

Malé vodné elektrárne

Maľuga Michal · Elektrotechnika, Humanitné vedy, Študentské práce

16.11.2009



Táto práca otvára problematiku využitia vodného potenciálu na Slovensku ako obnoviteľného zdroja elektrickej energie. Rozoberá postup výstavby malej elektrárne, a s tým súvisiace problémy ako potrebné povolenia, parametre turbín, výber lokality, a ekonomickú stránku projektu.

1. Úvod

V dnešnej dobe, kedy ľudstvo prudko zvyšuje spotrebu elektrickej energie, a tiež zamoruje atmosféru sa čoraz častejšie otvára otázka obnoviteľných zdrojov energií. Jedným z nich sú aj vodné elektrárne. Veľkosť tokov na Slovensku hrá jednoznačne v prospech malých vodných elektrární.

V súčasnosti je z riek vhodných na stavbu malých vodných elektrární (ďalej MVE) využitých len 11%. Ako MVE sa označujú elektrárne s inštalovaným výkonom do 10 MW. Na Slovensku je postavených približne 160 MVE a tvoria 17% z celkového hydroenergetického potenciálu.

Ukazujú sa ako ekologicky nezávadný a stabilný zdroj elektrickej energie. Navyše energiu vody je možné využívať z účinnosťou premeny okolo 90% čo je najvyššia účinnosť zo všetkých typov elektrární. EÚ podporujú MVE pomocou dotácií, a SR pomocou zákonov.

Výstavba vlastnej MVE je časovo a finančne veľmi náročná, ale po počiatocnej investícii sú potrebné minimálne udržiavacie náklady. Vodné elektrárne sa vyznačujú dlhou dobou používania, ktorá často dosahuje aj 70 rokov.

2. Vhodné toky

Kvôli dosiahnutiu čo najvyššej účinnosti premeny vodnej potenciálnej energie na elektrickú je nevyhnutný dôkladný výber toku a lokality na výstavbu. Vodné toky na Slovensku sa delia na 3 typy, kde má každý rozdielnu charakteristiku. Výber typu toku je nesmierne dôležitý hlavne ak sa na premenu využíva drvivá väčšina, pretekajúcej vody. Analýzu vodného toku musíme zahrnúť do projektu elektrárne.

2.1 Vysokohorský typ

Najvyššie prietoky dosahuje v Máji až Júli, kedy sa na horách topí sneh, najnižšie v Januári alebo Februári.

2.2 Stredohorský typ

Najvyššie prietoky dosahuje v Apríli, kedy sa topí väčšina snehu na povodí, najnižšie v zime.

2.3 Vrchovinno-nížinný typ

Najvyššie prietoky v Marci, najnižšie v Septembri. Tento typ toku nedosahuje v zime najnižšie hodnoty, pretože sa na svahoch sneh neudrží vo významnom množstve, a takmer hneď ako sneh napadne sa roztopí. Výstavba MVE je najvhodnejšia na tomto type toku, pretože sa jeho prietok cez ročné obdobia mení v najnižšej miere.

3. Výber lokality

Na schválenie výstavby elektrárne je potrebné vypracovať projekt, kde sa musí analyzovať viacero faktov. Väčšinu vecí je lepšie nechať na odborníkov, niektoré je možné vypracovať aj samostatne. Projektovanie je veľmi náročné na presné výpočty, každá nepresnosť sa môže odraziť v účinnosti, alebo výkone zariadenia.

3.1 Potrebná energia

Výber vhodnej lokality je veľmi náročný. Z ekonomického hľadiska je potrebné vybrať lokalitu tak, aby sme nemuseli vybudovať zbytočne dlhý prívodový kanál. Požadovaný výkon elektrárne závisí na prevýšení elektrárne, teda od výšky z akej voda padá, a od prietoku vody, teda množstva vody, ktoré pretečie cez turbínu. Vo všeobecnosti platí zjednodušený vzorec:

$$P = \frac{h \cdot Q}{200} * \varphi \quad (1)$$

kde P ($[P] = W$) je výkon elektrárne, h ($[h] = m$) je prevýšenie, Q ($[Q] = l/s$) prietok vody cez turbínu, a φ je účinnosť turbíny. Teda pokiaľ na úseku dosiahneme vyššie prevýšenie, na dosiahnutie požadovaného výkonu stačí odvieť menšie množstvo vody. Hľadá sa kompromis medzi dĺžkou prívodu vody a hltnosťou (spotrebou vody) turbín.

