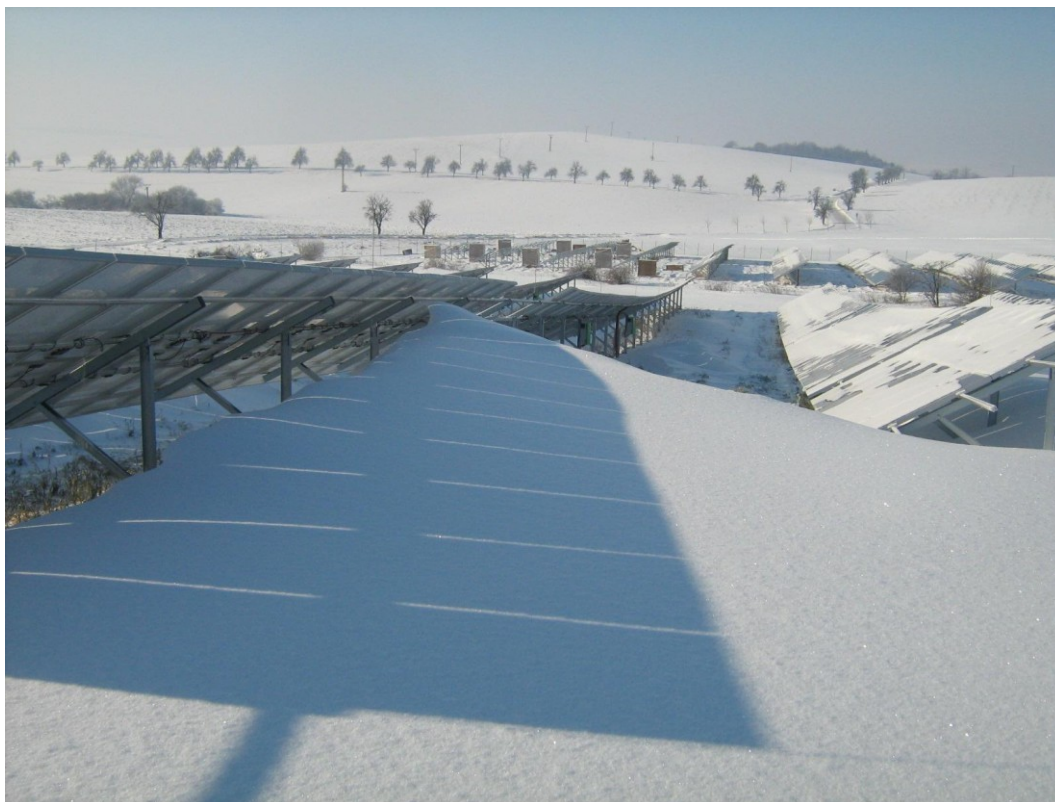
Obrázek č. 8 Porovnání průměrné výroby a doby slunečního svitu  
Zdroj: (Dvořáková, 2012)

Pro využití vyrobené energie je důležité porovnání průměrných měsíčních teplot a právě vyrobené energie. Porovnáním průměrných teplot uvedených v tabulce č. 1 a průměrné výroby energie čtyř FVE za jednotlivé měsíce v roce 2011 (viz graf na obrázku č. 5) je patrné, že nejmenší produkce je právě v měsících, kdy je v našich podnebných podmínkách nejnižší teplota.

K podobným závěrům lze dojít porovnáním počtu mrazových, ledových, letních a tropických dnů uvedených v grafu na obrázku č. 4 s údaji o průměrné výrobě vyobrazené v grafu na obrázku č. 7. Z porovnání údajů uvedených v těchto dvou grafech navíc vyplývá, že v měsících červnu, červenci a srpnu může být zvýšená spotřeba elektrické energie potřebná pro provoz klimatizačních jednotek.

Na výrobu elektrické energie ve fotovoltaických elektrárnách má vliv i úhel dopadu slunečního záření na plochu fotovoltaických článků. Pokud zobecníme, pak nepohyblivý článek (většina instalovaných fotovoltaických článků se nenatáčí podle polohy slunce) má optimální úhel dopadu v létě, kdy je slunce v nadhlavníku. V zimě negativně ovlivňuje výrobu nejen to, že slunce je nízko nad obzorem, ale i sněhová pokrývka na panelech. Ukázka zimních podmínek je na fotografii č. 3.

Na fotovoltaických článcích je vidět sněhová pokrývka a dlouhé stíny dokazující malý úhel dopadu slunečního záření.



*Fotografie č. 3 Ztížené zimní podmínky provozu FVE  
Zdroj: (Dvořáková, 2012)*

## **4. Analýza možností akumulace**

Pro analýzu je potřeba určit vhodnou metodu. Pro posouzení jednotlivých způsobů akumulace se jeví jako nejvhodnější metoda analýzy - SWOT analýza.

SWOT analýza je metoda, která má hlavní uplatnění v marketingu, managementu, procesním řízení a v poslední době je využívána i ve veřejné správě. Jelikož dokáže pojmut problematiku komplexně je vhodná i pro analýzu jednotlivých způsobů akumulace. Pomocí SWOT analýzy zaměřené na možnosti a způsob akumulace energie získávané z obnovitelných zdrojů lze určit její silné i slabé stránky. Vedle toho lze určit příležitosti a ohrožení jednotlivých způsobů akumulace.

Pro vyhodnocení je nutno určit, jakého cíle je potřeba dosáhnout. Pokud je dán cíl, tedy rozvoj akumulace energie v souvislosti s využíváním obnovitelných zdrojů energie, je dalším krokem určení strategie, jak tohoto cíle dosáhnout. Pro tento konkrétní případ je zřejmě nejvýhodnější strategie, kdy budou minimalizovány slabé stránky a maximalizovány příležitosti.

### **4.1 Analýza obecných možností akumulace**

Před analýzou konkrétních způsobů akumulace je nutné provést analýzu obecnější. Z této analýzy následně vyplynou obecné předpoklady akumulace a očekávání.

#### **Silné stránky (Strength)**

- uchování energie pro pozdější spotřebu
- rychlý náběh dodávek energie z akumulčních zdrojů

#### **Slabé stránky (Weaknesses)**

- vysoká pořizovací cena
- malá kapacita současných zařízení pro akumulaci
- malá podpora ze strany státu

### **Příležitosti (Opportunities)**

- vývoj nových technologií v akumulaci energie
- zvýšení stability rozvodné sítě
- použití zejména v kombinaci s FVE
- nezávislost na centrálních zdrojích

### **Ohrožení (Threats)**

- cenová politika v energetice
- upuštění od využívání obnovitelných zdrojů

## **4.2 Analýza akumulace pomocí akumulátorů**

Akumulátor je elektrochemický zdroj stejnosměrného napětí. Potřebné vlastnosti akumulátorů pro akumulaci energie z fotovoltaických elektráren:

odolnost proti úplnému vybití

minimální samovybíjení,

odolnost proti nepravidelnému nabíjení,

minimální údržba,

dlouhá životnost.

