energie vody

EKIS ČEA

EkoWATT

ENERGIE VODY

Vodní energie vzniká jako důsledek dopadající sluneční energie. Energii z vody je možno získat využitím jejího **proudění** (energie pohybová, kinetická) a jejího **tlaku** (energie potenciální, tlaková), nebo také obou těchto energií současně. Podle způsobu využívání potom rozlišujeme i používané typy vodních strojů.

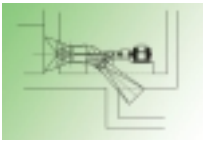
možnosti využití a přírodní podmínky

Vodní elektrárny se na celkovém instalovaném výkonu v republice podílejí zhruba 17 % a na výrobě necelými 4 %. Česká republika se nachází na rozvodí tří moří a pramení zde řeky. Svou geografickou polohou je přímo předurčena k využití vodní energie v **malých vodních elektrárnách** (MVE). Technicky využitelný potenciál řek ČR činí 3380 GWh/rok. Z toho potenciál využitelný v **MVE je 1570 GWh/rok**. Současně využitý potenciál v MVE činí přibližně **500 GWh/rok** (cca 30 %).

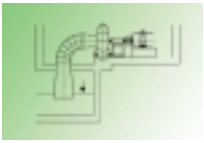
Z hlediska dispozice a rozložení zdrojů MVE na našem území netvoří kompaktní skupinu, ale jsou rozptýleny po celém území. To je výhodné právě pro připojování do energetické sítě, kde nezatěžují přenosovou soustavu. Celoplošné rozšíření elektrizační soustavy přitom umožňuje připojení téměř ve všech lokalitách s možností použití asynchronních generátorů. To je provozně jednodušší a levnější (není třeba nákladné a složité regulační části).

Kinetická energie je ve vodních tocích dána **rychlostí** proudění; rychlost je závislá na **spádu toku**. Využití této energie je možné vodními stroji **rovnotlakými**, které jsou založeny na **rotačním principu**. Z vodních strojů jsou to hlavně **vodní kola**, turbíny typu **Bánki** a **Pelton**. Optimální využití však vyžaduje, aby obvodová rychlost stroje byla nižší než je rychlost proudění. Pokud je obvodová rychlost otáčení stejná, lopatky pouze ustupují proudu bez možnosti převzetí energie a jakéhokoliv zatížení. Otáčky těchto strojů jsou pomalé - uvádějí se jako stroje s **nízkou rychloběžností**. U rovnotlakých strojů je tlak na lopatky vyvolaný poloviční obvodovou rychlostí než je rychlost proudění a je po celé cestě předávání energie stejný. Dalším znakem těchto strojů je **částečný ostřik**. Znamená to, že voda vstupuje do turbíny pouze v některé její části obvodu, nebo v některých určitých částech, ale nezahltí celý obvod plynule.

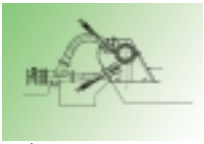
Energie potenciální (tlaková) vzniká v důsledku gravitace. Voda teče vhodným přivaděčem přirozeným způsobem z vyšší úrovně hladiny na nižší úroveň. Rozdíl těchto dvou potenciálů potom vytváří tlak, který se využívá ve strojích, kterým říkáme **přetlakové (reakční)**. Do této oblasti patří turbíny typu **Kaplan**, **Francis**, **Reiffenstein**, různé typy **turbín vrtulových** a vhodná **čerpadla v turbínovém provozu**. U tohoto typu přetlakových turbín se část tlaku vody přemění v rychlost pro zajištění požadovaného průtoku. Zbylá tlaková energie se postupně snižuje při průchodu lopatkami turbíny a v místě, kde ji opouští, je téměř plně využita. Společnou vlastností přetlakových turbín jsou otáčky oběžného kola turbíny, které jsou **několikanásobně vyšší**, než absolutní **rychlost proudění**.



