

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

POSOUZENÍ MOŽNOSTÍ ZÁSOBOVÁNÍ RD ELEKTRICKOU ENERGÍÍ Z OZE

DOMESTIC ELECTRICITY PRODUCTION FROM RENEWABLE SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MILAN HALAMÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

BRNO 2008

Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje využití obnovitelných zdrojů, které je možno použít pro výrobu elektrické energie. Představuje zde tři způsoby, mezi které patří větrná elektrárna, fotovoltaický systém a vodní elektrárna. Jsou navrženy dva způsoby pro zásobování rodinného domu elektrickou energií včetně ekonomického zhodnocení.

Annotation

The present bachelor thesis describes utilization of renewable resources, which can be used for production of electric energy. It presents three ways, one of them is wind power plant, the second is photovoltaic system and the last one is water power plant. There are suggested two ways of electric energy supply to family houses including economic evaluation.

Klíčová slova:

Obnovitelné zdroje, větrná energie, větrná elektrárna, vodní energie, vodní elektrárna, sluneční energie, fotovoltaický systém, fotovoltaický článek, elektrická energie, rodinný dům.

Key words:

Renewable resources, wind energy, wind-power plant, water energy, water-power plant, solar energy, photovoltaic systems, photovoltaic cell, electric energy, one-family house.

Bibliografická citace mé práce:

HALAMÍČEK, M. *Posouzení možností zásobování RD elektrickou energií z OZE*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 32 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci na téma: posouzení možností zásobování rodinného domu elektrickou energií z obnovitelných zdrojů energie, vypracoval samostatně na základě uvedených zdrojů dat a pod vedením svého vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 23. května 2008

Milan Halamíček

Obsah

Úvod	6
1. Obnovitelné zdroje	7
2. Sluneční energie	8
3. Fotovoltaický systém.....	9
3.1. Konstrukce.....	9
3.2. Rozdělení fotovoltaických článků	11
4. Větrná elektrárna	12
4.1. Rozdělení podle výkonu.....	13
4.2. Rozdělení podle aerodynamického principu	14
4.3. Výkon.....	14
4.4. Konstrukce a provoz	15
5. Vodní elektrárna.....	17
5.1. Rozdělení podle výkonu	17
5.2. Druhy vodních elektráren	17
5.3. Vybrané typy vodních turbín	18
5.4. Výkon.....	19
6. Způsoby připojení zařízení pro výrobu elektrické energie	20
7. Uchování elektrické energie	20
8. Návrh fotovoltaického systému	21
8.1. Volba fotovoltaického panelu	21
8.2. Výroba elektrické energie	24
8.3. Ekonomické zhodnocení	25
9. Návrh systému s větrnou elektrárnou	28
9.1. Volba větrné elektrárny.....	28
9.2. Výroba elektrické energie	29
9.3. Ekonomické zhodnocení	30
Závěr	31
Seznam použitých zdrojů dat.....	32

Úvod

V dnešní době, kdy není možné přesně určit zásoby a ceny surovin do budoucna pro výrobu elektrické energie, se jeví využití obnovitelných zdrojů jako velmi dobrá myšlenka. Dále pak snížení závislosti na fosilních palivech, a tím i snížení vypouštěných škodlivin do ovzduší. V České republice nelze uvažovat o výrobě veškeré elektrické energie z obnovitelných zdrojů, ale ve většině případů jen pro pokrytí spotřeby rodinného domu, malých objektů nebo pouze jako doplňující zdroj. Do určité míry se dá hovořit o velmi ekologickém způsobu získávání energií, protože využívání pouze obnovitelných zdrojů často poškozují krajinu.

Česká Republika se zavázala do roku 2010 pokrýt 8% spotřeby energie z obnovitelných zdrojů. Při dnešním čtyřprocentním využití se kritérium s největší pravděpodobností nesplní i přesto i přes snahu motivovat občany a firmy různými dotacemi, daňovými úlevami a zvýhodněnými cenami při prodeji energií zpět do sítí. Další problém nastává při výběru a schvalování vhodných míst pro stavbu zařízení. Velká část z nich se vyskytuje v chráněných oblastech, kde není stavba povolena.

V posledních několika letech začali občané alternativní zdroje využívat častěji, a to díky dostupnějším, efektivnějším a levnějším způsobům výroby.

V mé bakalářské práci se seznámíme s možností výroby elektrické energie ze tří zdrojů, mezi které patří fotovoltaický systém, vodní a větrná elektrárna. V první části si popíšeme jejich součásti a princip činnosti.

V druhé části budeme navrhovat fotovoltaický systém a systém s větrnou elektrárnou pro výrobu elektrické energie, které by měly sloužit k zásobování elektrickou energií jednoho konkrétního rodinného domu. V projektu zanedbáme veškeré vlivy na životní prostředí, protože v případě, že nebude způsob výroby energie ekonomicky výhodný, nebude jej nikdo stavět ani provozovat. Hlavním kritériem proto bude návratnost investic a zisk za celou životnost systému.

1. Obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje efektivně využívají přírodní energii slunce, větru, vody, geotermální energii nebo energii biomasy. Český zákon o životním prostředí definuje jako obnovitelné zdroje ty, které mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.

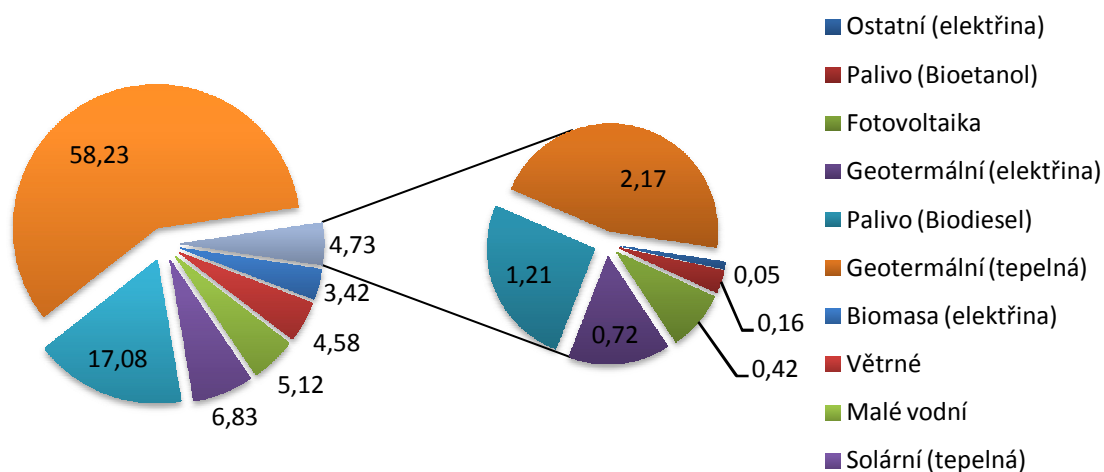
Důležitou událostí pro využívání obnovitelných zdrojů byl vstup ČR do Evropské Unie 1. Dubna 2004 a z toho vyplývající plnění závazků vycházejících z principů koordinované energetické politiky. Důležitým dokumentem se stala směrnice 77/2001ES, která byla implementována do legislativy České republiky jako Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Česká republika se zavázala do roku 2010 pokrýt svoji spotřebu elektrické energie 8 % z obnovitelných zdrojů.

Obnovitelné zdroje můžeme rozdělit do dvou skupin podle způsobu přeměny energie na přímé a nepřímé. U první skupiny dochází k přeměně energie přímo bez potřeby dalších zařízení. U druhé skupiny jde o přeměnu nejprve na mechanickou energii, a ta se posléze přemění na elektrickou (energie větrná na mechanickou, a ta poté na energii elektrickou).

Mezi velké výhody obnovitelných zdrojů patří jejich ekologický provoz. Jestliže se provozují správně dle předepsaných parametrů, nedochází ke znečišťování ovzduší oxidem síry, oxidem dusíku a těžkými kovy. Dále pak nedevastují krajinu jako při těžbě uhlí a nejsou závislé na dovozu surovin ze zahraničí.

Samozřejmě, že každý způsob výroby elektrické energie má i své záporné stránky. U obnovitelných zdrojů se jedná hlavně o nestálost dodávky energie v průběhu dne či měsíců. Důležitým aspektem je i pořizovací cena, která je vyšší na jednotku výkonu než u klasických zdrojů elektrické energie.

Mezi zařízení využívající obnovitelné zdroje můžeme označit ty, které využívají energii slunečního záření, tekoucích vod, proudění vzduchu, geotermální energii, energii biomasy, mořských vln a přílivů. Podíl jednotlivých způsobů využití obnovitelných zdrojů v roce 2005 je vyobrazen v grafu 1.1. Z něj je zřejmé, že největší podíl 58 % zabírají velké vodní elektrárny. Nejmenší podíl má bioetanol jako palivo.