Pomocí SWOT analýzy určíme silné i slabé stránky akumulace akumulátory.

### **Silné stránky (Strength)**

- okamžitá změna režimu z nabíjení na režim zdroj
- typová rozmanitost pro různé způsoby použití
- minimální údržba

### **Slabé stránky (Weaknesses)**

- malá kapacita
- omezená životnost
- samovybíjení
- vysoká pořizovací cena

### **Příležitosti (Opportunities)**

- využití pro akumulaci z malých obnovitelných zdrojů
- vykrývání krátkodobých výkyvů v rozvodné síti
- ostrovní systémy
- využití v dopravě
- vývoj nových technologií akumulátorů

### **Ohrožení (Threats)**

- nezájem investorů
- neochota změnit rozvodnou síť
- malá politická podpora

## **4.3 Analýza akumulace pomocí vodních nádrží**

Akumulace energie pomocí vodních nádrží využívá výškového rozdílu hladin dvou nádrží. Při přebytku elektrické energie např. z větrných či fotovoltaických elektráren se čerpá voda z dolní nádrže do horní. Elektrická energie se pak získá vypouštěním vody z horní nádrže. Voda pohání např. Peltonovu turbínu spojenou s generátorem.

Základní vztahy pro výpočty:

$$E_p + E_k = konst$$

$E_p$  potenciální energie [J]

$E_k$  kinetická energie [J]



$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_p = mgh$$

$v$  rychlost proudění [ $\text{ms}^{-1}$ ]

$h$  výška [m]

$m$  hmotnost [kg]

$g$  tíhové zrychlení [ $\text{ms}^{-2}$ ]

Obecné náležitosti akumulace energie pomocí vodních nádrží:

horní a dolní nádrž,

velký spád mezi nádržemi

dostatek vody (velké srážky, řeka apod.)

Pomocí SWOT analýzy určíme silné i slabé stránky akumulace pomocí zásobníku vody.

#### **Silné stránky (Strength)**

- velká kapacita akumulace
- levný provoz
- provoz nezatěžuje životní prostředí

#### **Slabé stránky (Weaknesses)**

- zábor území – změna krajinného rázu
- velmi vysoké pořizovací náklady
- potřeba restrukturalizace rozvodné sítě

#### **Příležitosti (Opportunities)**

- akumulace výroby energie z FVE
- minimalizace rizika vzniku blackoutů

## Ohrožení (Threats)

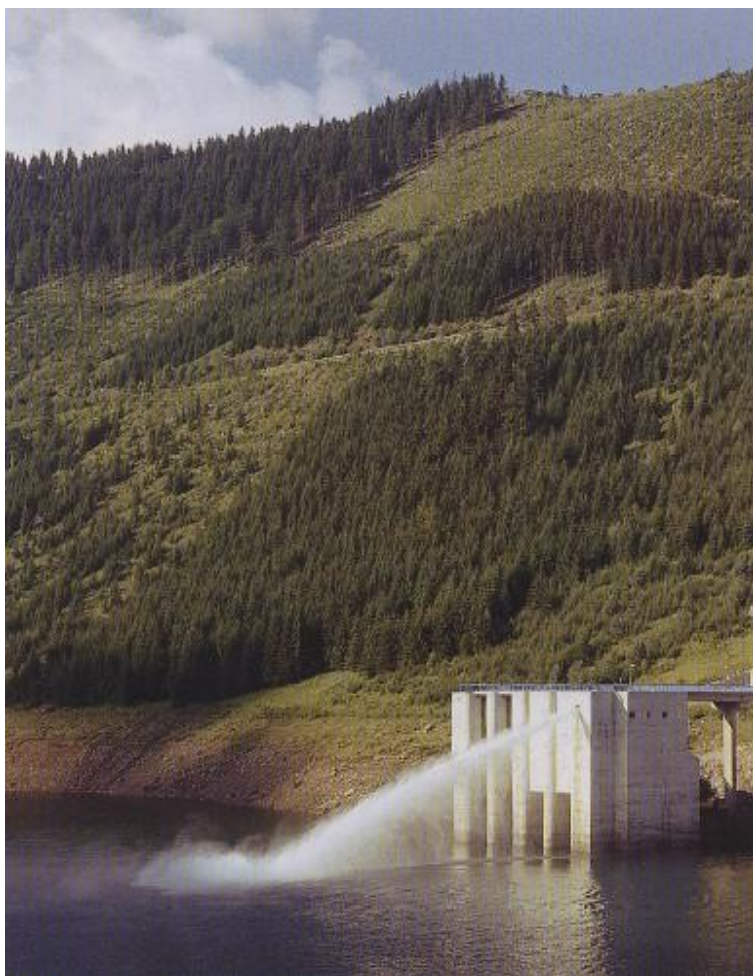
- nedostatek vody
- protesty obyvatel proti stavbám vodních děl
- vhodná pouze některá místa v krajině

Příkladem akumulace energie pomocí vody je přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně v Jeseníkách. Elektrárna nebyla sice vystavěna s úmyslem akumulovat energii z fotovoltaických elektráren, ale lze na ní prezentovat či ověřit závěr ze SWOT analýzy. Při výstavbě byl změněn ráz krajiny odtěžením vrcholu (viz fotografie č. 4) jednoho z nejvyšších kopců v Jeseníkách. V dnešní době vzhledem k současnému důrazu na ochranu životního prostředí by byl problém tuto stavbu v CHKO Jeseníky prosadit.