S-Kaplan



Francis



Pelton

PB-Kaplan

Reiffenstein

Bánki

Obrázek 1: Typy nejčastěji používaných turbín. (Zdroj: ČKD Turbo Technics s.r.o.)

základní části vodního díla a přehled zařízení

Vzdouvací zařízení slouží ke vzdutí vodní hladiny v toku a usměrnění vody do přivaděče (přehradní hráze a jezy).

Hráze se vyznačují obvykle větší výškou vzdutí, větším objemem zadržené vody a plochou zaplavovaného území. Jejich nová výstavba pouze za účelem provozování malých vodních elektráren je z ekologických a ekonomických hledisek většinou neúnosná, nicméně využití stávajících hrází může být ekonomicky velmi výhodné. Například u základových výpustí nádrží je nutno mařit energii protékající vody, např. instalací rozstřikovacích uzávěrů, bez jakéhokoli využití této energie. Přitom tuto funkci může částečně přebrat vodní turbína. Další možností je instalace vodní turbíny na přivaděčích pitné vody.

Jezy mají oproti hrázím nižší výšku vzdutí a podstatně menší objem zadržené vody. Náklady na jejich výstavbu rostou s jejich šířkou. U toku větší šířky nutnost využití speciální mechanizace navyšuje investice. U nížinných toků je zachovalý jez většinou nutnou podmínkou výstavby MVE.

Přivaděče koncentrují spád do místa instalace vodní turbíny. **Beztlakové přivaděče** (náhony, kanály) se budují převážně výkopem v terénu. Náklady závisí na délce, příčné svažitosti terénu, typu zeminy a s tím souvisejícího druhu opevnění stěn koryta. Nejvýhodnější je oprava původního náhonu, případně volba stejné trasy z důvodu snadnějšího získání a zaměření pozemku. **Tlakové přivaděče** jsou nejčastěji zhotoveny z ocelových trub, případně z železobetonu. Měrné náklady na jejich výstavbu jsou vyšší než u přivaděčů beztlakových (náhonů), zejména u toků podhorských a horských. Ekonomicky mohou být výhodnější než beztlakové pouze při velkém podélném spádu toku, proto se realizují co

nejkratší. Často se oba typy přivaděčů kombinují s cílem dosažení maximálního spádu a minimálních nákladů.

Česle, zhotovované převážně jako mříž z ocelové pásoviny, zabraňují vnikání vodou unášených nečistot do turbíny. Obvykle jsou před turbínou nejméně dvoje: hrubé a jemné, často s automatickým čištěním.

Ve **strojovně** je umístěno strojní a elektrotechnické zařízení elektrárny. **Stavební částí turbíny** rozumíme takové části vodní elektrárny, které spolu se strojní částí tvoří elektrárnu jako celek (například základy nebo betonová spirála). Při volbě typu turbíny je nutné zohlednit i rozměry a konstrukci stavební části, neboť dražší strojní vybavení může svojí kompaktností celkové investiční náklady snížit.

Odpadní kanály vracejí vodu do původního koryta. Často jsou tak krátké, že náročnost jejich výstavby a náklady jsou vůči ostatním částem elektrárny bezvýznamné. Pro delší kanály se řídíme podobnými kritérii jako u beztlakových přivaděčů.

Typy nejčastěji používaných turbín v závislosti na spádu a průtoku: Kaplan, Francis, Bánki, Pelton, Reiffestein, čerpadlo upravené v turbínovém chodu.

Vodní kolo je dnes už historický vodní motor, který může najít uplatnění zejména pro spády do 1 m a průtoky až do několika m^3/s. Výroba je vždy individuální.

Kaplanova turbína je klasická přetlaková turbína v základním provedení výborně regulovatelná, ale výrobně náročná. Dnes ji vyrábí řada firem v České republice s různými úpravami regulace i dispozičním uspořádáním (kolenové či přímoproudé turbíny). Jsou použitelné pro spády od 1 do 20 m, průtoky 0,15 až několik m^3/s, individuálně až několik desítek m^3/s. Je vhodná zejména pro jezové a říční malé vodní elektrárny.