Graf 1.1 Procentuelní podíl jednotlivých druhů obnovitelných zdrojů.[8]

2. Sluneční energie

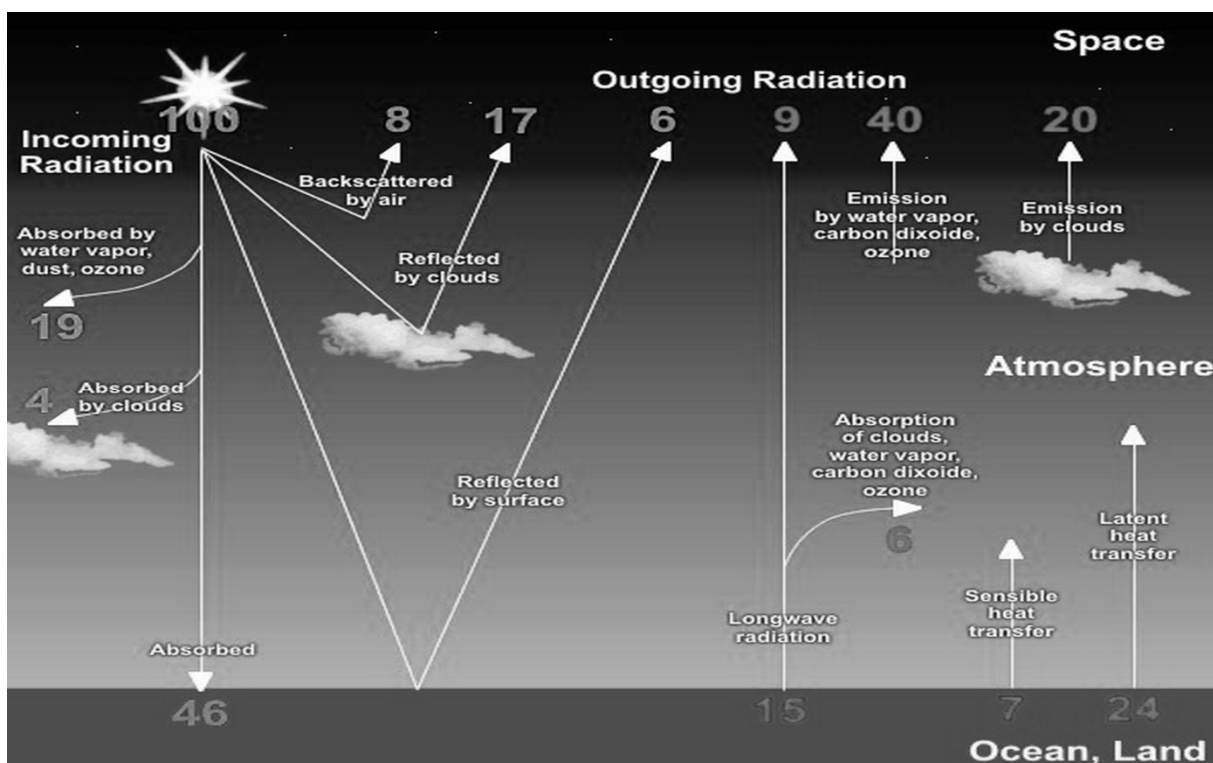
Zdrojem energie slunce je termionukleární přeměna vodíku na hélium při působení tlaku $2 \cdot 10^{10}$ MPa a teplotě $13 \cdot 10^6$ K. Teplota na povrchu Slunce se pohybuje okolo 6000 K a vyzařuje do kosmického prostoru paprsky vlnový délek 0,2 μm až 3 μm . Téměř veškerá energie na Zemi je získávána ze Slunce.

Měrný tok energie na Slunci je $6 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ a na hranici zemské atmosféry je intenzita slunečního záření I_0 přibližně $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (tzv. sluneční konstanta). Země je zásobena přibližně 3850 ZJ ročně. Z této energie pohltí 2850 ZJ oceány, 1,8 ZJ biomasa, 6 ZJ vítr. V roce 2004 byla celková světová spotřeba energie 0,471 ZJ.

Na obrázku 2.2 je znázorněn průchod slunečního záření atmosférou. Ze vstupujícího záření je 8 % rozptýleno zpět vzduchem, 17 % odraženo a 4% pohlceny mraky, 19 % pohlceno vodní párou, prachem a ozonem, 6 % odraženo od povrchu země a 46 % absorbováno zemí a oceány. Při větším znečištění atmosféry dochází k změnám v poměru pohlcení a odrazu záření. Tento jev popisuje součinitel znečištění atmosféry Z a je dán Linkeho vztahem 2.a:

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_e} \quad (2.a)$$

kde I_0 je sluneční konstanta, I_n je intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší ve W/m^2 , I_e je intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší ve W/m^2 .



Obr. 2.2 Grafické znázornění průchodu záření atmosférou.[8]

3. Fotovoltaický systém

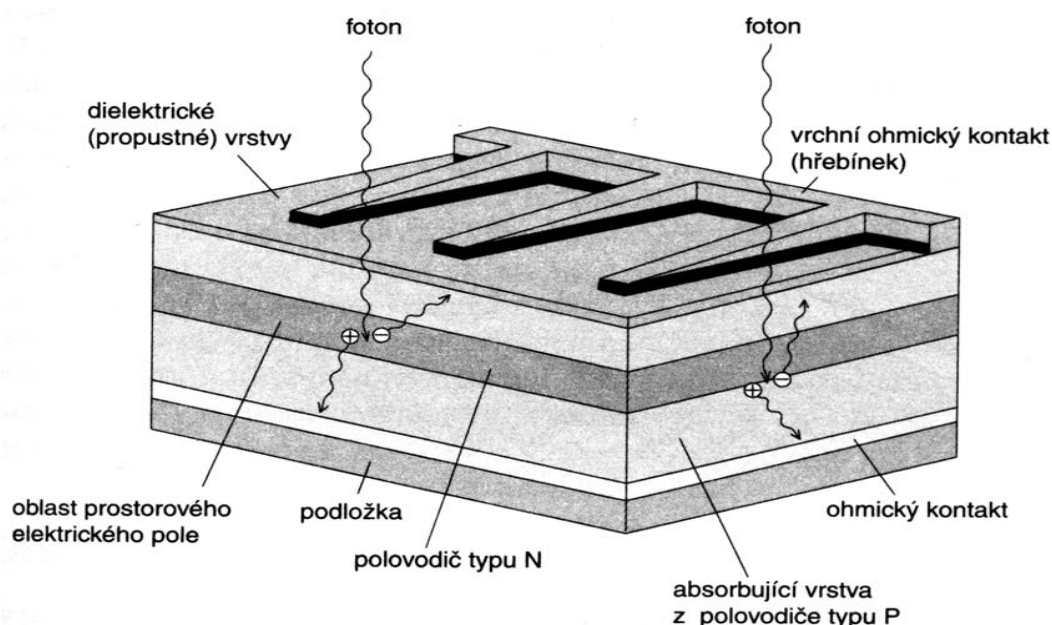
Základním dějem ve fotovoltaických člancích je fotoelektrický jev, který byl objeven již v roce 1839. Jedná se o fyzikální jev, při kterém jsou elektrony uvolňovány z látky v důsledku působení elektromagnetického záření.

Fotovoltaický článek je v podstatě polovodičová dioda, jež za využití fotovoltaického jevu mění energii slunečního záření na energii elektrickou. Články se vyrábějí z křemíku amorfního, polykrystalického, monokrystalického, arsenidu galia, teluridu kademnatého nebo sulfidu kademnatého. Jeho základem je tenká křemíková destička s vodivostí typu P, na kterou se během výroby nanese tenká vrstva polovodiče typu N. Při osvětlení článku vznikne v polovodiči vnitřní fotoelektrický jev a posléze se začnou z krystalové mřížky uvolňovat záporné elektrony. Na P-N přechodu se vytváří elektrické napětí, jež u křemíku dosahuje přibližně 0,5V.

V případě, že k obvodu připojíme spotřebič, začne obvodem procházet elektrický proud z důvodu vyrovnávání kladného a záporného náboje. V praxi se pro dosažení určitého napětí a proudu tyto články spojují, protože jejich výkon je přímo úměrný ploše a vytvářejí fotovoltaický modul. Moduly se dále spojují a vzniká rozměrné fotovoltaické pole.

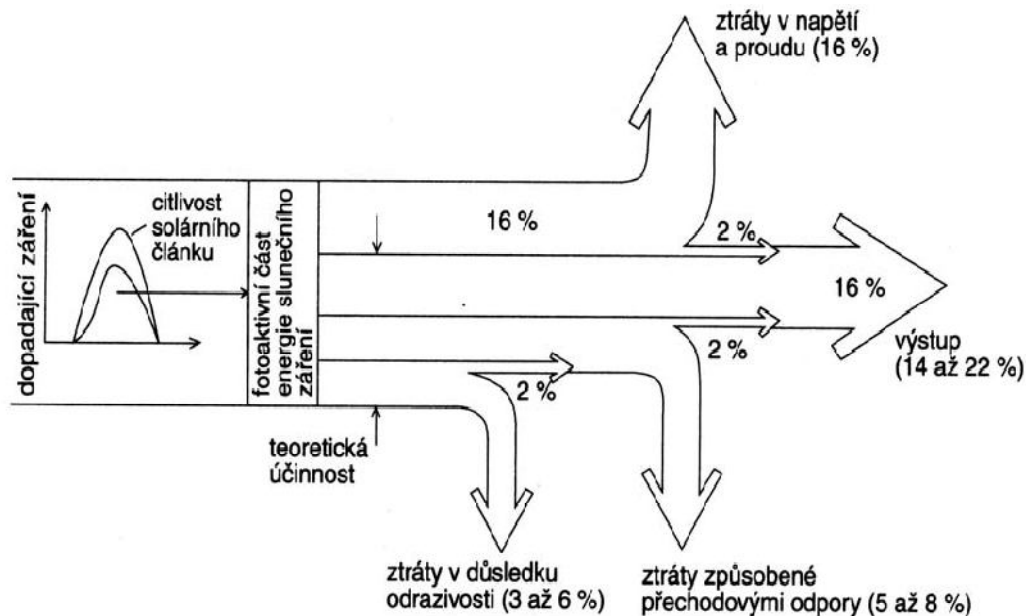
3.1. Konstrukce

Při návrhu fotovoltaického článku se snažíme minimalizovat optické a elektrické ztráty a zároveň minimalizovat spotřebu materiálu nutnou pro jeho výrobu. Optické ztráty jsou způsobeny odrazem a neúplnou absorpcí záření. K jejich minimalizaci jsou využívány antireflexní vrstvy, které mohou tyto ztráty snížit až o 60%. Antireflexní vrstvy jsou vytvořeny z látek anorganických (SiO_2 , Al_2O_3 , SiO) nebo organických na bázi polyamidů.