3.2 Analýza prostredia

V prvom rade je potrebné zistiť, či je prostredie pre stavbu budovy elektrárne vhodné. Do úvahy sa musia zobrať všetky zmeny ktoré môžu nastať.

Do úvahy je potrebné zobrať vplyv vzdutia (zdvihnutia) hladiny na okolie. Pri zdvihnutí hladiny sa zvýši hmotnosť vody tlačiacej na dno a brehy. Musí sa preto zobrať do úvahy pevnosť podkladu, a brehov. Mohlo by dôjsť napríklad k zosuvu pôdy, alebo aj k zrúteniu celej hrádze. Takisto môže dôjsť k podmočeniu okolitej pôdy, kedy voda z nádrže prenikne cez brehy.

Na vodných tokoch sa môžu vyskytnúť povodne. Elektrárne nesmie mať v prípade povodne nežiaduce účinky na okolie. Koryto aj po vzduť hladiny musí mať prietokovú rezervu minimálne pre 50 ročnú vodu, teda musí byť schopná previesť najvyšší prietok vody aký bol na toku za 50 rokov nameraný.

Voda nesmie zasahovať po inžinierske stavby, ako sú napríklad mosty, alebo stĺpy. V prípade že bude zasahovať, musia sa tieto stavby zrušiť, alebo zrekonštruovať, čo je ale navýšenie investície.

Z prírodného hľadiska je dôležité, aby stavba nenarušila lokálny ekosystém, poprípade narušila ho v prípustnej miere. Múr môže prerušiť trasu migrácie rýb, čoho následkom môže byť ohrozenie, poprípade vymretie druhov v danej oblasti. V špeciálnom prípade môže dojsť k premnoženiu, čo je takisto kritické. Netreba brať ohľad len na ryby. Nádrž môže zasiahnuť aj plazy a iné živočíchy, takisto aj rastliny.

4. Generátory

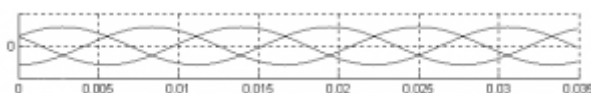
Generátor je srdce elektrárne. V ňom dochádza k premene mechanickej energie na elektrickú. Je roztáčaný turbínou.

Generátory sa skladajú z jadier (cievok). Platí, že čím viac má generátor cievok, tým nižšie otáčky sú preňho vhodné, ale stúpa jeho cena. Takisto cena generátora stúpa z jeho výkonom.

Generátory sa delia na dve hlavné skupiny. Synchronné a asynchronné.

4.1 Synchronný generátor

Súčasťou synchronného generátora sú elektronické obvody, ktoré zaisťujú výstupné napätie na rovnakej frekvencii. Musí sa použiť, pokiaľ chceme generátorom napájať elektrické zariadenia určené do bežnej siete.



Obr.1 Výstup z trojfázového synchronného generátora

4.2 Asynchronný generátor

Tento typ generátora neobsahuje obvody na synchronizáciu fázy. Používa sa, pokiaľ sa elektrárne pripája do siete, ktorá už je synchronizovaná. Pri rovnakom výkone je o polovicu lacnejší ako synchronný generátor.