Francisova turbína je v minulosti nejpoužívanější přetlaková turbína pro téměř celou oblast průtoků a spádů malých vodních elektráren. Při rekonstrukcích je možné vidět Francisovu turbínu již od spádu 0,8 m. Její oprava se vyplácí zejména do spádu 3 m. Instalace nových turbín v MVE se dnes omezuje na spády od 10 m a pro větší průtoky (vyšší výkony).

Bánkiho turbína je rovnotlaká turbína s dvojnásobným průtokem oběžného kola, výrobně nenáročná. Turbíny jsou podle velikosti použitelné pro spády 5 až 60 m a průtoky 0,01 až 0,9 m^3/s.

Peltonova turbína je rovnotlaká turbína vhodná pro spády nad 30 m. Využitelné průtoky jsou od 0,01 m^3/s. Levnější náhradou mohou být v některých případech sériově vyráběná odstředivá čerpadla v reverzním chodu.

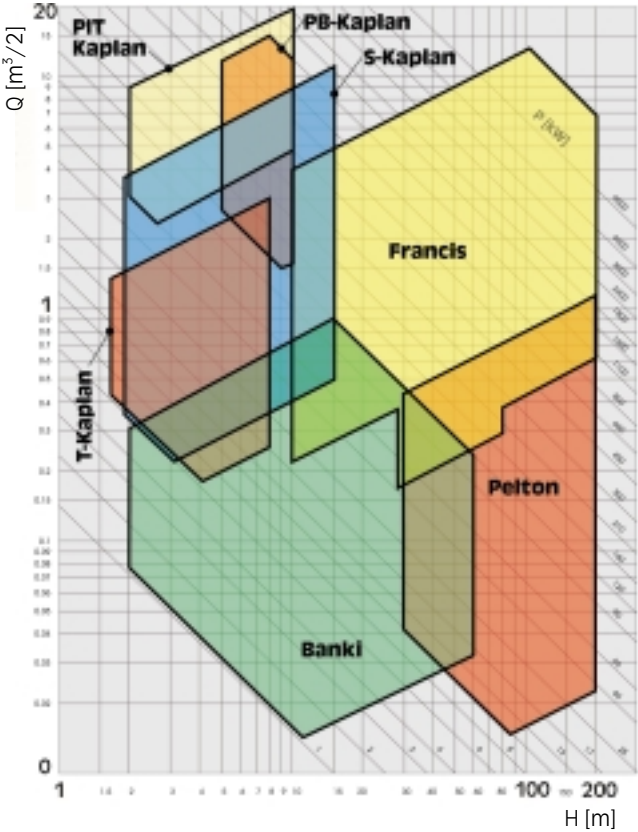
Členění turbín

- podle uspořádání na vertikální, horizontální, šikmé, jezové, derivační, přehradové, věžové;
- podle způsobu přivádění vody na přímoproudé, kolenové, kašnové spirální, kotlové;
- podle spádu nízkotlaké (do 10 m), středotlaké (do 100 m) vysokotlaké (nad 100 m);
- podle vodního režimu průtočné, akumulační, vyrovnávací, přečerpávací;
- podle režimu práce základní, špičkové, pološpičkové.

Členění MVE

Podle vyhlášky č. 214/2001 Sb. se za MVE považuje každá elektrárna do výkonu 10 MWe (dle směrnic EU do 5 MW). Podrobněji se podle výkonu dělí na:

- průmyslové (od 1 do 10 MW);
- závodní nebo veřejné (od 100 do 1000 kW);
- drobné nebo minielektrárny (od 35 do 100 kW);
- mikrozdroje nebo také mobilní zdroje (pod 35 kW).