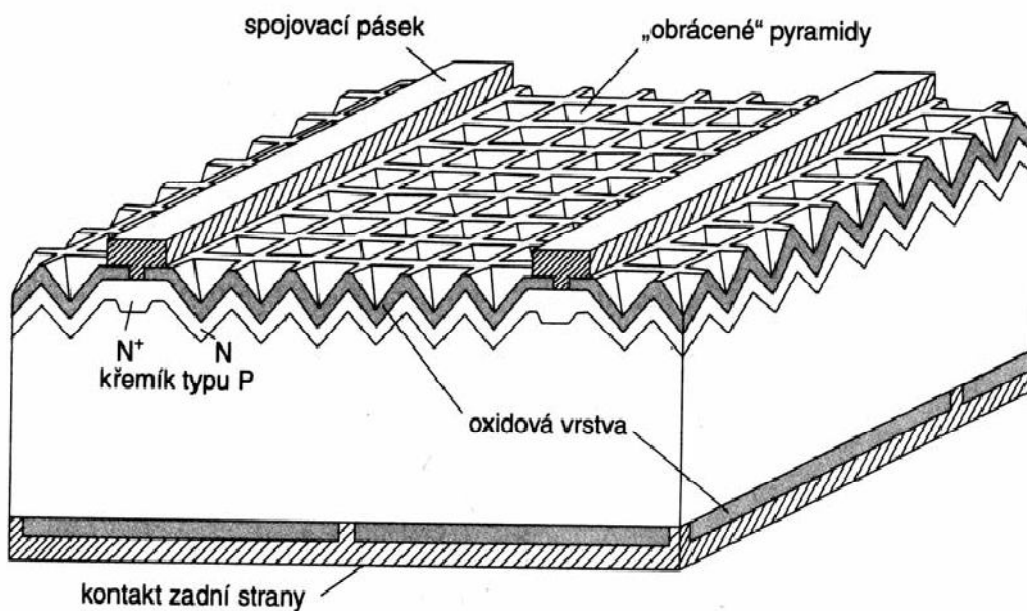
Obr. 3.1 Schéma standardního solárního článku na bázi monokrystalického křemíku.[1]

Obrázek 3.1 znázorňuje řez standardního solárního článku na bázi monokrystalického křemíku, kde jsou patrné veškeré části, ze kterých se skládá. Obrázek 3.2 zobrazuje podíl jednotlivých jevů na ztrátách účinnosti solárního článku.



Obr. 3.2 Známostění ztrát po dopadu záření na fotovoltaický článek.[1]

Další možností, jak eliminovat optické ztráty je vytvoření tzv. texturovaného povrchu. Použitím selektivního leptadla je možné na povrchu vytvořit malé pyramidy (obr. 3.3). Světlo po dopadu na takový povrch je zčásti odraženo směrem dolů a je větší možnost že pronikne do článku. Vrchní osvětlená část zároveň odvádí proud vyvolaný fotoelektrickým napětím. Kvůli snížení odporových ztrát svrchní vrstvy, je nutné tuto vrstvu opatřit kovovou mřížkou. Ta je navržena tak, aby ztráty zapříčiněné stíněním mřížky byly co nejmenší.



Obr. 3.3 Známostění článku s texturovaným povrchem.[1]

3.2. Rozdělení fotovoltaických článků

Monokrystalický křemík

První prvek, který se začal používat pro výrobu fotovoltaických panelů byl monokrystalický křemík. První články vznikající okolo roku 1955 a měly účinnost pouze 6 %, což bylo nedostačující. Intenzivním vývojem se v roce 1981 účinnost pohybovala na úrovni 17 % až 18 % při ploše článku v jednotkách cm^2 . V roce 1992 se v Čínské akademii věd v Pekingu podařilo vyrobit článek s účinností 32,5 % a to díky vysoké eliminaci optických ztrát a technologiím použitých při výrobě. Velkou nevýhodou monokrystalického křemíku je jeho energeticky nákladná výroba.

Polykrystalický křemík

Z důvodu vysoké ceny monokrystalického křemíku byla snaha o vytvoření materiálu, který bude mnohem levnější a tím se sníží celkové náklady na fotovoltaický systém. V roce 1981 se poprvé objevily články z polykrystalického křemíku, které měly účinnost okolo 13 %. Hlavním principem při výrobě je řízené chlazení taveniny křemíku. Tento způsob je mnohem ekonomičtější a může využívat i méně čisté vstupní suroviny. Menší účinnost je způsobena ztrátami na hranicích zrn a proto se snaha vyrábět křemík s co krystaly co největších rozměrů.

Amorfní křemík

Velmi dobrou látkou pro výrobu fotovoltaických článků je díky svým vynikajícím optoelektronickým vlastnostem křemík amorfní. Jeho výroba je velmi levná a umožňuje vyrábět velice tenké vrstvy. Účinnost se pohybuje okolo 8 %, a proto se hlavně využívají pro zařízení s malou spotřebou energie. (hodinky, kalkulačky).

Arsenid Galia GaAs

Tento materiál se velice často využívá ve vesmíru, protože má větší účinnost přeměny energie a bez problémů pracuje za zvýšených teplot (okolo 100 °C). Samozřejmě, že každý materiál má i své nevýhody. Mezi ně patří hustota, vyšší výrobní náklady a je mnohem křehčí než články z křemíku. V dnešní době se vyvíjí články s účinností okolo 25 % za použití koncentrátoru záření. Díky čemuž klesá spotřeba materiálu na jednotku výkonu.

Telurid kademnatý CdTe

Nadějným materiál pro přeměnu energie do budoucna je telurid kademnatý, protože má velmi ekonomickou výrobu. Uplatní se hlavně pro spotřebiče s malou spotřebou, protože v zemské kůře ho není dostatečné. V dnešní době se účinnosti pohybují okolo 10 %.

Sulfid Kademnatý CdS

Tento materiál byl vyvinut hlavně pro kosmické účely. Vyznačuje se velice nízkou hmotností a poměrně jednoduchou technologií výroby. Účinnost se pohybuje okolo 10 %, ale kvůli nízké stabilitě není tento materiál perspektivní pro komerční využití.

4. Větrná elektrárna

Vítr vzniká při nerovnoměrném ohřevu zemského povrchu od slunce (suché části se ohřívají rychleji). Od zahřátého povrchu se dále ohřívá okolní vzduch a má tendence stoupat vzhůru, protože je lehčí než vzduch studený. Tím se vytvářejí tlakové rozdíly, které jsou dále ovlivněny zemskou rotací a střídáním dne a noci. Kromě směru větru, jenž je ovlivňován tvarem povrchu země, vznikají v blízkosti nad zemí víry, které způsobují velkou nestálost intenzity, rychlosti a síly větrů.

Pro využití energie větru se používají větrné turbíny, ke které je připojen elektrický generátor. Jedná se o přeměnu kinetické energie větru na mechanickou energii a následně na energii elektrickou. Pro energetiku se dnes využívá výhradně vrtulový motor. Výpočet vychází z vrtulových teorií, které se používají při výpočtu leteckých vrtulí s rozdílem, že výkon do vrtule nepřivádíme, ale odvádíme. Využitelná hranice rychlosti větru je 5 m.s^{-1} do 25 m.s^{-1} a optimální je okolo 12 m.s^{-1} . U velmi malých elektráren s výkonem do 1,5 kW jsou konstruovány na optimální rychlost okolo 7 m.s^{-1} .

Pro lepší názornost ohledně rychlosti větru je v tabulce 4.1 uvedena jeho rychlost, označení a jak jej lze pozorovat v okolí. Tabulka vychází z Beaufortovy stupnice síly větru.

rychlost větru m/s	označení	popis
0,0 - 0,4	klid	kouř stoupá kolmo vzhůru
0,5 - 1,5	lehký větřík	směr větru vychyluje kouř
2,0 - 3,0	lehký vítr	je cítit ve tváři, listí stromů šelestí
3,5 - 5,0	mírný vítr	vítr napíná praporky, čeří hladinu vody
5,5 - 8,0	střední vítr	zvedá prach, pohyb slabších větví
8,1 - 10,9	čerstvý vítr	keře se hýbou
11,4 - 13,9	silný vítr	Pohyb tlustých větví, dráty sviští, převrací deštník
14,1 - 16,9	téměř bouře	pohybuje celými stromy, nesnadná chůze
17,4 - 20,4	bouře	Ulamuje větve, znemožňuje chůzi
20,5 - 23,9	silná bouře	menší škody na stavbách, strhává střešní krytinu
24,4 - 28,0	vichřice	vyvrací stromy, škody na obydlích
28,4 - 32,5	prudká vichřice	rozsáhlé škody
32,6 - 35,9	hurikán	odnáší střechy, demoluje těžké předměty

Tab. 4.1 Přehled rychlosti větru, jeho označení a účinky na okolní prostředí.[8]

4.1. Rozdělení podle výkonu

Větrné elektrárny můžeme rozdělit podle výkonu a velikosti vrtule do základních tří skupin. Pro lepší přehlednost se základní kategorie dělí na další úrovně, které jsou znázorněny v tabulce 4.1.1.

kategorie	vrtule		do výkonu kW
	průměr v m	plocha v m ²	
malé	≤ 8	≤ 50	10
	8,1 - 11	50,1 - 100	25
	11,1 - 16	100,1 - 200	60
střední	16,1 - 22	200,1 - 400	130
	22,1 - 32	400,1 - 800	310
	32,1 - 45	800,1 - 1600	750
velké	45,1 - 64	1600,1 - 3200	1500
	64,1 - 90	3200,1 - 6400	3100
	90,1 - 128	6400,1 - 12800	6400

Tab. 4.1.1 Rozdělení vodních elektráren podle výkonu.[8]

Malé větrné elektrárny

Do této skupiny zařazujeme turbíny s výkonem do 60 kW a průměrem vrtule do 16 m. Největší zastoupení katalogových nabídek mají elektrárny s výkonem do 10 kW. Skupinu lze dále rozdělit na mikrozdroje, které mají výkon do 2,5 kW s průměrem vrtule do 3 m a jsou výhradně určené na dobíjení akumulátorů. Ty následně poskytují energii pro televizní přijímače, lednice, osvětlení. Jsou také využívány na jachtách pro napájení pro radiostanic, navigačních systémů a pro udržování kapacity startovacích baterií. Tato zařízení pracují se stejnosměrným napětím 12 V nebo 24 V.