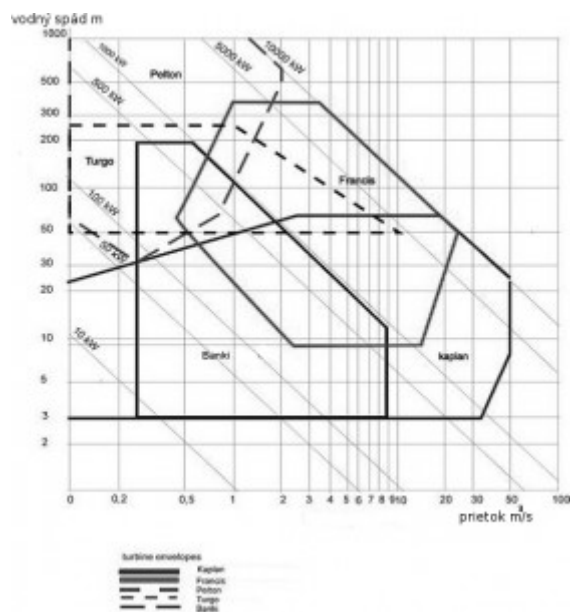
5. Turbíny

V súčasnosti sú už turbíny elektronicky riadené. K dispozícii máme viacero druhov vodných turbín. V MVE sú najpoužívanejšie Kaplanova, Francisova a Peltonova turbína.

Každá z turbín je vhodná do iných podmienok. Rozhodujúce sú hlavne dva parametre. Vodný spád, a maximálny prietok, ktorý sa dá využiť. Každá z turbín má inú účinnosť, a

osobitný systém na reguláciu prietoku. Bez tohto systému by sa nedal regulovať výkon ani hltnosť turbíny, čo je veľmi dôležité.

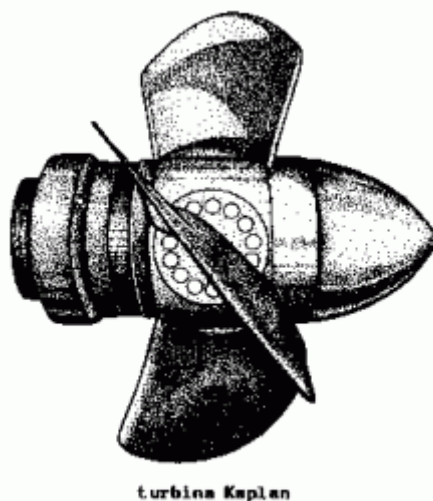
Platí, že čím je vyšší výkon turbíny, tým vyššia je jej cena.



Obr. 2. Graf použitia turbín.

Parametre grafu z Obr.2 sú len orientačné.

5.1 Kaplanova turbína



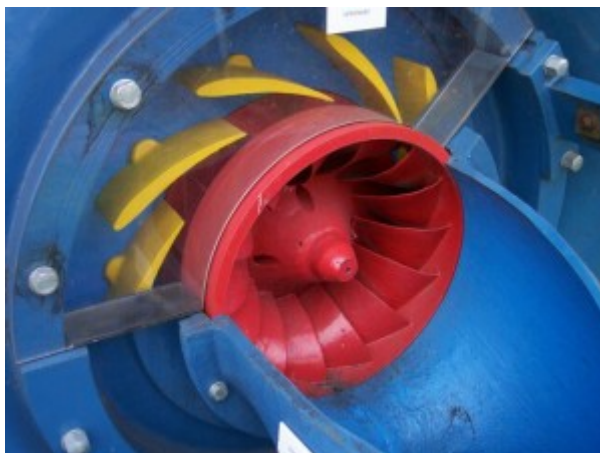
Obr.3 Kaplanova turbína, servomotory v hlavici

Kaplanova turbína (obr. 3) je podobná lodnej skrutke. Má 3-5 lopatiek. Päť-lopatková je stavaná na vyšší prietok. Je určená pre spády vody od 1,5 m do 15 metrov, a prietoky do 25 m³/s. Používa sa na výkony do 1 MW. Turbína je pripojená buď priamo na hriadeľ, alebo cez remeňový prevod. Bežne pracuje v otáčkach do 250 ot./min. Ako vyplýva z Obr.2 pre najnižšie výkony sú vhodné jedine tieto turbíny. Prietok turbínou sa reguluje pomocou natáčania lopatiek (20-100%) hydraulickým servomotorom podľa zaťaženia, alebo prietoku. Majú najnižšiu citlivosť na kolísanie spádu a prietoku. Pri

použití v MVE dosahují účinnost do 90%.