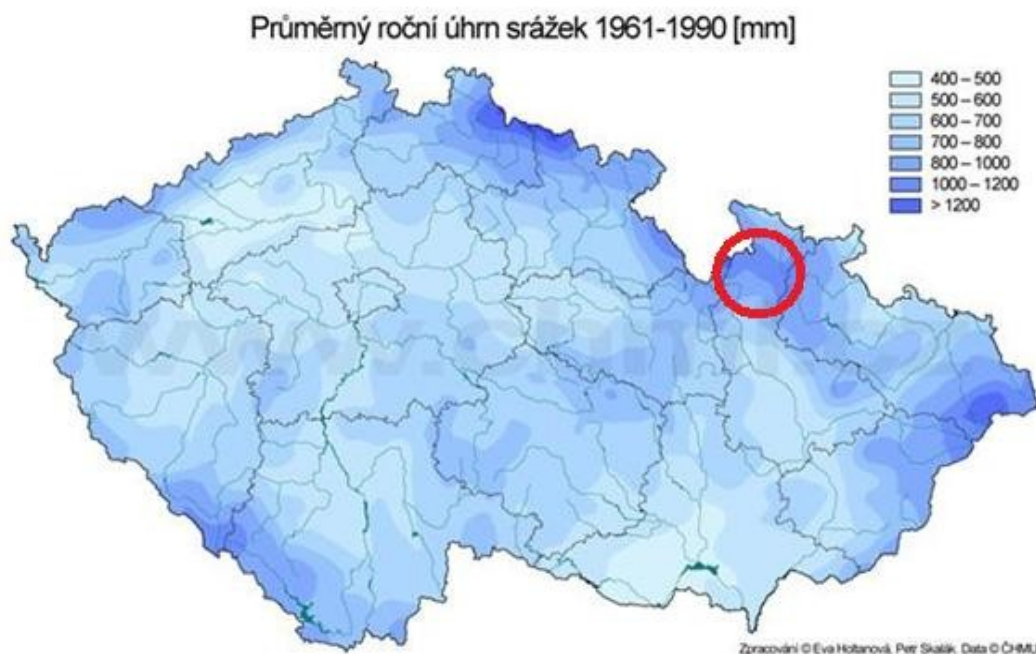
Fotografie č. 4 "Uřízlý" vrchol  
Zdroj: (<http://www.cez.cz>, 2012)

Pro bezproblémový provoz přečerpávací elektrárny je potřeba dostatečně velká zásoba vody, kterou lze kdykoliv použít. To znamená, že nestačí pouze horní nádrž, ale je potřeba vybudovat i dolní nádrž. Na fotografii č. 5 je vidět výtok do dolní nádrže v Dlouhých Stráních.



*Fotografie č. 5 Dolní výtok  
Zdroj: (<http://www.cez.cz>, 2012)*

Provoz elektrárny je poměrně levný, přečerpávání se provádí v době přebytku elektrické energie, výroba elektrické energie pomáhá při špičkách spotřeby. Jeseníky patří do oblasti s nadprůměrnými srážkovými úhrny (vyznačeno na obrázku č. 9).



Obrázek č. 9 Srážková mapa  
Zdroj: (<http://portal.chmi.cz>, 2012)

#### 4.4 Jiné způsoby akumulace

Forem akumulace energie se teoreticky dá vymyslet nespočet, ale praktické využití těchto forem je při současném poznání a úrovni techniky velmi vzdálené. Jako příklady akumulace uvádím tři, které jsou sice realizovatelné, ale podle mého názoru, pouze s malou kapacitou a velmi nízkou účinností.

**Akumulace stlačením vzduchu** – elektrická energie se mění v energii tlakovou a částečně tepelnou.

Fyzikální princip je patrný ze vzorců:

$$p + h\rho g + \frac{1}{2}\rho v^2 = konst$$

$p$  tlak [Pa]

$h$  výška [m]

$\rho$  hustota [kg m<sup>3</sup>]

$g$  tíhové zrychlení [m s<sup>-2</sup>]

$v$  rychlost proudění [m s<sup>-1</sup>]

$$pV = nRT$$

$p$  tlak [Pa]

$V$  objem [ $\text{m}^3$ ]

$n$  látkové množství [mol]

$R$  molární plynová konstanta  
[ $\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ ]

$T$  termodyn. teplota [K]

**Setrvačníky** – elektrická energie se přeměňuje v mechanickou kinetickou energii tím, že se roztáčí setrvačníky, v případě potřeby pak roztočené setrvačníky následně pohání generátory. Příkladem akumulace energie setrvačником jsou hračky s pohybem na setrvačnících.

Fyzikální princip:

$$E_k = \frac{1}{2} * J * \omega^2$$

$$\omega = 2 * \pi * f$$

$E_k$  kinetická energie [J]

$J$  moment setrvačnosti [ $\text{kg m}^2$ ]

$\omega$  úhlová rychlost [ $\text{rad s}^{-1}$ ]

$f$  frekvence [Hz]

**Akumulace energie zkapalněním plynu** – přebytkem vyrobené energie z FVE zkapalníme plyn (např. dusík), v případě potřeby plyn při běžné teplotě expanduje a roztáčí turbínu.

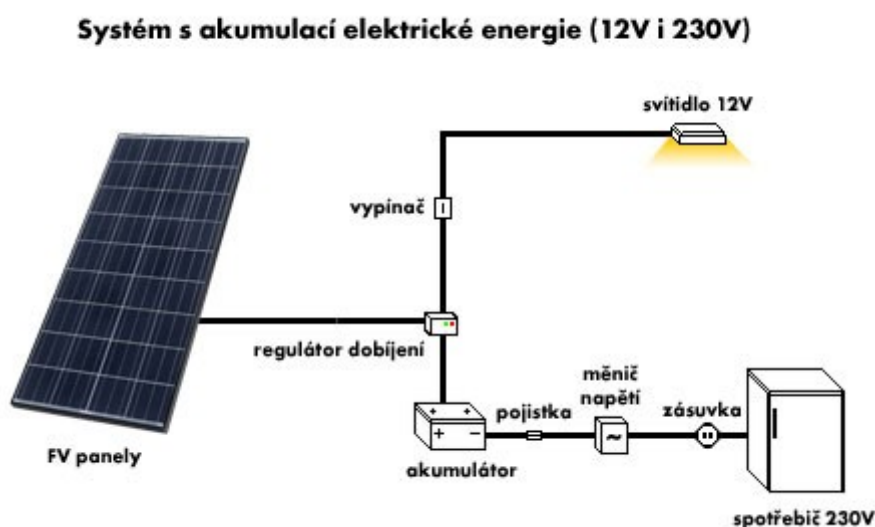
Fyzikální princip využívání zkapalněného plynu je podobný jako u stlačování vzduchu. Plyn se však při fázovém přechodu z kapalné fáze do fáze plynné mnohonásobně rozpíná.