Druhou skupinou jsou elektrárny s výkonem od 2,5 kW do 10 kW s průměrem vrtule od 3 m do 8 m. Výstupní napětí je od 48 V do 220 V. Využívají se pro ohřev vody, vytápění domů nebo pro pohon motorů.

Střední a velké větrné elektrárny

Mezi středně velké elektrárny řadíme zařízení s výkonem od 60 kW do 750 kW a průměrem vrtule od 16 m do 45 m. Velké větrné elektrárny mají výkon od 750 kW do 6400 kW a průměr vrtule od 45 m do 128 m. Elektrárny s výkonem větším než 3000 kW bývají umísťovány v moři.

4.2. Rozdělení podle aerodynamického principu

Vztlakové s vodorovnou osou rotace

Vítr obtéká vrtuli s podobným profilem jako letecká vrtule. S podobným principem pracovaly i historické větrné mlýny. Platí zde nepřímá úměra mezi frekvencí otáčení a počtem listů rotoru. V dnešní době se výhradně používají rotory se třemi listy.

Odporové

Zde můžeme zařadit elektrárny se svislou osou rotace pracující na odporovém principu (typ Savonius, anemometr) nebo vztlakovém principu (typ Darreius). Tyto zařízení mohou dosahovat vyšších otáček rotoru a tím vyšší účinnosti. Dochází zde k velkému dynamickému zatížení a tím se snižuje jejich životnost. Velkou nevýhodou je malá výška rotoru, kde je i nižší rychlost větru. V praxi se tyto zařízení téměř nepoužívají.

4.3. Výkon

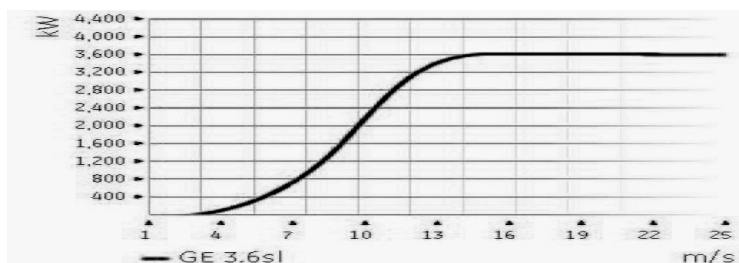
Působením aerodynamických sil na listy rotoru se převádí energie větru na rotační energii rotoru. Prostřednictvím generátoru je přeměněna na energii elektrickou. Se vzrůstající rychlostí větru rostou vztlakové síly s druhou mocninou a výkon s mocninou třetí. Proto je potřeba zajistit velmi rychlou regulaci výkonu rotoru, aby bylo zabráněno mechanickému nebo elektrickému přetížení. Regulace je plně automatická. Výkon je přímo závislý na rychlosti proudícího vzduchu. Maximální dosažitelný výkon z kinetické energie větru je dán vztahem 4.3.a.

$$P_{\text{teor}} = k_b \cdot v \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 0,59 \cdot \rho \cdot S \cdot \frac{v^3}{2} \quad (4.3.a)$$

kde k_b je koeficient plynoucí z Betzova pravidla, v je rychlost v m/s, ρ je hustota vzduchu v kg/m³.

Albert Betz v roce 1919 zjistil, že lze získat z proudícího vzduchu maximálně 59 % energie.

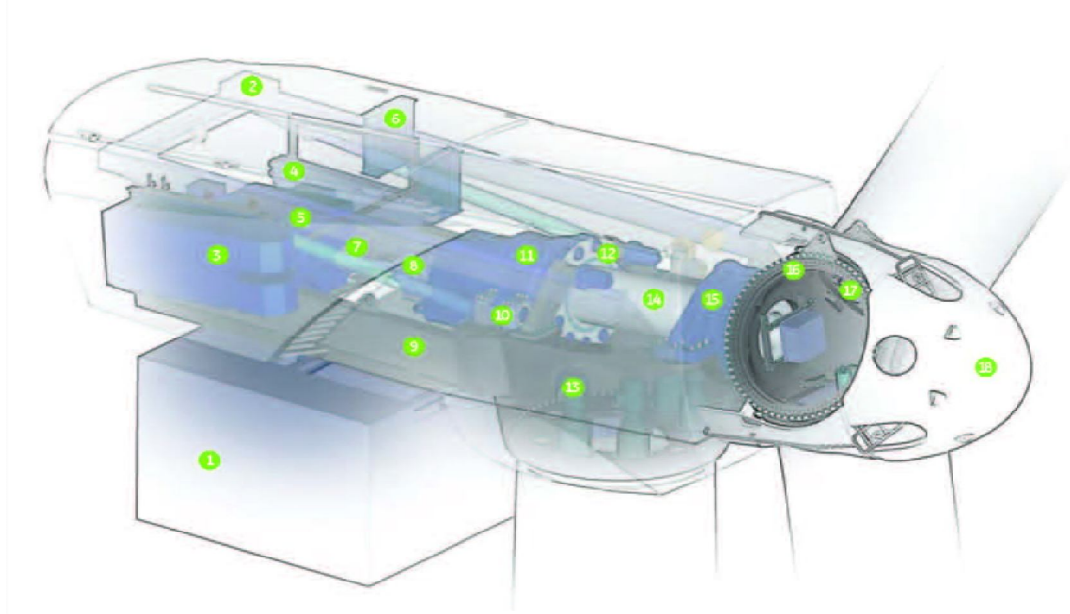
Závislost výkonu na rychlosti větru je zobrazena v grafu 4.3.2, který popisuje růst výkonu s rostoucí rychlostí větru pro větrnou elektrárnu General Electric 3.6 SL s výkonem 3,6 MW a maximální provozní rychlostí 27 m.s⁻¹.



Graf 4.3.2 Znáznornění průběhu výkonu na rychlosti větru.[6]

4.4. Konstrukce a provoz

Jako příklad konstrukce a popisu jednotlivých částí byla vybrána větrná elektrárna společnosti General Electric 3.6 SL s výkonem 3,6 MW. Jedná se o nejnovější typ s aktivním řízením pitch. Minimální rychlost větru pro spuštění rotoru je $3,5 \text{ m.s}^{-1}$, optimální je 14 m.s^{-1} a horní hranice je 27 m.s^{-1} . Rotor má průměr 104 m a opisuje plochu 8495 m^2 . Tento typ se používá v moři poblíž pobřeží. Jednotlivé součásti rotoru jsou vyobrazeny a popsány na obrázku 4.4.1.



Obr. 4.4.1 Gondola větrné elektrárny GE 3.6SL.[6] 1. Offshore kontejner, 2. Malý portálový jeřáb, 3. Chlazení generátoru, 4. Řídicí panel, 5. Generátor, 6. Chladič oleje, 7. Spojka, 8. Hydraulická brzda, 9. Základní rám, 10. Izolace proti hluku, 11. Převodovka, 12. Zámek rotoru, 13. Ukotvení gondoly, 14. Rotorová tyč, 15. Ložiskové pouzdro, 16. Rotorová hlava, 17. Regulace pitch, 18. Špice rotoru

Gondola

V gondole se nachází celé ústrojí větrných elektráren. Nachází se zde řídicí jednotka, která vyhodnocuje aktuální povětrnostní podmínky a podle nich poté nastavuje listy rotoru a natočení gondoly na optimální parametry. Na gondole je přichycený rotor s listy, které jsou pomocí rotorové tyče propojeny s převodovkou, spojkou a generátorem.

Stožár

Nejrozšířenější stožáry větrných elektráren jsou ocelové tubusy, které mají mírně kónický tvar. Musí být opatřeny antireflexním nátěrem. S rostoucím výkonem turbín se zvětšují i stožáry až do výše 120 m. Druhým typem jsou věže v podobě příhradové konstrukce. Tyto bývají často kritizovány za svůj neestetický vzhled, a že narušují ráz krajiny více než ocelové tubusy. Výhodou je nižší spotřeba oceli a tím i menší hmotnost, nepatrná reflexe dopadajícího světla, možnost dobrého začlenění do krajiny, kde se již nacházejí stavby podobného charakteru (stožáry elektrického vedení). Například u věže s výškou 100 m je hmotnostní rozdíl přibližně 130 tun ve prospěch příhradové konstrukce.

Regulace

Aby bylo možné získat největší množství energie nebo zabránit poškození elektrárny je velice důležitou součástí regulace. V současné době převládají dva typy regulačních způsobů, které jsou automaticky nastavovány podle aktuálních povětrnostních podmínek.

Pasivní regulace Stall

Rotor elektrárny má pevné listy a pro regulaci se využívá odtržení proudnice vzduchu od listu rotoru, přičemž dojde ke snížení výkonu. Tento způsob má výhodu, že při vyšších rychlostech větru vyrobí větší množství energie a zároveň je levnější.

Aktivní regulace Pitch

Systém využívá natáčení celého listu rotoru podle aktuální rychlosti větru, aby bylo dosaženo optimálního náběhu větrného proudu. Optimalizace se nejvíce projeví při nízkých rychlostech větru, kdy je oproti pasivnímu systému více vyrobené energie. Jedinou nevýhodou systému je vyšší cena.

Větrné elektrárny bez převodovky

V poslední době se začaly rozšiřovat větrné elektrárny, které ke svému provozu nepotřebují převodovku. Řešení je založeno na využití nízkorychlostních multipólových generátorů, které mají velké rozměry. Není zapotřebí velká rozvodová skříň, odpadají spojovací prvky, snížil se počet rotujících částí a je snazší údržba celého zařízení. Pro regulaci otáček a natáčení gondoly není zapotřebí hydraulických olejů.