Turbína pracuje na nižšie otáčky. Zavedením prevodu ušetríme na cene generátora

5.2 Francisova turbína



Obr.4 Horizontálna Francisova turbína

Francisova turbína (obr. 4) sa používa ako horizontálna, alebo ako vertikálna turbína. Je určená pre spády od 20 do 200 metrov, a prietoky do 2 m³/s, čo je značne menej ako pri Kaplanovej turbíne. Vyrába sa pre výkon do 1 MW. Dosahuje otáčky okolo 650 ot/min, a často sa pripája priamo na hriadeľ generátora. Prietok sa reguluje podobne ako pri Kaplanových turbínach. V MVE dosahujú účinnost do 90%.

5.3 Peltonova turbína

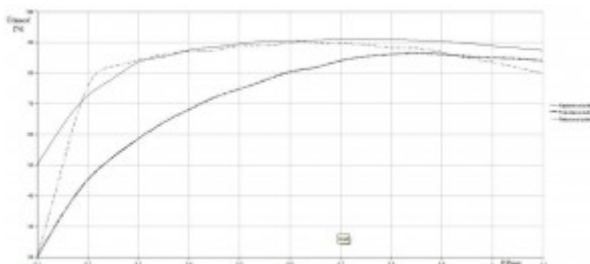


Obr.5 Peltonova turbína

Peltonove turbíny (obr. 5) sú vyrábané pre tie najvyššie spády, od 50 do 900 metrov. Väčšinou sa pripájajú priamo na hriadeľ, ale aj u tohto typu sa niekedy využíva prevod. Využívajú prietoky do 0.5 m³/s. Pracujú pri otáčkach 650-800 ot/min. Prietok sa reguluje pomocou dýz, ktoré vytvárajú prúd vody na turbínu. Dýzy sú regulované tlakom oleja z čerpadla. Je to podobné ako zatváranie vodovodného kohútika. Tento typ turbíny dosahuje najvyššiu účinnost (v MVE až 95%), a keďže pracuje pri vysokých otáčkach, majú generátory najnižšiu cenu.

5.4 Účinnost turbín

Účinnosť premeny energie vody na elektrickú energiu považujeme za veľmi dôležitý faktor pri projektovaní elektrárne. Z vykonanej analýzy priemerného ročného prietoku môžeme podľa Obr. 6 odhadnúť závislosť účinnosti turbíny od kolísania prietoku a hladiny.



Obr.6 Závislosť účinnosti turbín na zmene prietoku

Na grafe (Obr.6) je na osi x vynesovaný pomer prietoku cez turbínu ku maximálnemu prietoku cez turbínu. Vynesené je aj 10% preťaženie turbíny. Jasne vidno, že Kaplanova turbína je pre kolísavý prietok najvhodnejšia, a najviac citlivá je Francisova turbína.

6. Povolenia na výstavbu

Po naprojektovaní elektrárne, je to posledný krok, ktorý projekt delí od realizácie.

Táto stavba môže výrazne zasiahnuť do ekosystému krajiny. Preto je potrebné povolenie od Štátnej ochrany prírody SR. To sa často odvoláva ešte na Slovenský rybársky zväz, či nie sú v zasiahnutých tokoch významné živočíšne oblasti. Pokiaľ priehradný múr zabraňuje prirodzenej migrácii rýb a iných živočíchov, často sa musí k elektrárni projektovať ešte rybochod, ktorý migráciu umožňuje.

Keďže je to vodná stavba, je potrebné vodoprávne rozhodnutie od Úradu životného prostredia. Na tento úrad sa podáva návrh, na základe ktorého úrad o veci rozhodne.

Na základe týchto a ďalších povolení (ktoré sú potrebné aj pre bežné stavby), sa projektu vydá stavebné povolenie, a nakoniec sa musí elektrárne pred uvedením do prevádzky skolaudovať.

Na výstavbu elektrárne je najviac vhodná lokalita, ktorá je už upravená ľudskou činnosťou, a nezasahuje do žiadnych iných zariadení.