## 5. Výsledná řešení

Fotovoltaické elektrárny jsou v provozu již několik let, proto je možno provádět rozbor skutečného zařízení, respektive rozbor skutečně vyrobené elektrické energie z fotovoltaických článků. Tyto rozборы byly provedeny v kapitole 3. Nelze samozřejmě výsledky nijak generalizovat, ale jako vstupní údaje pro návrh způsobu akumulace jsou dostatečné. Pro výběr a návrh akumulace je důležité znát vlastnosti zdroje energie. Důležitou vlastností FVE je nejen maximálně dodávaný výkon, ale i předpokládané množství dodané energie za určitý čas.

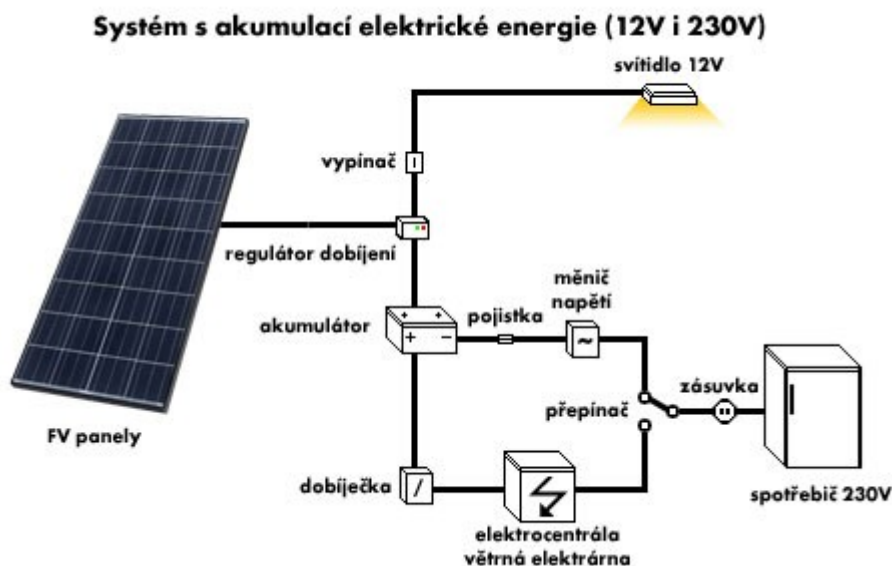
### 5.1 Řešení pro malé zdroje

Pro FVE umístěné na střechách domů se jeví jako vhodný způsob akumulace použití akumulátorů. Jedná se o tzv. ostrovní systémy, kde energie z fotovoltaických článků slouží k dobíjení akumulátorů. Základní zapojení takového ostrovního systému je obrázku č. 10. U ostrovního systému je vhodné používat spotřebiče o jmenovitém napětí stejném jako je napětí akumulátorů. Při použití síťových spotřebičů je nutno použít měnič napětí 12V/230V. Použitím měničů se snižuje účinnost systému díky ztrátám při transformaci napětí. Hlavní nevýhoda tohoto systému spočívá v tom, že pokud se vybijí akumulátory, nelze používat elektrospotřebiče.



Obrázek č. 10 Základní ostrovní systém  
Zdroj: (www.solarenavi.cz, 2012)

Z pohledu možnosti nepřetržitého odběru elektrického proudu je vhodným řešením kombinace fotovoltaiky s jiným zdrojem elektrické energie. Na obrázku č. 11 je tímto zdrojem elektrocentrála.



Obrázek č. 11 Ostrovní systém s elektrocentrálou  
Zdroj: (<http://www.solarenavi.cz>, 2012)

Ostrovní systémy jsou již dnes v nabídce mnoha firem zabývajících se prodejem a stavbou solárních zařízení, proto není potřeba se s nimi podrobněji zabývat.

Tyto ostrovní systémy, tzv. off grid, mají smysl především pro zajištění lokálních zdrojů elektřiny a pro rozvojové země (Tožička, 2009).

Ve 4. kapitole byla popsána akumulace nejen akumulátory, ale i využitím potenciální energie vodních nádrží umístěných na vyvýšeném místě. Vodní nádrží určenou pro akumulaci nemusí být pouze obrovské vodní dílo, ale může jím být i vodojem či tank. S touto formou akumulace energie jsem se v nabídkách firem nesešla. Z tohoto důvodu navrhuji konkrétní řešení akumulace pomocí zásobníku vody pro malý fotovoltaický zdroj umístěný na střeše rodinného domu.

Řešení akumulace pomocí zásobníku vody pro rodinný dům s fotovoltaickou elektrárnou na střeše o výkonu 5,33 kW:

Roční výroba elektrické energie této FVE je zobrazena v grafu křivkou označenou jako FVE1 na obrázku č. 6.

Základní údaje:	výkon	5,33 kWh
	roční produkce	5,8 MWh = 21 GJ

Pro návrh akumulace stačí energie za měsíce, kdy je jí přebytek. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2 Výroba elektrické energie v období 4-9/2011

Období	Vyrobená energie [kWh]	Vyrobená energie [GJ]
4/2011	655	2,35
5/2011	857	3,08
6/2011	726	2,61
7/2011	627	2,25
8/2011	662	2,38
9/2011	607	2,18
Součet	4134	14,88

Zdroj: (Dvořáková, 2012)

Za uvedené období bylo vyrobeno 14,88 GJ. Zásobník je přibližně 100 m nad úrovní, kde bude umístěna Peltonova turbína.

Jednotlivé výpočty jsou uvedeny v příloze č. 1 (pro výpočet rozměrů vodní nádrže a vhodného průtoku) a v příloze č. 2 (pro výpočet Peltonovy turbíny). Při výpočtech je zanedbána účinnost jednotlivých technických zařízení a není uvažováno s tlakovými ztrátami v potrubí.