5. Vodní elektrárna

Vodní elektrárny pokrývají v ČR přibližně 60% vodních toků vhodných pro výstavbu vodních elektráren a pokrývají 4 % veškeré vyrobené elektrické energie. Převážná část vhodných volných lokalit je soustředěna na menších tocích, které již nejsou ekonomicky výhodné pro výstavbu elektráren nad 10 MW a pouze se na nich zdokonalují stávající technologie. Velkým problémem pro výstavbu dalších vodních elektráren se v poslední době stává část ekologů a přírodovědců. Jejich kritika je motivována obavami z ohrožení cenných přírodních komplexů v dotčených oblastech, hlavně tzv. říčních fenoménů s množstvím rostlinných a živočišných druhů. Dobře vystavěné a provozované dílo nemůže vést k ohrožení a devastaci krajiny. Je nutné výstavbu řešit s odborníky, aby nedošlo k negativnímu ovlivnění krajiny.

Podle způsobu přenosu energie můžeme rozlišovat turbíny rovnotlaké (akční turbíny) a přetlakové (reakční turbíny). Podle polohy hřídele oběžného kola se rozlišují turbíny na horizontální, vertikální, šikmé a tvaru S (provedení savky do tvaru S).

5.1. Rozdělení podle výkonu

Výkon turbíny závisí na spádu, průtoku a samozřejmě na její účinnosti. V tabulce 5.1.1 je uvedeno rozdělení podle výkonu vodních elektráren do sedmi základních skupin.

výkon	popis
$\leq 2 \text{ kW}$	mobilní zdroje
2 kW - 35 kW	mikrozdroje
35 kW - 100 kW	malé vodní elektrárny drobné
100 kW - 1 MW	malé vodní elektrárny průmyslové
1 MW - 10 MW	horní výkonová hranice pro malé vodní elektrárny
10 MW - 100 MW	střední elektrárny
100 MW $\leq$	velké elektrárny

Tab. 5.1.1 Rozdělení vodních elektráren podle výkonu.[8]

5.2. Druhy vodních elektráren

Průtočné - umísťují se do přímého kontaktu s vodním tokem. Podle možností bývají břehové nebo pilířové, které jsou vždy v kontaktu s tělesem jezu.

Derivační - bývají umístěné v uměle vytvořených kanálech, kterými se po určitém úseku derivace voda vrací do původního toku. Derivace mohou být tvořeny otevřeným kanálem, v uzavřeném potrubí jako tlakové nebo s volnou hladinou.

Akumulační (přehradové) - využívají vodní nádrže pro pokrytí špičkového provozu

Přečerpávací - bývají reverzní nebo přístrojové (čerpadlo, turbína, generátor)

Vyrovňovací - využívají se k vyrovnaní odtoku z akumulací elektráren

5.3. Vybrané typy vodních turbín

Násosková turbína

Jedná se o velmi jednoduchou přetlakovou vrtulovou turbínu s průměrem oběžného kola okolo 550 mm. Má litinovou komoru a plechovou sací rouru. Oběžné a rozváděcí lopatky nelze regulovat, jsou pevné. Turbína pracuje s asynchronním motorem v generátorovém chodu. Pro spuštění je nezbytný vlastní elektromotor. Turbína pracuje chvíli jako čerpadlo a po zaplnění násosky přechází do turbínového chodu. Tento typ je vhodný pro spád od 2 m do 6 m a průtok od $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Velice důležitým kritériem je konstantní průtok a hladina. Účinnost se pohybuje okolo 80 %.

Bánkiho turbína

Jedná se o velmi jednoduchou rovnotlakou turbínu. Vyznačuje se vysokou odolností, jednoduchostí výroby a provozní nenáročností. Průtok se reguluje obtékanou klapkou v rozmezí 0 % až 100 %. Tento typ se hodí pro spády od 5 m do 60 m a průtoky od $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $0,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Kašnová turbína

V převážné většině je umístěný v kašně s volnou hladinou. Velikost oběžných kol se pohybuje od 400 mm do 560 mm. Hodí se pro spády od 1,5 m do 6 m a průtoky od $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při vyšším spádu je možné propojit turbínu přímo s generátorem, jinak se s asynchronním generátorem spojují řemenovým převodem. Umístění turbíny může být vertikální i horizontální. Jedná se o přetlakovou turbínu.

Přímoproudá turbína

Patří mezi velmi oblíbený typ díky nízkým investičním nákladům a výhodnou cenovou rentabilitou. Využívá si při nízkých spádech od 1,5 m do 8 m a většími průtoky od $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Turbína má několik stavebních variant (šikmé uspořádání, S-turbína, šachtová).

Spirálová turbína

Hlavním zástupcem je Francisova spirální turbína v horizontálním provedení, která se hodí pro střední a vyšší průtoky. Má regulovatelné rozváděcí lopatky a tlakovou spirálu. Provozní uzávěr bývá umístěný před turbínou. S asynchronním motorem je propojena pomocí řemenového převodu nebo převodovky. Turbína je regulovaná automaticky elektrohydraulickým regulátorem otáček pomocí tlakového oleje. Velikosti oběžných kol bývají od 300 mm do 1000 mm.

Vírová turbína

Vírová turbína je vhodná pro velmi nízké spády od 1 m do 3 m a vysoké průtoky. Potenciálních míst vhodných pro stavbu vodní elektrárny s touto turbínou je asi 35 %. Odpadá zde nutnost nákladného rozvaděče, převodovky (turbína s vysokými otáčkami), husté lopatkové mříže a nevzniká kavitace.

5.4. Výkon

Energii vody je možné získat z jejího proudění (kinetická energie) nebo tlaku (potenciální energie). Výhodné je oba způsoby kombinovat. Kinetická energie je dána rychlostí proudění, která je závislá na spádu toku. Potenciální energie vzniká v důsledku gravitace a je závisena výškovém rozdílu hladin.

Výkon získaný z potenciální energie kapaliny je dán vztahem 5.4.a:

$$P_{Ep\ teor} = \rho \cdot \phi \cdot h \cdot g \quad (5.4.a)$$

Výkon získaný z kinetické energie kapaliny je dán vztahem 5.4.b:

$$P_{Ek\ teor} = \frac{1}{2} \rho \cdot \phi \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v^3 \quad (5.4.b)$$

kde ρ je hustota kapaliny v kg/m^3 , ϕ je objemový průtok v m^3/s , h je výška v m , g je tíhové zrychlení m/s^2 , v je rychlost v m/s .

Do celkového výkonu elektrárny musí být ještě zahrnuta účinnost jednotlivých zařízení.

6. Způsoby připojení zařízení pro výrobu elektrické energie

Autonomní systém (Grid-off)

Jedná se o systém, jež ke své plné funkci potřebuje akumulátory, ve kterých se vyrobená elektrická energie uchovává pro případy, když slunce nesvítí. Nedílnou součástí je regulátor, jehož zajišťuje optimální podmínky pro nabíjení a vybíjení akumulátorů. Systém se využívá k napájení v místech, kde není dostupná veřejná elektrorozvodná síť například pro čerpání vody, zabezpečovací systémy nebo k napájení měřících přístrojů.

Hybridní systém

Jedná se o systém, který obsahuje vyjma fotovoltaických článků několik pomocných generátorů (dieselagregáty, větrné elektrárny). Pro bezchybný provoz vyžaduje složitější regulátory a řídicí členy. Jejich úkolem je optimalizace využití všech zapojených zdrojů energie.

Systém přímo spojený přímo se sítí (Grid-on)

Tento systém již neobsahuje akumulátory ani další podpůrné zdroje. Obsahuje jen měnič napětí, který musí pracovat v celém rozsahu napětí poskytovaném fotovoltaickým polem.

7. Uchování elektrické energie

Pro akumulaci a uchování elektrické energie se v dnešní době výhradně používají akumulátory chemické, z nichž nejrozšířenější jsou alkalické a olověné. Experimentálně jsou používány i jiné způsoby, mezi které například patří přečerpávání vody.

Akumulátorové baterie alkalické nikl-kadmiové NiCd

Akumulátor se skládá z deskových elektrod a kapaliny ve formě hydroxidu sodného nebo draselného. Jsou vyráběny s kapacitou od 6 Ah do 250 Ah. Mají velkou životnost, spolehlivost provozu, velký rozsah pracovních teplot při nízkých ztrátách, dlouhá doba samovybíjení a minimální požadavky na údržbu. Mezi nevýhody patří vyšší cena a občasná potřeba výměny elektrolytu. V dnešní době se využívají pro uchování energie vysloužilé akumulátory z vagónů, tramvají a trolejbusů, jejichž kapacita klesla na 60 %.

Akumulátorové baterie olověné

V dnešní době patří mezi nejrozšířenější. Vyznačují vysokou cyklickou životností, spolehlivostí a větší energetickou účinností. Samovybíjení je na úrovni od 0,1 % za den. Některé firmy vyrábějí akumulátory jako bezúdržbové nahrazením klasického elektrolytu elektrolytem gelovým. Životnost se pohybuje do tří let a jsou cenově dostupnější oproti akumulátorům NiCd.

8. Návrh fotovoltaického systému

Dům, pro který je systém navrhován se nachází v obci Vážany nad Lítavou se souřadnicemi 49°7'43.751"N, 16°51'25.459"E. Dům má vlastní plynové topení, a proto fotovoltaický systém nebude navrhován pro vytápění. Jedná se jen o částečné nahrazení odběru elektrické energie ze sítě. Systém nebude obsahovat akumulátory, protože pro Grid on připojení není tento způsob ekonomicky výhodný. Majitel poskytl roční vyúčtování spotřeby elektrické energie, které nám velice usnadní návrh. Roční spotřeba elektřiny je 3 036 kWh. V tabulce 8.1 jsou uvedeny veškeré spotřebiče nacházející se v domě s maximálním příkonem a množstvím. V ostatních spotřebičích je zahrnut například fén, elektrický zubní kartáček, nabíječky pro mobilní telefon, apod. K výpočtům a k tvorbě tabulek bylo využito softwaru PVGIS [7].