Tento rok, ale prichádza nový stavebný zákon, ktorý mení tieto podmienky. Stavebný úrad preberie všetky povinnosti, a po žiadosti vydá rozhodnutie. Stavebníkovi takto odpadá väčšina povinností, ale na druhej strane znižuje sa šanca na schválenie elektrárne.

7. Pripojenie do siete

V dnešnej dobe zákon prikazuje Slovenským elektrárňam odkupovať elektrickú energiu od osôb, ktoré ňou disponujú. Slovenská elektrizačná prenosová sústava a.s. musí schváliť pripojenie elektrárne do sústavy. Narozdiel od veterných elektrární, MVE s týmto zväčša nemajú problém. Musia sa ale dodržať technické podmienky ako napríklad frekvencia generátora pohybujúca sa medzi 47,5 a 51,5 Hz, a výstupné

napätie je medzi 95 a 105% napätia v sústave. Po schválení nasleduje vypracovanie projektu zo strany Slovenských elektrární, ktoré nakoniec prípojku postavia. Prípojka zostáva majetkom elektrární. Žiadateľ je povinný uhradiť 40 % z celkovej ceny výstavby vedenia. Priemerná cena pripojenia do siete sa v súčasnosti pohybuje okolo 3500 €.

8. Predaj elektrickej energie

Úrad pre reguláciu sieťových odvetví stanovuje ceny za elektrinu. V súčasnosti tieto ceny závisia od dátumu, kedy bola elektrárňa spustená do prevádzky, výkonu elektrárne, a od dotácií, ktoré boli na výstavbu získané.

V Tab.1 je cenník platný od 1.1.2009 pre elektrárne do výkonu 5 MW. Úrad pre reguláciu sieťových odvetví sa rozhodol podporiť rekonštrukciu starších elektrární, pokiaľ sa dosiahne zvýšenie ich výkonu.

Tab. 1 Výkupné ceny elektriny

Dátum spustenia prevádzky	Cena za kWh (bez DPH) [centy-Sk]
Do 1.1.2005	8–2,50
1.1.2005-31.12.2008	10–3,00
Po 1.1.2009	12–3,40
Ak sa rekonštrukciou zvýšil výkon	13–4,00

Pokiaľ sa ale využije financovanie z operačných programov, výkupné ceny elektriny sa upravujú podľa Tab.2.

Tab. 2 Ceny podľa dotácií z Eurofondov

Dotácia [%]	Zníženie výkupnej ceny [%]
Menej ako 30	4
30 - 40	8
40 - 50	12
Viac ako 50	16

9. Dotácie

Výstavba MVE nieje lacná záležitosť, a preto sa často využívajú programy, ktoré sa podieľajú na financovaní. V dnešnej dobe je využitie alternatívnej energie silno podporované pomocou operačných programov. V programovom období 2007 - 2013 ponúkla EÚ Slovensku dotácie vo výške 11 miliárd €. Napríklad program Životné prostredie má pre toto obdobie vyhradenú čiastku na dotácie 1,8 miliardy €.

Prostredníctvom týchto programov sa Ministerstvo výstavby a regionálneho rozvoja SR snaží podporiť rozvoj regiónov SR. Pomocou programu INTERREG III A sa snaží podporiť spoluprácu medzi regiónmi SR a susednými štátmi. Pomocou tohto programu bola financovaná výstavba obecnej MVE v Lomnej.

Na získanie dotácie, sa na ministerstve musí predložiť žiadosť. Ministerstvo organizuje výzvy na predkladanie žiadostí, ktoré následne posudzuje.

10. Doba návratnosti

Je jeden z najdôležitejších faktorov, ktoré hrajú rolu pri uvažovaní o výstavbe elektrárne. MVE sa nevyznačujú nízkou dobou návratnosti, často sa pohybuje v rozmedzí od 10 do 20 rokov. Na druhej strane majú veľmi vysokú životnosť.