Rozměry vodní nádrže:

délka 60 m

šířka 50 m

výška 5 m

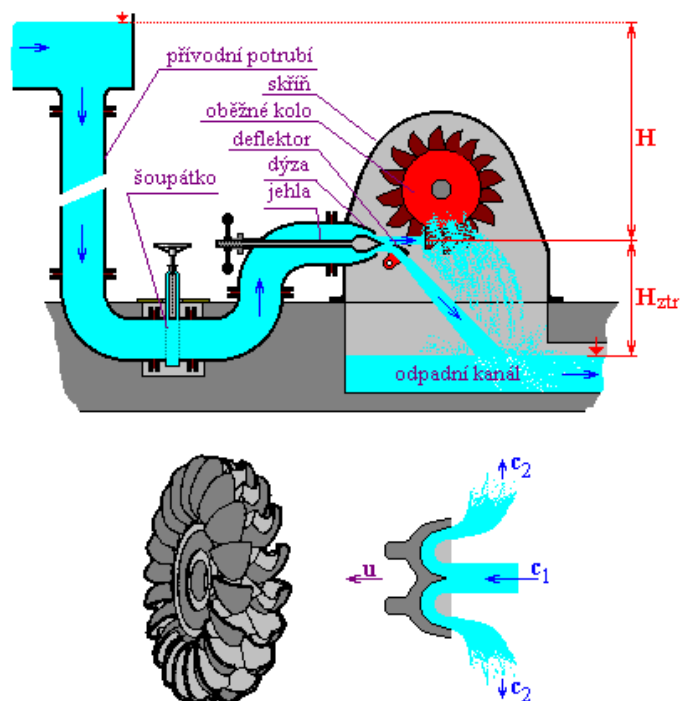
Pro návrh Peltonovy turbíny je nutné stanovit průtok  $Q$  [ $l\ s^{-1}$ ].

$$Q = 2\ l\ s^{-1}.$$



Výpočet Peltonovy turbíny, který je uveden v příloze č. 2, slouží pro ověření, zda je akumulace za ideálních podmínek reálná.

Schematické znázornění Peltonovy turbíny je na obrázku č. 12.



Obrázek č. 12 Peltonova turbína  
Zdroj: (<http://mve.energetika.cz>, 2012)

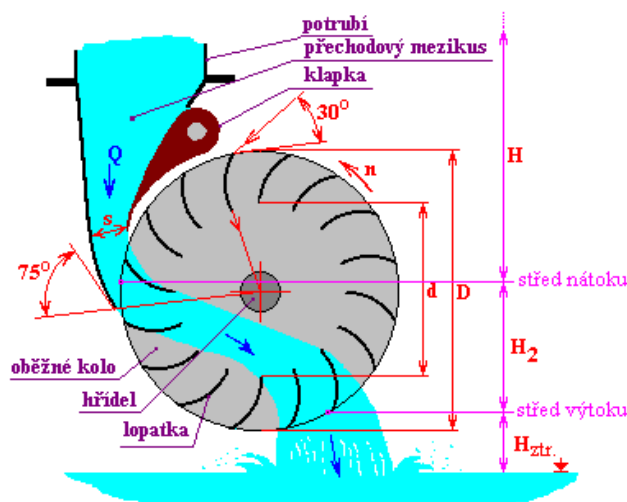
Na fotografii č. 6 je příklad malé FVE umístěné na střeše rodinného domu.



Fotografie č. 6 Rodinný dům s FVE  
Zdroj: (Dvořáková, 2012)

Pro správnou funkci akumulace pomocí zásobníku na vodu je potřeba zvolit správné čerpadlo sloužící k plnění zásobníku. Optimální chod čerpadla je zajištěn pouze při jmenovitém napětí udávané výrobcem a dostatečně tvrdým zdrojem poskytující dostatečný příkon. Jelikož FVE je jako zdroj elektrické energie velmi kolísavý a měkký je nutno zásobník vody pro malou FVE doplnit o pomocnou akumulaci elektrické energie. Použití akumulátorů s vhodným měničem napětí zajistí dostatečnou kapacitu pro provoz čerpadla i provoz rodinného domu.

Přeměnu naakumulované polohové energie vody v energii elektrickou zajistí vodní turbína, která pohání generátor elektrického proudu. Zásobníky vody mohou zabírat relativně velký prostor, proto je výhodné, pokud mezi horním a dolním zásobníkem je co možná nejvyšší spád. Vyšší spád vyžaduje pro stejnou naakumulovanou energii menší zásobu vody. Výběr turbíny závisí na spádu. Pro malé spády lze využít např. Bánkiho turbínu (viz obrázek č. 13), pro spády nad 50 m je nejvhodnějším typem Peltonova turbína.



Obrázek č. 13 Bánkiho turbína  
Zdroj: (<http://mve.energetika.cz>, 2012)

Principiální blokové schéma zapojení soustavy, která spojuje dlouhodobou akumulaci energie pomocí vodních nádrží (malá přečerpávací elektrárna) s krátkodobou akumulací pomocí elektrochemických akumulátorů je zobrazeno na obrázku č. 14.



Obrázek č. 14 Akumulace pomocí kombinace zásobníku vody a akumulátorů  
Zdroj: (Dvořáková, 2012)

## 5.2 Řešení pro velké zdroje

Před řešením akumulace pro velké zdroje je potřeba si stanovit cíle a nalézt odpověď na základní otázku proč je potřebná akumulace energie z fotovoltaických elektráren. Cílem akumulace energie by mělo být odstranění nedostatků či problémů, které provoz FVE přináší. Ukázka velkého zdroje je na fotografii č. 7.



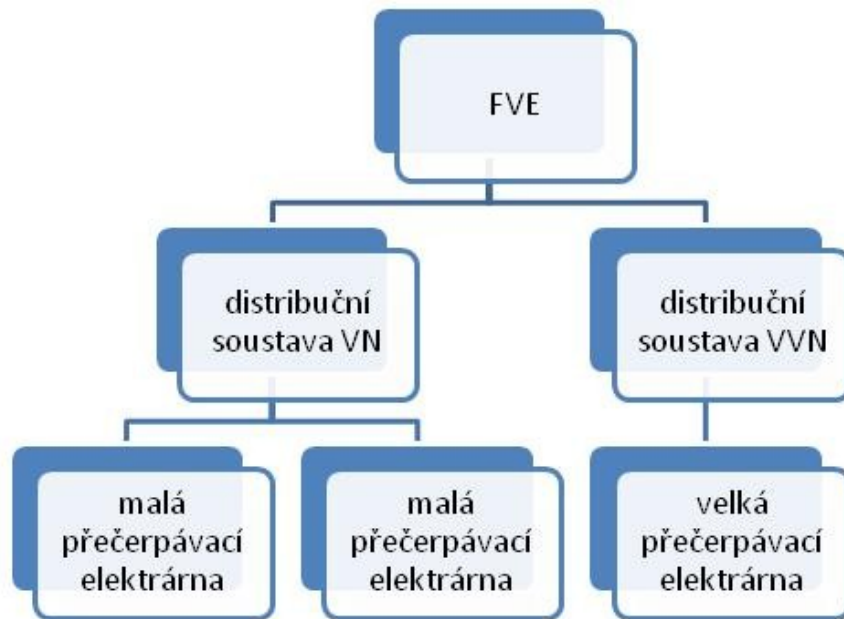
*Fotografie č. 7 Velká FVE  
Zdroj: (Dvořáková, 2011)*

Hlavním nedostatkem, který přináší výroba elektrické energie ve FVE, je vysoká výroba v letních měsících a nízká v zimě, kdy je však nejvyšší spotřeba.