Druh spotřebiče	Max. Příkon	Množství	Druh spotřebiče	Max. Příkon	Množství
	W	ks		W	ks
DVD přehrávač	12	1	Počítač	200	1
Žárovka	15	7	Pračka	200	1
DVB přijímač	15	1	Monitor	240	1
Žárovka	18	4	Vodní čerpadlo	450	1
Žárovka	25	2	Kuchyňský robot	500	1
Video přehrávač	25	1	Elektrické topení	600	1
Zářivka	36	1	Pekárna chleba	800	1
Žárovka	40	19	Elektrické topení	1 250	1
Zářivka	40	9	Mikrovlnná trouba	1 300	1
Tiskárna	45	1	Ostatní spotřebiče	1 500	1
Notebook	60	3	Elektrické topení	2 000	1
Zářivka	65	2	Rychlovarná konvice	2 200	1
Mrazák	90	1	Sušička	2 500	1
Reproduktory	120	1	Myčka	3 000	1
Žárovka	150	2	Trouba	3 500	1
Lednice	200	1			

Tab. 8.1 Zobrazuje spotřebiče nacházející se v domácnosti s maximálním příkonem a počtem

8.1. Volba fotovoltaického panelu

Návrh fotovoltaického systému vychází z informací od uživatele ohledně spotřeby a četnosti využití jednotlivých spotřebičů. Ale v tomto případě tato činnost odpadá, a proto bychom měli dosáhnout přesnějšího návrhu a odhadu efektivního využití. Schéma zapojení fotovoltaického systému je vyobrazen na obrázku 8.1.3.

Denní spotřeba elektrické energie je 8,3 kWh a měsíční je 253 kWh. Jedná se o průměrnou hodnotu danou roční spotřebou. Reálná hodnota se bude lišit v průběhu dní, týdnů či ročních období. S fotovoltaickým systémem není možné pokrýt celou spotřebu, protože fotovoltaický systém není schopen vyrábět elektrickou energii za tmy. Nižší výkon je v zimních měsících nebo za oblačné oblohy.

Důležitým parametrem je úhel sklonu fotovoltaických panelů. V tabulce 8.1.1 jsou vyobrazeny hodnoty energie slunečního záření pro různý sklon panelů a hodnota Linkeho zákalu pro dané měsíce. Z tohoto plyne, že pro zadané místo je optimální sklon panelů 34°.

Měsíc	Energie záření při naklonění panelů Wh/m ² /den						Optimální sklon °	Linkeho zákal
	0 °	15 °	25 °	40 °	90 °	Při optimálním sklonu 34 °		
Leden	793	1007	1126	1259	1222	1217	63	3,6
Únor	1451	1771	1941	2118	1906	2059	57	3,9
Březen	2520	2877	3046	3178	2490	3142	45	4,1
Duben	3876	4191	4299	4289	2819	4293	32	4,0
Květen	4982	5162	5162	4964	2773	5102	20	4,4
Červen	5208	5289	5223	4938	2576	5035	13	4,8
Červenec	5410	5557	5523	5267	2815	5354	17	4,6
Srpen	4498	4791	4870	4794	2955	4820	28	4,8
Září	3084	3474	3647	3759	2783	3721	41	4,4
Říjen	2003	2448	2683	2920	2564	2840	55	4,1
Listopad	893	1100	1213	1334	1245	1293	59	3,7
Prosinec	566	706	783	868	836	839	62	3,2
Průměr	2949	3206	3301	3314	2250	3309	34	4,1

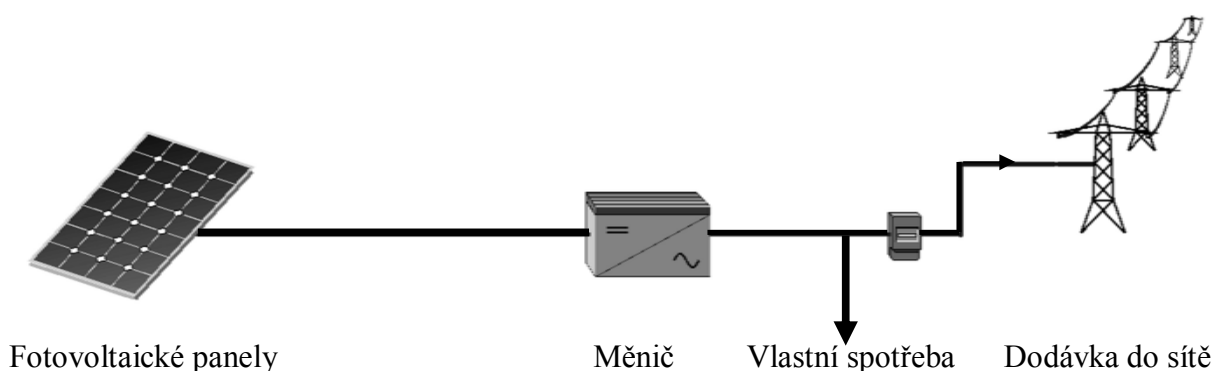
Tab. 8.1.1 Zobrazuje různou velikost energie záření podle sklonu fotovoltaického panelu, optimální sklon a Linkeho zákal.[7]

Měsíc	Energie záření Q_{den} Wh/m ² /den	Elektrická energie E_{elden} Wh/m ² /den	Plocha panelu S_p m ²
	Sklon 34 °		
Leden	1 217	194,7	42,6
Únor	2 059	329,4	25,2
Březen	3 142	502,7	16,5
Duben	4 293	686,9	12,1
Květen	5 102	816,3	10,2
Červen	5 035	805,6	10,3
Červenec	5 354	856,6	9,7
Srpen	4 820	771,2	10,8
Září	3 721	595,4	13,9
Říjen	2 840	454,4	18,3
Listopad	1 293	206,9	40,1
Prosinec	839	134,2	61,8

Tab. 8.1.2 Zobrazuje energii záření, elektrickou energii získanou z tohoto záření a potřebnou plochu fotovoltaických panelů.[7]

Fotovoltaické panely byly vybrány od společnosti Solartec a typ je SG-210-6Z s výkonem 210 Wp a plochou 1,75 m². Schéma zapojení je na obrázku 8.1.3 a základní parametry panelu v tabulce 8.1.4. Z nichž je patrné, že panel nepatří mezi nejmodernější. Je to způsobeno garancí poklesu výkonu. Nejmodernější panely, které v ČR nejsou prozatím dostupné, mají garanci poklesu výkonu na 95 % za 25 let. Systém dále bude obsahovat měnič Fronius IG 40.

V tabulce 8.1.2 jsou uvedeny hodnoty ohledně vyrobené elektrické energie z 1 m² panelu s účinností 16 % a potřebná plocha panelů pro jednotlivé měsíce. V tabulce nejsou zahrnuty vlivy počasí a ztráty panelu, měniče apod. Plochu panelů jsem zvolil 42 m², což odpovídá 24 kusům. Počet byl zvolen proto, aby pokryl co nejvíce spotřebované energie v zimních měsících. Řešení sice nepokryje veškerou spotřebu v zimních měsících (prosinec, leden), ale nedostatek je během ostatních měsíců vynahrazen.



Obr. 8.1.3 Znázorňuje zapojení fotovoltaického systému se spotřebou domácnosti.[9]

Mechanické vlastnosti	Délka	1 682 mm
	Šířka	1 041 mm
	Tloušťka	35 mm
	Hmotnost	21 kg
	Počet solárních článků	60 ks
	Účinnost	16%
Charakteristika	Solární články	Multikrystalické 156×156 mm
	Laminát	Sklo / EVA / tedlar
	Přední strana	Strukturované, temperované sklo
	Zadní strana	Tedlar
	Rám	Eloxovaný hliník
	Propojovací box	2×85cm 4mm Huber&Suhner s konektory
Elektrické parametry	Výkon	210 Wp ± 5%
	Maximální napětí	28,70 V
	Maximální proud	7,32 A
Garance výkonu	12 let	Maximální pokles výkonu na 90 %
	25 let	Maximální pokles výkonu na 80 %

Tab. 8.1.4 Základní parametry fotovoltaického panelu SG-210-6Z.[5]

Výpočet elektrické energie dopadající na 1 m² fotovoltaického panelu za jeden den:

$$E_{\text{elden}} = Q_{\text{den}} \cdot \eta \quad (8.1.a)$$

kde E_{elden} je vyrobená elektřina, Q_{den} je energie záření ve W a η je účinnost fotovoltaické přeměny. E_{elden} a Q_{den} jsou vztaženy na 1 m² fotovoltaického panelu.

Výpočet plochy fotovoltaického panelu provedeme dle vztahu:

$$S_p = \frac{Q_{sp}}{E_{\text{elden}}} \quad (8.1.b)$$

kde Q_{sp} je denní spotřeba elektrické energie, E_{elden} je vyrobená elektřina za jeden den vztažená na 1 m² fotovoltaického panelu.

8.2. Výroba elektrické energie

Výpočet bude zahrnovat vlivy počasí a ztráty jednotlivých zařízení. Nominální výkon systému je 4,3 kW, sklon panelů je 34°, ztráty odrazem záření jsou 3%, ztráty měniče a kabelů jsou 7 %. Z tabulky 8.2.1 vyplývá, že domácnost nebude plně soběstačná v zimních měsících (leden, listopad, prosinec), kdy je intenzita slunečního záření velice nízká. To však bude vyváжено nadmírou výroby elektrické energie v ostatních měsících, a to především v květnu, červnu a červenci.