Obrázek 2: Základní charakteristika turbín podle průtoku a spádu.

výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

V České republice je stále ještě dostatek lokalit pro výstavbu nebo obnovu MVE. Nové lokality jsou však zejména na nízkých spádech, což je ekonomicky nevýhodné. Pro výstavbu MVE se přednostně využívají lokality, které byly v minulosti využívány pro energetické účely, například vodním mlýnem, hamrem či pilou. Zbytky bývalého vodního díla (odtokový kanál, jez apod.) mohou výrazně snížit náklady na výstavbu. Při tom je nezbytné, aby zejména na větším toku bylo v pořádku vzdouvací zařízení (jez).

Rozhodujícími ukazateli k ohodnocení konkrétní lokality (pro využití hydro-energetického potenciálu) jsou dva základní parametry - **využitelný spád** a **průtočné množství vody** v daném profilu, který chceme využít. Kromě toho jsou důležité i následující údaje:

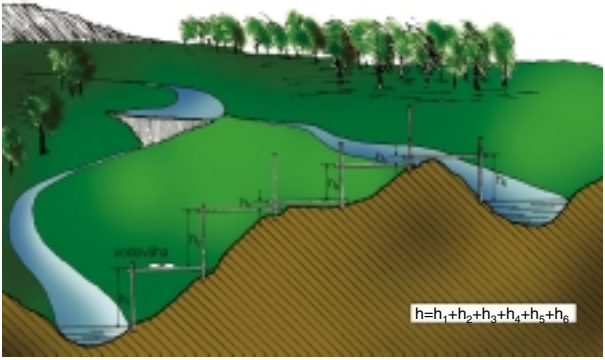
- možnost umístění **vhodné technologie**,
- vhodné **geologické podmínky** a **dostupnost lokality** pro těžké mechanismy, případně vhodnost pro vybudování potřebné zpevněné komunikace,
- **vzdálenost od přípojky** Vn nebo VVn s dostatečnou kapacitou,
- minimalizace možného rušení obyvatel hlukem, jinak je nutno provést **odhlučnění**,
- míra **zásahu do okolní přírody** a **vhodné začlenění** do reliéfu lokality, předepsáno stavebním úřadem či urbanistou, zátěž při výstavbě elektrárny, zátěž budováním přípojky - (Umístění lokality v CHKO velmi komplikuje povolovací řízení.),
- míra **kontaminace vody** ropnými produkty - (U nových technologií se předpokládá maximální využití samomazných ložisek a používání ekologicky nezávadných maziv na bázi rostlinných olejů. U starších technologií je vždy možné opatření, které nepoškodí přírodu.),
- **dodržování odběru** sjednaného množství vody - (Využitím spolehlivých automatik v souvislosti s hladinovou regulací se vyloučí nevhodný vliv obsluhy MVE.),
- způsob odstraňování **naplavenin** vytažených z vody - (Podle směrnice MŽP ČR je nutno zajistit odvoz a likvidaci z vody vytažených naplavenin, v žádném případě je nelze vracet do toku.),
- **majetkoprávní vztahy** ohledně pozemku, postoj místních úřadů, vlastnictví či dlouhodobý pronájem pozemků.

Při dodržení všech uvedených aspektů nemůže MVE svým provozem narušit životní prostředí v lokalitě, naopak přispívá k revitalizaci místního říčního systému a kladně ovlivňuje režim vodního toku (čistí a provzdušňuje tok).

spád

Spád je výškový rozdíl vodních hladin. V praxi se většinou rozlišují dva druhy spádů:

- **hrubý (celkový) spád Hb** (brutto) je celkový statický spád daný rozdílem hladin **při nulovém průtoku** vodní elektrárnou. Zejména u děl nízkotlakých je vhodné stanovit spád výškovou nivelací na úseku od vtokového objektu (obvykle nad jezem), po úroveň spodní hladiny na odpadu z turbíny. Pro hrubé odhady jej lze stanovit z mapy (poměrně spolehlivý pouze při navrhování vysokotlakých děl). Pro relativně přesný odhad není třeba nivelační přístroj, postačí lať s centimetrovým dělením. Pro vodorovnou záměru lze použít vodováhu, případně teodolit nebo hadicovou vodováhu.
- **užitný (čistý) spád H** (netto), se liší od hrubého spádu odečtením hydraulických ztrát těsně před vodním motorem a za ním (v přivaděči a odpadu) vzhledem ke vzdutí spodní vody, poklesu hladiny horní vody při provozu, změnami směru a objemovými ztrátami (v česlích, v přiváděcím kanálu, v potrubí, atp.). Tím získáme spád pro turbínu užitný.



Obrázek 3: Určování spádu bez nivelačního přístroje.

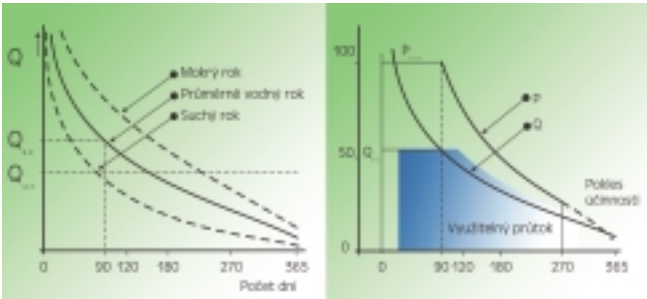
M [dní]	30	60	90	120	150	180
Q [m³/s]	2,7	1,9	1,5	1,2	1,0	0,85

Tabulka 1: Příklad M-denní průtokové závislosti.

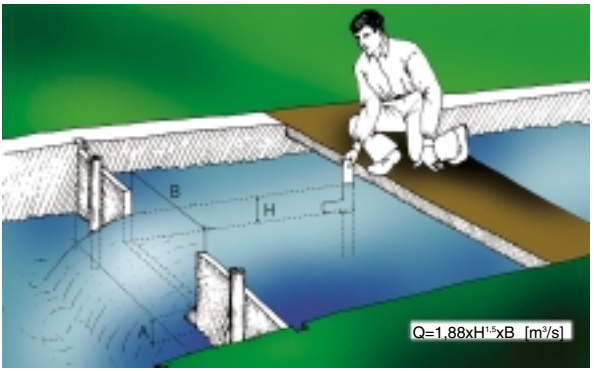
průtok

Průtok je průtočné množství vody v daném využitelném profilu. Přesný průtok lze zjistit za úplatu u Českého hydrometeorologického ústavu nebo Správy toku (Povodí), jako tzv. **dlouhodobý průměrný průtok Qa**, **N-leté průtoky** (čáry překročení průměrných ročních průtoků) a **M-denní průtoky** (čáry překročení průměrných denních průtoků). Pro využití energie vody jsou nejdůležitější M-denní průtoky (**křivka překročení průtoků v průměrně vodném roce** čili **roční odtoková závislost** neboli **M-denní odtoková závislost**). Ty udávají průtok zaručený v daném profilu toku po určitý počet dní. Data se uvádějí číselně v obvyklém členění po 30 dnech v roce .

Vodní elektrárny se obvykle dimenzují na 90-ti denní až 180-ti denní průměrný průtok, což ovlivňuje technická úroveň technologie, zejména schopnost turbíny přizpůsobit se regulací změnám průtoku. Pro výpočet využitelného průtoku v elektrárně je potřeba počítat s **minimálním hygienickým** (sanitárním, sanačním) **průtokem** původním korytem. Sanační množství bývá předepsáno při vodoprávním řízení a odpovídá obvykle 330, 355 nebo 364 dennímu průtoku vody, který je nutno ponechat v řečišti a nelze s ním kalkulovat pro využití.



Obrázek 4: Roční odtoková závislost a výkon dosažený v průběhu roku.