Největším problémem FVE je kolísavá výroba. Prudké výkyvy ve výrobě jsou hlavním destabilizujícím prvkem celé distribuční i přenosové soustavy. Bohužel velké energetické parky fotovoltaických elektráren společně s parky větrných elektráren jsou dnes velkým zdrojem rizika pro destabilizaci elektrorozvodných sítí s velkou pravděpodobností vzniku blackoutu.

Pro akumulaci energie z velkých fotovoltaických zdrojů, respektive z velkého množství fotovoltaických parků na území ČR, se jeví jako nejvhodnější řešení soustava přečerpávacích elektráren. Představa je taková, že jako základ vznikající sítě vodních rezervoárů určených pro akumulaci by byly využity vhodné terénní reliéfy v horských oblastech pro stavbu vodních děl s přečerpávacími elektrárnami. Tato velká vodní díla by byla doplněna po celém území České republiky menšími vyrovnávacími nádržemi (s malými přečerpávacími elektrárnami) na vyvýšeninách ve volné krajině. Jako vyrovnávací nádrže mohou posloužit například nevyužívané

vodojemy. Vznikla by tak unikátní soustava přečerpávacích elektráren pokrývající celou Českou republiku. Principiální schéma takovéto soustavy je obrázku č. 15.



Obrázek č. 15 Řešení akumulace pro velké zdroje s využitím stávající sítě  
Zdroj: (Dvořáková, 2012)

Pro přenos energie z FVE k vodním nádržím lze využít, buď stávající distribuční elektrorozvodnou síť, nebo vybudovat síť novou.

Hlavní výhoda vybudování nové sítě:

výroba z FVE nezatěžuje stávající síť → nezvyšuje riziko vzniku blackoutu

Hlavní nevýhoda vybudování nové sítě:

vysoká cena

Hlavní výhoda při využití stávající sítě:

nižší náklady na úpravu stávající sítě než náklady na budování nové

Hlavní nevýhoda při využití stávající sítě:

přetěžování sítě při slunečních dnech → zvyšuje riziko vzniku blackoutu

Obě varianty předpokládají vytvoření tzv. inteligentní sítě. Výhodou této plošné soustavy akumulčních nádrží je rozprostření zdrojů elektrické energie do více míst, což vede k větší stabilitě sítě při výpadku jednotlivého zdroje. Vytvoření mnoha menších zdrojů je prvním předpokladem pro vytvoření tzv. inteligentní sítě s dokonalejší regulací výroby a zatížení jednotlivých větví sítě než dnes.

### **Alternativní řešení**

Alternativním řešením by mohla být krátkodobá akumulace. Zařízením pro akumulaci by mohly být akumulátory, setrvačníky apod. Tato akumulace by řešila problém s krátkodobými výkyvy ve výrobě. Odstranila by zejména problém při prudkém zvýšení výroby.

Zařízení pro krátkodobou akumulaci by bylo vhodné umístit co nejbližší k výrobním zdrojům. Nejvhodnějším řešením z hlediska stability sítě by bylo, pokud by zařízení pro akumulaci byly součástí fotovoltaických elektráren.

## 6. Diskuze

Zhodnocení navrhnutých výsledných řešení v kapitolách 5.1 a 5.2 lze provést z hlediska technického, ekonomického a vlivu na životní prostředí.

### **Krátkodobá akumulace**

Za krátkodobou akumulaci lze považovat akumulaci energii v řádu dnů až týdnů v kombinaci se zdroji nižších výkonů.

Technické hledisko – řešení ostrovních systémů s krátkodobou akumulací je již v současné době využíváno, z technického hlediska tedy nejsou nijak problémové.

Ekonomické hledisko – ostrovní systémy bez podpory ze strany státu nemohou při současných cenách energií konkurovat běžnému napojení na stávající elektrorozvodnou síť. Ostrovní systémy z ekonomického hlediska mají význam pouze v odlehlých místech ve velké vzdálenosti od stávající elektrorozvodných sítí.

Vliv na životní prostředí – pokud nebudeme posuzovat ekologické aspekty výroby jednotlivých komponentů (které je těžké vyhodnotit, protože naprostá většina těchto komponentů se vyrábí v Číně) a jejich následné recyklace není tento systém z hlediska vlivu na životní prostředí při provozu nijak zatěžující.

### **Dlouhodobá akumulace**

Dlouhodobá akumulace umožňuje uchování energie na dobu v řádu měsíců až let. Pro dlouhodobou akumulaci je příznačné uchování velkého množství energie.

Technické hledisko – stavba vodních nádrží (přečerpávacích elektráren), vytvoření nové sítě respektive modernizace stávající a její regulace je technicky proveditelná. Z technického hlediska je možné tento systém vytvořit.

Ekonomické hledisko – náklady na komplexní řešení akumulace pomocí přečerpávacích elektráren lze jen odhadovat. Na obrázku č. 16 jsou vyobrazeny lokality pro možné vybudování přečerpávacích elektráren vytipované ministerstvem průmyslu a obchodu. Pořizovací cena každé stavby se může pohybovat v rozmezí

20 až 30 miliard korun. Vybudování celé soustavy by se pohybovalo v řádech stovek miliard.

Vliv na životní prostředí – samotný provoz navržené soustavy technických zařízení pro dlouhodobou akumulaci nemá nepříznivé vlivy na životní prostředí. Samotná výstavba však představuje velký zásah do krajinného rázu. Zda tento zásah bude pozitivní či negativní nelze bez vyhodnocení vlivů na životní prostředí (např. EIA) předem posoudit.



Obrázek č. 16 Mapa uvažovaných přečerpávacích elektráren  
Zdroj: (<http://www.nazeleno.cz>, 2012)



## Závěr

Problematika výroby a využití elektrické energie z obnovitelných zdrojů je velmi komplikované a široké téma. V souladu s tématem diplomové práce jsem se soustředila zejména na možnost akumulace energie z fotovoltaických elektráren.

Rozsáhlá část diplomové práce se věnuje rozboru získaných dat. Pro rozbor vhodnosti podmínek pro výrobu elektrické energie ve fotovoltaických elektrárnách v průběhu roku jsem využila dostupná data z webového portálu Českého hydrometeorologického ústavu. Údaje o skutečné výrobě jsem získala od čtyř vlastníků malých fotovoltaických elektráren umístěných na střechách domů. Jednotliví vlastníci nejsou v diplomové práci na jejich žádost nijak identifikováni.