Měsíc	Výroba elektrické energie / kWh	
	za měsíc	za den
Leden	157	5,1
Únor	238	8,5
Březen	393	12,7
Duben	508	16,9
Květen	601	19,4
Červen	577	19,2
Červenec	631	20,4
Srpen	567	18,3
Září	435	14,5
Říjen	351	11,3
Listopad	158	5,3
Prosinec	108	3,5
Roční průměr	394	12,9
Za 1 rok	4 725 kWh	

Tab. 8.2.1 Množství vyrobené energie za jednotlivá období.

8.3. Ekonomické zhodnocení

Zde se budeme zabývat ekonomickou stránkou návrhu. Jedná se hlavně o dobu návratnosti a zisk za celou dobu životnosti. Budeme uvažovat dvě varianty. První bude zahrnovat částečné pokrytí vlastní spotřeby a ostatní energie bude dodávána do sítě za zvýhodněnou a státem garantovanou cenu. Ve druhé variantě bude veškerá energie dodávána do sítě. Na tyto systémy je možná dotace od státu a to maximálně 200 000 Kč. Dotace je dostupná pouze teoreticky a prakticky za posledních pár let nebyla udělena žádnému žadateli. Proto se nebude nijak zahrnovat do konečných výpočtů prosté návratnosti.

Varianta první

Možnost vychází z tabulek 8.3.2 a 8.3.3. Známe množství energie Q1, které systém vyrobí za jeden den v měsíci, čas po který je systém zásobit spotřebu domu Q3 můžeme vypočítat energii, kterou spotřebuje samotný provoz domu Q4 za jeden den. Hodnota Q5 je energie, která je dodána ze sítě pro pokrytí celé spotřeby rodinného domu vyjma energie Q4. Zde se dopouštíme malé nepřesnosti, protože jsme spotřebu domu Q1 dali jako neměnnou hodnotu v průběhu celého dne. Ostatní vyrobená energie Q6 bude dodána do sítě za zvýhodněnou cenu C2, kterou získáme rozdílem vyrobené energie Q1 a energie spotřebované domem Q4. Poté stačí energii dodané do a ze sítě vynásobit počtem dní v měsíci D a nákupní C1 či výkupní C2 cenou za 1 kW a zjistíme celkové množství energie Q7, Q8 a její cenu C3, C4 za daný měsíc. Součtem těchto hodnot dostaneme výsledek za celý rok. Popis jednotlivých veličin použitých při výpočtu jsou v tabulce 8.3.1. Podle následujících dvou vztahů lze vypočítat hodnoty ohledně konečné ceny za energii za dílčí měsíce:

$$C3 = D \cdot C2 \cdot (Q1 - Q3 \cdot T1) \quad (8.3.a)$$

$$C4 = D \cdot C1 \cdot (Q2 - Q3 \cdot T1) \quad (8.3.b)$$

Označení	Jednotka	Popis
Q1	kW	Energie vyrobená za jeden den v daném měsíci.
Q2	kW	Energie potřebná pro pokrytí spotřeby domu za jeden den.
Q3	kW	Energie potřebná pro pokrytí spotřeby domu za jednu hodinu.
Q4	kW	Energie, která pokryje spotřebu domu z vyrobené energie za 1 den.
Q5	kW	Energie dodaná ze sítě pro pokrytí spotřeby domu za jeden den.
Q6	kW	Energie, které je dodáno do sítě za jeden den.
Q7	kW	Energie, která je dodána do sítě za jeden měsíc.
Q8	kW	Energie, která je dodána ze sítě za jeden měsíc
C1	Kč/kW	Cena energie při dodávce ze sítě.
C2	Kč/kW	Cena energie při dodávce do sítě.
C3	Kč	Cena, kterou získáme při prodeji energie do sítě za jeden měsíc.
C4	Kč	Cena, kterou zaplatíme za energii dodanou ze sítě za jeden měsíc
D	den	Počet dní v měsíci.
T1	hod	Počet hodin, kdy je systém schopen zásobovat rodinný dům.

Tab. 8.3.1 Označení jednotlivých veličin potřebných pro výpočet.

Měsíc	T1 hod	Q1 kW/den	Q2 kW/den	Q3 kW/hod	Q4 kW/den	Q5 kW/den	C1 Kč/kW	Q6 kW/den	C2 Kč/kW
leden	4,3	5,1	8,3	0,346	1,494	6,8	4,125	3,6	16,017
únor	7,4	8,5	8,3	0,346	2,573	5,7	4,125	5,9	16,017
březen	9,1	12,7	8,3	0,346	3,154	5,1	4,125	9,5	16,017
duben	9,4	16,9	8,3	0,346	3,237	5,1	4,125	13,7	16,017
květen	11,5	19,4	8,3	0,346	3,984	4,3	4,125	15,4	16,017
červen	12,7	19,2	8,3	0,346	4,399	3,9	4,125	14,8	16,017
červenec	13,4	20,4	8,3	0,346	4,648	3,7	4,125	15,8	16,017
srpen	12,7	18,3	8,3	0,346	4,399	3,9	4,125	13,9	16,017
září	12,0	14,5	8,3	0,346	4,15	4,2	4,125	10,4	16,017
říjen	8,9	11,3	8,3	0,346	3,071	5,2	4,125	8,2	16,017
listopad	5,5	5,3	8,3	0,346	1,909	6,4	4,125	3,4	16,017
prosinec	2,9	3,5	8,3	0,346	0,996	7,3	4,125	2,5	16,017

Tab. 8.3.2 Zobrazení množství vyrobené a spotřebované energie, výkupní a nákupní ceny energie.

Měsíc	D	Q7	C3	Q8	C4
	den	kW/měsíc	Kč/měsíc	kW/měsíc	Kč/měsíc
leden	31	111,79	1 790,48	127,88	870,32
únor	29	171,88	2 753,05	119,63	685,09
březen	31	295,93	4 739,85	127,88	658,04
duben	30	409,89	6 565,21	123,75	626,55
květen	31	477,90	7 654,46	127,88	551,91
červen	30	444,03	7 112,03	123,75	482,75
červenec	31	488,31	7 821,29	127,88	467,00
srpen	31	430,93	6 902,22	127,88	498,84
září	30	310,50	4 973,28	123,75	513,56
říjen	31	255,10	4 085,92	127,88	668,66
listopad	30	101,73	1 629,41	123,75	790,89
prosinec	31	77,624	1 243,30	127,88	934,00

Tab. 8.3.3 Množství energie dodané ze sítě a do sítě za jednotlivé měsíce i s cenami.

Pořizovací náklady na systém jsou 680 190 Kč (panel 24x25 505Kč, měnič 63 070 Kč, ostatní příslušenství 5 000 Kč). Návratnost se vypočítá podílem pořizovacích nákladů a zisků za jeden rok provozu. Tato doba činí necelých 14 let. Při životnosti celého systému 25 let je tato investice rentabilní. V následující tabulce 8.3.4 jsou ceny dodané ze sítě a do sítě za několik let. Je dále uvedena částka, která zbývá či přebývá po odečtení nákladů. CC1 je částka získaná za prodej energie, CC2 je částka zaplacená za dodávku energie. Čtvrtý sloupec nám uvádí zisk bez odečtení nákladů a poslední sloupec uvádí zisk po odečtení pořizovacích nákladu na celý systém.

Počet let rok	CC1 Kč	CC2 Kč	CC2-CC1 Kč	CC2-(CC1+náklady) Kč
1	57 271	7 748	49 523	-630 667
14	801 787	108 467	693 320	13 130
25	1 431 763	193 690	1 238 072	557 882

Tab. 8.3.4 Průběh investice za jednotlivá období.

Varianta druhá

Zde se budeme zabývat pouze návratností systému bez ohledu na spotřebu rodinného domu. Veškerá vyrobená energie bude dodána do sítě a posléze zjistíme návratnost celého systému. Pořizovací náklady budou stejné jako u první varianty. Celková vyrobená energie za jeden rok činí 4 725 kWh při výkupní ceně 16,017 Kč/kW. Následující tabulka 8.3.5 vyobrazuje částky získané za prodej energie CC1 a zisk po odečtení nákladů. Doba návratnosti je 9 let.

počet let rok	CC1 Kč	CC1-náklady Kč
1	75 680	-604 510
5	378 400	-301 790
9	681 120	930
14	1 059 520	379 330
20	1 513 600	833 410
25	1 892 000	1 211 810

Tab. 8.3.5 Průběh investice za jednotlivá období.

V druhé možnosti není zahrnuta cena za spotřebovanou energii rodinného domů. Proto toto srovnání obou variant není příliš vhodné. Bylo by možné od čistého zisku odečíst náklady na energii a poté by bylo možno obě varianty relevantně porovnat. Toto řešení lze investorovi doporučit s poměrně vysokým ziskem a krátkou dobou návratnosti.

9. Návrh systému s větrnou elektrárnou

Systém budeme navrhovat pro stejný dům a stejné parametry jako v předchozím případě. Při návrhu umístění velké větrné elektrárny se provádí minimálně roční měření rychlosti větru, aby se dalo dobře propočítat výkon a návratnost takového systému. V našem případě budeme vycházet z meteorologických dat, které jsou k dispozici na webu NASA. V tabulce 9.1 jsou zobrazeny průměrné rychlosti větru pro jednotlivé měsíce pro souřadnice domu. Pro výběr vhodné větrné elektrárny a výpočet výkonu budeme vycházet z celoročního průměru rychlosti, která má hodnotu $3,5 \text{ m.s}^{-1}$.