Obrázek 5: Zjednodušené zjišťování průtoku.

	210	240	270	300	330	355	364
	0,75	0,6	0,5	0,4	0,34	0,25	0,18

hodnocení kvality

Pro předběžný odhad dosažitelného výkonu MVE lze použít zjednodušený vztah, kde je výkon uveden již v kW, protože ve vztahu je již brán zřetel na měrnou hmotnost vody, která je 1000 kg/m^3:

$$P = k * Q * H$$

kde:

P je výkon [kW]

Q je průtočné množství vody, průměrný průtok [m^3/s]

H je spád využitelný turbínou [m]

k je bezrozměrná konstanta uváděná v rozsahu 5 - 7 pro malé vodní elektrárny, 8 - 8,5 pro střední a velké; její velikost ovlivňuje účinnost soustrojí a technická úroveň použité technologie

Výroba elektřiny ve vodní elektrárně potom bude:

$$E = P * T$$

kde:

E je množství vyrobené energie během roku [kWh]

P je výkon [kW]

T je počet provozních hodin během roku [h]

Počet provozních hodin během roku se stanoví podle počtu dní M, ve kterých může turbína se zvoleným regulačním rozsahem pracovat (alespoň 4000 h).

Obrázek 6: Ukázka MVE na malém toku s výkonem do 100 kW (SRN).

Obrázek 7: Kaplanova turbína. (Zdroj: HYDROHROM.)

Obrázek 8: MVE v Boršově nad Vltavou, pohled od horní vody, vpravo v pozadí jez.

použitá a doporučená literatura

[1] Bednář, J.: Malé vodní elektrárny 2. SNTL, Praha, 1989.
[2] Gabriel, P., Čihák, F., Kalandra, P.: Malé vodní elektrárny. ČVUT, Praha, 1998.
[3] Kol. autorů: Co chcete vědět o malých vodních elektrárnách. ČEZ, a.s., Praha.
[4] Kol. autorů: Katalog firem 2002 - 2003, obnovitelné zdroje energie. EkoWATT, Praha, 2002.
[5] Kol. autorů: Hydrologické poměry Československa, 1. - 3. díl. ČHMÚ, Praha, 1970.
[6] Kol. autorů: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, 1994, druhé upravené a doplněné vydání 2001.
[7] Kol. autorů: Malé vodní turbíny, konstrukce a provoz. ČVUT, Praha, 1998.
[8] Melichar, J.: Malé vodní turbíny. ČVUT, Praha, 1995.
[9] Pažout, F.: Malé vodní elektrárny. SNTL, Praha, 1990.
[10] Škorpil, J., Kasárník, M.: Obnovitelné zdroje energie I. Malé vodní elektrárny. ZČU, Plzeň, 2000.

Vydal:
EkoWATT, středisko pro obnovitelné zdroje a úspory energie
Bubenská 6, 170 00 Praha 7
tel.: +420 266 710 247
fax: +420 266 710 248
e-mail: ekowatt@ekowatt.cz
http://www.ekowatt.cz, www.energetika.cz

Autoři textů: Jiří Beranovský, Karel Srdečný, Jan Truxa
Spolupráce: Radim Bařinka, František Hrdlička, Evžen Přibyl, Libor Šamánek, Jiří Vašíček, Jaroslav Knápek
Grafický návrh: Irena a Saša Mandić
Realizace: Helvetica & Tempora, spol. s r. o., Pod Kaštany 8, Praha 6

© EkoWATT, 2002

Podrobnější informace lze získat také v celostátní síti Energetických informačních a konzultačních středisek České energetické agentury (EKIS ČEA), jejichž seznamy jsou uveřejněny např. na internetové adrese http://www.ceacr.cz.

Publikace je určena pro poradenskou činnost a byla zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2002 - část A. Byla vydána díky laskavé podpoře České energetické agentury a Nadace Partnerství.