Po rozboru podmínek jsem provedla analýzu možností akumulace akumulátory a vodními nádržemi pro přečerpávací elektrárny.

Navrhovaná řešení akumulace jsem rozdělila podle výkonu na malé elektrárny a pro soustavu velkých fotovoltaických parků.

Pro malou FVE o výkonu 5,33 kW jsem navrhla jako jednu možnost akumulace – použití akumulátorů a jako druhou možnost akumulace – využití vodní nádrže ve spojení s akumulátory.

Akumulaci energie z velkých zdrojů jsem řešila návrhem vytvoření soustavy přečerpávacích elektráren a dobudováním elektrorozvodné sítě. Do této sítě se můžou zapojit i parky větrných elektráren.

Uvedená řešení se dají označit za koncept, jakým by se mohl ubírat vývoj ve využívání energie získávané ze slunce, větru a dalších zdrojů obnovitelné energie, které mají ze své podstaty velmi kolísavý výkon, a nelze jejich okamžitou výrobu dopředu určit.

## Použitá literatura

BERANOVSKÝ J., TRUXA J. a kol.(2003). Alternativní energie pro váš dům. 1. vyd. Šlapanice: ERA, 125 p. ISBN 80-86517-59-4

BERBERI P., INODNORJANI S., ALETI R. (2010) Integration and Optimization of Alternative Sources of Energy in a Remote Region. AIP Conference Proceedings, p920-925

GROZDANOV I., KAKACHEV T. V. (2011) Impact of Bulgarian energy legislation changes on investments in renewable energy. US-China Law Review, p176-187

HALLER A., HUMM O., VOSS K. (2001). *Solární energie: využití při obnově budov*. 1. vyd. Praha: Grada, 184 p. ISBN 80-7169-580-7

IRVINE, G., LAMONT, E. R., ANTIZAR-LADISLAO, B.,(2010) Energy from Waste: Reuse of Compost Heat as a Source of Renewable Energy. International Journal of Chemical Engineering, p1-10

JAMES K. A. (2011) Expediting the Permitting Process for Desert Solar Projects. McGeorge Law Review, p573-581

KARAMANOLIS S. (1996). Sluneční energie: východisko z ekologicko-energetické krize. Praha: Sdružení MAC, 239 p. ISBN 80-86015-02-5

KMINIAK P. (1990). Vodné mikroelektrárne. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 344 s. ISBN 80-05-00771-X

KRALOVA I., SJOBLOM J., (2010) Biofuels-Renewable Energy Sources. Journal of Dispersion Science&Technology, p409-425

KRIEG B. (1993). Elektřina ze slunce: solární technika v teorii a praxi. 1.vyd. Ostrava: HEL, 222 p.

LIYE X., LIANGZHEN L., YI L. (2011) Discussions on the Architecture and Operation Mode of Future Power Grids. *Energies*, p1025-1035

MURTINGER K., BERANOVSKÝ J. (2011). Energie z biomasy. 1. vyd. Brno: Computer Press, 106 p. ISBN 978-80-251-2916-6

MUSIL, P. (2009). Globální energetický problém a hospodářská politika se zaměřením na obnovitelné zdroje. 1. vyd. Praha: C. H. Beck, 204 p. ISBN 978-80-7400-112-3

NAIDOO K. (2011) The Safe Bet: Renewables. *Nation*, p4-6

NAVRÁTIL J. (1997). Domácí kotel a tepelné čerpadlo. Olomouc: Navrátil, 153 p. ISBN 80-902244-1-5

OŠLAJ M., MURŠEČ B., (2010) Biogas as a renewable energy source. *Tehnicki vjesnik/Technical Gazette*, p109-114

OUTKA U. (2010) Siting Renewable Energy: Land Use and Regulatory Context. *Ecology Law Quarterly*, p1041-1105

PASTOREK Z., KÁRA J., JEVIČ P. (2004). Biomasa obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC PUBLIC, 288 p. ISBN 80-86534-06-5

PETRÁŠ, D. (2008). Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 207 p. ISBN 978-80-8076-069-4

PROCHÁZKA A. (1966). Základy mechaniky vody v praxi. 1. vyd. Praha: SNTL-Práce, 164 p. ISBN 04-953-66

QUASCHNING, V. (2010). Obnovitelné zdroje energií. 1. vyd. Praha: Grada, 296 p. ISBN 978-80-247-3250-3

QUDAIH Y. S., HIYAMA T. (2010) Utilization of Energy Capacitor Systems in Power Distribution Networks with Renewable Energy Sources. Engineering, p244-251

RAWLINGS P. (2011) Geothermal Systems: Sustainable Efficient Energy Sources. Journal of Housing & Community Development, p6-11

SAN MIGUEL G., DEL RIO P., HERNÁNDEZ F. (2010) An update of Spanish renewable energy policy and achievements in a low carbon context. Journal of Renewable & Sustainable Energy, p031007-1-17

SCHEER H. (2004). Světové sluneční hospodářství. 1. vyd. Praha: Eurosolar, 318 p. ISBN 80-903248-0-0

SCHULZ, H. (1999). Teplo ze slunce a země. 1.vyd. Ostrava: HEL, 121 p. ISBN 80-86167-09-7

THEMESSL A., WEISS W. (2005). Solární systémy: návrhy a stavba svépomocí. 1.vyd. Praha: Grada, 116 p. ISBN 80-247-0589-3

TOŽIČKA, T. (2009). Udržitelné technologie pro rozvoj:příručka pro implementaci udržitelných technologií v rozvojové spolupráci. Praha: Adra, 123 p. ISBN 978-80-254-6105-1

TRAN T. C., SIGURBJORRNSSON O. (2011) That's why we should all go to Iceland. TCE: The Chemical Engineer, p28-31

## Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Sluneční svit 2011 .....	21
Obrázek č. 2 Průměrné doby slunečního svitu .....	23
Obrázek č. 3 Průměrné měsíční teploty .....	25
Obrázek č. 4 Mrazové, ledové, letní a tropické dny .....	25
Obrázek č. 5 Měsíční úhrny výroby FVE .....	26
Obrázek č. 6 Průměrná a celková výroba FVE .....	27
Obrázek č. 7 Trend průměrné výroby .....	27
Obrázek č. 8 Porovnání průměrné výroby a doby slunečního svitu .....	28
Obrázek č. 9 Srážková mapa .....	36
Obrázek č. 10 Základní ostrovní systém .....	38
Obrázek č. 11 Ostrovní systém s elektrocentrálou .....	39
Obrázek č. 12 Peltonova turbína .....	41
Obrázek č. 13 Bankiho turbína .....	42
Obrázek č. 14 Akumulace pomocí kombinace zásobníku vody a akumulátorů .....	43
Obrázek č. 15 Řešení akumulace pro velké zdroje s využitím stávající sítě .....	45
Obrázek č. 16 Mapa uvažovaných přečerpávacích elektráren .....	48

## Seznam fotografií

Fotografie č. 1 Inverze .....	22
Fotografie č. 2 Vhodné umístění FVE .....	23
Fotografie č. 3 Ztížené zimní podmínky provozu FVE .....	29
Fotografie č. 4 "Uřízlý" vrchol .....	34
Fotografie č. 5 Dolní výtok .....	35
Fotografie č. 6 Rodinný dům s FVE .....	41
Fotografie č. 7 Velká FVE .....	44

## Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Průměrné teploty v České republice .....	24
Tabulka č. 2 Výroba elektrické energie v období 4-9/2011 .....	40

## Přílohy

- Příloha č. 1 Výpočet rozměrů vodní nádrže a vhodného průtoku
- Příloha č. 2 Výpočet Peltonovy turbíny

## Příloha č. 1 Výpočet rozměrů vodní nádrže a vhodného průtoku

### Výpočet rozměrů vodní nádrže

Při výpočtech bude zanedbána účinnost jednotlivých zařízení a nebudou uvažovány tlakové ztráty v potrubí.

$$E_p = mgh$$

$$m = \frac{E_p}{g * h}$$

množství vody:

$$m = \frac{14880000000}{9,81 * 100} = 15168195 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow 15168195 \text{ kg} \sim 15168195 \text{ l} = 15168 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \text{krychlová nádrž o straně 25 m}$$

Výška nádrže 25 m je stavebně náročná, proto volím výšku 5 m, délku 60m a šířku 50 m (15 000 m<sup>3</sup>).

### Výpočet vhodného průtoku

Předpoklad:

V zimních měsících je obvyklá průměrná spotřeba rodinného domu 5 kW.

Zadržovaná energie by měla vydržet na cca 90 dní.

$$1 \text{ den} = 24 \text{ hodin} = 86\,400 \text{ sekund}$$

$$90 \text{ dní} = 7\,776\,000 \text{ sekund}$$

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{15000000}{7776000} = 1,9 \text{ l s}^{-1}$$

Pro další výpočty volím  $Q = 2 \text{ l s}^{-1}$ .

**Příloha č. 2 Výpočet Peltonovy turbíny, Zdroj: (<http://mve.energetika.cz>, 2012)**

**Výpočet Peltonovy turbíny s jednou dýzou:**

**Zadáni:**

nejprve zadejte tyto svoje údaje:

spád "H":  [metry]

průtok dýzou "Q":  [litr./sec.]

teprve potom pokračujte:

zvolte si počet lopatek v rozsahu 18 až 26 ks:  [ks]

zvolte si průměr  $D_s$  v rozsahu od 96 do 712 mm:  [mm]

**Výsledek:**

jmenovité otáčky "n":  [ot./min.]

průběžné otáčky "n-max":  [ot./min.]

výkon turbíny "P":  [W]

vnější průměr oběžného kola "Dd":  [mm]

**Detaily:**

výtok rychl. z dýzy "c1":  [m/sec.]

obvodová rychlost "u":  [m/sec.]

průměr paprsku "d":  [mm]

**dýza:**

průměr dýzy "D":  [mm]

úhel dýzy "beta":  [stup.°]

průměr jehly "d1":  [mm]

průměr tyče "d2":  [mm]

délka jehly "L":  [mm]

úhel jehly "alfa":  [stup.°]

zdvih jehly:  [mm]

průměr potrubí "DN" cca:  [mm]

**lopatka:**

šířka lopatky "b":  [mm]

délka lopatky "l":  [mm]

hloubka lopatky "t":  [mm]

šířka výřezu "a":  [mm]

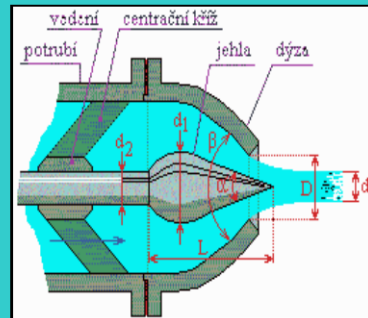
konec břitu od paprsku "m":  [mm]

konec břitu od okraje "e":  [mm]

záklon lopatky od kolmice:  [°]

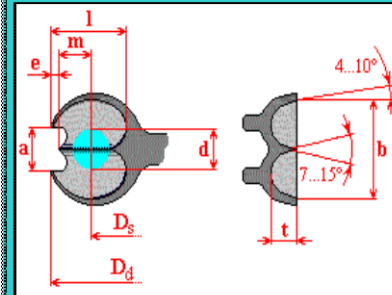
úhel mezi lopatkami:  [°]

**Poměrové součinitele:**



**dýza:**

	rozsah
D:	cca 1,2
d1:	1,42...1,62
d2:	0,58...0,7
DN:	2,5...3
L:	3,25...3,66
zdvih:	cca 1,16
alfa:	42°...50°
beta:	60°...90°



**lopatka:**

a:	1,1	1,1...1,25
b:	2,8	2,5...3
e:	0,35	0,3...0,4
l:	2,2	2...2,5
m:	0,9	0,8...1
t:	0,9	0,8...1

průměr paprsku "d":	16,0	[mm]
konec břitu od okraje "e":	5,6	[mm]
počet lopatek "lop.":	18	[ks]
úhel na lopatku:	20	[stup.°]
konec břitu od paprsku "m":	14	[mm]
"zanořeni" lopatky:	22,3	[mm]
radians alfa/2:	0,1745329	
tangens alfa/2:	0,176327	
předstih další lopatky:	126,7	[mm]
radians alfa:	0,3490659	
tangens alfa:	0,3639702	
nezanořená část poloměru:	348	[mm]
max. roztečný průměr "Ds":	712	[mm]
min. roztečný průměr "Ds":	96	[mm]
max. roztečný průměr kola "Ds"/průměr paprsku "d":	44,6	poměr
min. roztečný průměr kola "Ds"/průměr paprsku "d":	5,98	poměr