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Průměrná rychlost větru m/s	3,3	3,5	4,0	4,2	3,8	3,4	3,4	3,1	3,4	3,4	3,4	3,3
Průměrná rychlost větru za celý rok m/s	3,5											

Tab. 9.1 Průměrná rychlost větru pro jednotlivé měsíce v roce.[4]

9.1. Volba větrné elektrárny

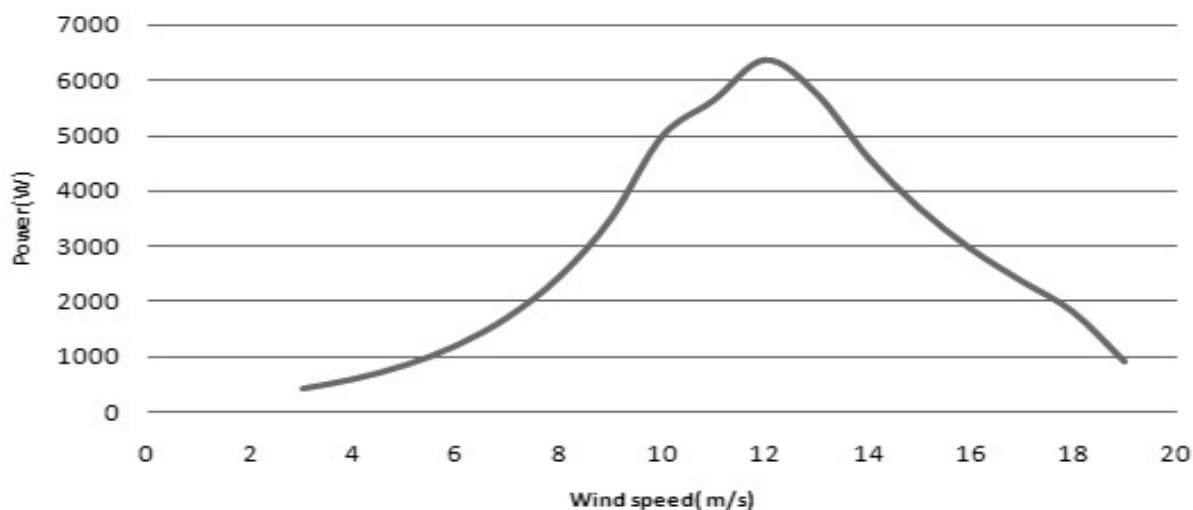
Při výběru bereme ohled pouze na roční pokrytí spotřeby elektrické energie. Bez předchozího měření dojde při návrhu k nepřesnostem. Byla vybrána větrná elektrárna HS5K od společnosti CBP China (obr. 9.1.1) a měnič WB6000U od stejné společnosti. Základní parametry větrné elektrárny jsou v tabulce 9.1.2. Elektrárna je vyobrazena na obrázku. Jedná se o střední domácí elektrárnu s nominálním výkonem 5 kW při rychlosti větru 10 m/s. V podmínkách, pro které použijeme elektrárnu je rychlost větru 3,5 m/s a výkon 500 W. Z toho vyplývá, že pro dosažení požadovaného výkonu při nízké rychlosti větru je nutné použít mnohem výkonnější rotory. Závislost výkonu na rychlosti větru je v grafu 9.1.3.



Obr. 9.1.1 Větrná elektrárna HS5K[2]

Průměr rotoru	6,4 m
Minimální rychlost větru	3 m/s
Nominální rychlost větru	10 m/s
Maximální rychlost větru	15 m/s
Nominální výkon	5 kW
Maximální výkon	6 kW
Regulace	Stall
Pracovní teplota	od -40° do +60°
Výška	12 m

Tab. 9.1.2 Základní parametry větrné elektrárny HS5K.[2]



Graf 9.1.3 Závislosti výkonu na rychlosti větru.[2]

9.2. Výroba elektrické energie

Při výpočtu budeme vycházet z průměrné rychlosti větru a z výkonu větrné elektrárny. Výpočet je velice jednoduchý. Okamžitý výkon elektrárny je 500 W. V tabulce 9.2.1 je vyobrazena vyrobená elektřina za 1 den, 1 měsíc a za 1 rok. Je zřejmé, že množství vyrobené energie převyšuje spotřebu domácnosti, protože tento typ větrné elektrárny měl oproti ostatním modelům dobrý výkon při nízké rychlosti větru.

	Množství vyrobené energie kW	Okamžitý výkon kW	Počet hodin h
1 den	12	0,5	24
1 měsíc	366	0,5	732
1rok	4 380	0,5	8 760

Tab. 9.2.1 Množství vyrobené energie za období.

9.3. Ekonomické zhodnocení

Zde se budeme zabývat výhodností zvoleného systému. Celkové náklady na větrnou elektrárnu včetně měniče a veškerého příslušenství je 211 000 Kč. Budeme uvažovat dvě varianty zhodnocení. V první možnosti budeme uvažovat vlastní spotřebu elektrické energie a zbylá bude dodána do sítě. V druhé variantě se veškerá vyrobená energie dodá do sítě. Cena za 1 kW elektrické energie dodané do sítě je 5,15 Kč. Životnost celého systému je výrobce garantována na 30 let. Množství vyrobené energie, spotřebované energie jsou v tabulce 9.3.1.

Počet let Rok	Vyrozená energie kW	Spotřebovaná energie kW	Energie dodaná do sítě kW
1	4 380	3 036	1 344
5	21 900	15 180	6 720
10	43 800	30 360	13 440
15	65 700	45 540	20 160
20	87 600	60 720	26 880
25	109 500	75 900	33 600
30	131 400	91 080	40 320

Tab. 9.3.1 Zobrazení množství energie vyrobené, spotřebované, dodané do sítě.

Počet let Rok	Veškerá energie dodána do sítě		Nespotřebovaná energie dodána do sítě	
	Zisk Kč	Zisk po odečtení nákladů Kč	Zisk Kč	Zisk po odečtení nákladů Kč
1	22 557	-188 443	6 922	-204 078
5	112 785	-98 215	34 608	-176 392
10	225 570	14 570	69 216	-141 784
15	338 355	127 355	103 824	-107 176
20	451 140	240 140	138 432	-72 568
25	563 925	352 925	173 040	-37 960
30	676 710	465 710	207 648	-3 352
31	699 267	488 267	214 570	3 570

Tab. 9.3.2 Průběh investice pro obě uvažované varianty.

V tabulce 9.3.2 jsou vyobrazeny obě varianty využití systému. První variantě je návratnost systému přibližně 30,5 let, což je více než životnost systému. Velice dlouhá doba návratnosti je způsobena nízkou cenou vykupované energie, která je pouze o korunu vyšší než cena nákupní. V tomto případě je rozhodnutí pouze na investorovi, jestli bude systém financovat či nikoliv. Druhá varianta má návratnost 9,5 let, která je srovnatelná s fotovoltaickým systémem. Celkový zisk během celé životnosti systému je ovšem mnohem nižší.

Závěr

Při ekonomickém zhodnocení jsme uvažovali některé parametry za konstantní nebo se neuvažovaly vůbec. Například nákupní a výkupní cena elektřiny. Minimální výkupní cena elektřiny je garantována státem na dobu 15 let. Během této doby může dojít pouze ke zvýšení oproti aktuálnímu stavu. Zároveň se dá předpokládat, že prodejní cena elektřiny poroste řádově o 5 % ročně. Dále hraje roli inflace, která se pohybuje okolo 6 %. Při větších stavbách je nutné provést důkladnější ekonomickou analýzu, zda se investorovi nevyplatí finanční prostředky investovat jiným způsobem. Také je možné požadovat dotaci od státu s proměnou výši podle způsobu výroby elektrické energie. S finanční podporou bohužel nelze počítat, protože není dopředu jisté, zda bude přidělena. O dotaci se žádá až po dokončení stavby.

Dále zde hraje roli ekologické hledisko, které se v ekonomickém hodnocení neobjeví vůbec. Všechny tři představené způsoby výroby elektrické energie neprodukují za provozu žádné emise a další škodliviny. Toto je vykoupeno určitou vizuální devastací krajiny, na kterou je nutné brát ohled při projektování. Je snaha, aby vlivy byly co nejmenší, ale ne vždy se to dokonale podaří.

Výroba elektrické energie při použití fotovoltaických panelů vychází ekonomicky velice výhodně v obou variantách. Při první, kde energie byla primárně dodávána pro rodinný dům, byla návratnost systému necelých 14 let. Při životnosti 25 let bude mít čistý zisk okolo 560 000 Kč. V druhé možnosti byla počítána pouze návratnost systému bez ohledu na spotřebu elektrické energie. Návratnost v tomto případě je pouhých 9 let a za celou dobu své životnosti bude čistý zisk více než dvojnásobný a to 1,22 milionů korun.

Ekonomické zhodnocení výroby elektrické energie pomocí větrné elektrárny není tak výhodná jako v předchozím případě. U první varianty, která zohlednila spotřebu rodinného domu, je návratnost 30,5 let. To je o půl roku více, než je garantovaná životnost. Proto do této varianty nemá smysl investovat. V druhé možnosti je návratnost něco málo přes 9 let. Dá se říci, že srovnatelná s fotovoltaickým systémem. Zisk za dobu životnosti 30 let je 490 000 Kč.

Pro výrobu elektrické energie je mnohem efektivnější fotovoltaický systém v případě, že rodinný dům bude primárně využívat elektrickou energii z tohoto systému. V případě, že by veškerá elektrická energie byla dodávána do sítě, jsou oba systémy srovnatelné. Větrná elektrárna vykazuje zisk asi třikrát nižší, ale také má třikrát nižší pořizovací náklady. Kdyby byly pořízeny za cenu fotovoltaického systému tři větrné elektrárny, jsou finanční prostředky vložené do této investice zhodnoceny stejně.

Seznam použitých zdrojů dat:

- [1] Miroslav Cenk, Obnovitelné zdroje energie, FCC PUBLIC, 2001

Webové odkazy:

- [2] www.chinabestproducts.com
[3] www.cez.cz
[4] www.eere.energy.gov
[5] www.ekosolaris.cz
[6] www.ge.cz
[7] www.europa.eu
[8] www.wikipedia.org
[9] www.renewableenergy.com