V prílohe je tabuľka s vypočítanými dobami návratnosti pre rôzne typy turbín. Pri výpočte bol použitý vzorec (2) na výpočet vyprodukovanej energie, predpokladal som že elektrárne je postavená najskôr v roku 2009 (výkupná cena elektriny 12 centov/kWh), a boli zohľadnené dva finančne najnáročnejšie faktory výstavby, a to turbína spolu s generátorom a prírodné potrubie o dĺžke 500 metrov. K výsledku som pridal 5 rokov na ďalšie výdaje ako stavba budovy, vykopanie kanálu pre prírodné potrubie a pod.

11. Príklad realizácie MVE v obci Lomná

MVE v obci Lomná na Orave je jednou z dvoch MVE, ktoré vlastní obce. Druhá sa nachádza v Necpaloch, a má výkon 18 kW.

Výkon MVE v obci Lomná je 96 kW, Celý projekt by stál obecnú pokladnicu 848 344 € (25 577 000 Sk) ale z väčšej časti 69 % bola výstavba financovaná z fondu INTERREG IIIA SR-ČR, ktorý podporuje cezhraničnú spoluprácu medzi Slovenskou a Českou republikou. V elektrárni je inštalovaná Kaplanova turbína.

Vo vzorci (2) je výkon násobený len 4000 hodinami namiesto 8760 (počet hodín v roku). Počet hodín sa znižuje kvôli tomu, že maximálny výkon elektrárne neposkytuje celý rok.

$$Q = 400 * P \quad [Q] = \text{hod} \times MW = MWh \quad (2)$$

Podľa tohto vzorca sme vypočítali ročnú vyrobenú energiu tejto elektrárne na 384 MWh. Úrad pre reguláciu sieťových odvetví udáva v potvrdení o pôvode elektriny z obnoviteľných zdrojov hodnotu 300 MWh.

Výkupná cena za jednu MWh je 2856 Sk. Elektrárne spadá do cenovej skupiny, kde cena za jednu MWh je 3400 Sk (112,85 €), ale keďže bola výstavba financovaná z fondov viac ako 50 %, výkupná cena sa znižuje o 16 % na udanú hodnotu.

Celkový ročný príjem je teda 1 019 568 Sk (33 843 €), z čoho vyplýva doba návratnosti 7,8 roku pre obec, a 25 pre celkovú investíciu.

Na záver fakty o elektrárni v Lomnej:

Celková investícia: 848 344 € (25 577 000 Sk)
Financovanie z fondov: 584 279 € (17 601 000 Sk)
Dotácia získaná z programu: INTERREG IIIA SR-ČR
Investícia obce: 264 065 € (7 955 000 Sk)
Maximálny prietok: 2,35 m³/s
Maximálny spád: 4,60 m
Minimálny prietok: 0,23 m³/s
Minimálny spád: 2 m
Výstavba vedenia: investor SSE Žilina
Cena turbíny: 321 980 € (9 699 000 Sk)
Spôsob odvodu vody: postavená haň na rieke

12. Odkazy na literatúru

1. http://www.sepsas.sk/seps/Dokumenty/TechnickePodmienky/TP_B_SED_122008.pdf
2. http://www.sepsas.sk/seps/Dokumenty/ZV_03_0109_2009_E_PP.pdf
3. <http://www.ckdturbo.cz/download/pdf/cz/cz.zip>
4. [4] Zákon č.24/2006 o posudzovaní vplyvov na životné prostredie, dostupný z <http://eia.enviroportal.sk/dokument.php?id=48665>
5. [5] Stavebný zákon č.50/1976 účinný od 1.6.2007 a Zákon o energetike č.656/2004, dostupný z http://jaspi.justice.gov.sk/jaspiw1/jaspiw_maxi_fr0.htm
6. Kvetoslava Šoltésová, pracovníčka Slovenskej energetickej agentúry, Odboru legislatívy, metalógie a vzdelávania
7. Jaromír Roškot, generálny riaditeľ firmy Hydrohrom s.r.o.
8. p. Křížik, technik MVE v Necpaloch
9. Jozef Straka, starosta obce Lomná

Spoluautorom tohto článku je Branislav Mišota, Slovenská technická univerzita, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava.
