

Vzorové řešení úlohy 2 - roční výroba energie na vodní elektrárně při jezu

Základní vztahy:

Výkon elektrárny:

$$P = \eta \rho g Q H \text{ [W]}$$

kde:

η	účinnost [-]
ρ	hustota [kgm^{-3}]
g	tíhové zrychlení [ms^{-2}]
Q	průtok [m^3s^{-1}]
H	spád (rozdíl horní a dolní hladiny) [m]

$$H_i = K_h - K_d - h_i \text{ [m]}$$

$$h_i = 3 * \sqrt{\frac{Q_i}{3 * Q_{30}}} \text{ [m]} \text{ (pouze náhradní vztah pro závislost hloubky na průtoku)}$$

h	hloubka dolní vody [m]
i	pořadí dne pro průtoky a hloubky dle čáry překročení
Q_{30}	30-ti denní průtok [m^3s^{-1}]

Práce elektrárny (vyjadřuje výkon vykonaný za určitou dobu)

$$W = PT \text{ [Wh]} \text{ ([J] [Ws])}$$

kde:

P	výkon [W]
T	čas [h] ([s])

Postup:

Při výpočtu roční výroby energie musíme vycházet z čáry překročení průměrných M-denních průtoků, jelikož hodnoty průtoků a tím pádem i spádů se budou v průběhu roku měnit, což má zásadní vliv na okamžitý výkon každý den a tím pádem i na celkovou práci. Čára překročení v podstatě vyjadřuje po kolik dní v roce bude překročen každý daný průměrný denní průtok z křivky. Stejně tak můžeme i říci už z principu konstrukce křivky, že křivka obsahuje jednotlivé průměrné denní průtoky seřazené za sebou podle velikosti ať během jednoho roku, nebo za několik let, v praxi např. 30 - 60 let a více.

Nejprve provedeme návrh hlnosti turbíny (maximální průtok soustrojím). V praxi se zpravidla volí hlnost odpovídající 90-dennímu průtoku. Jedná se o kompromis mezi pořizovací cenou soustrojí a možností vyrobit co nejvíce energie omezenou hlností soustrojí.

$$Q_{nav} = Q_{90}$$

Vlastní výpočet se bude provádět numerickou integrací (sumací) práce vyrobené v každém dni v roce za celý hydrologický rok, tedy za 365 dní. Pro zjištění průměrného průtoku a spádu v každém dni využijeme hodnoty z křivky čáry překročení. Průtok odečteme přímo pro každý den (například pomocí funkce VYHLEDAť v Excelu) a spád určíme z rozdílu horní a dolní hladiny u jezu (viz vztahy výše).

Kóta horní hladiny K_h je stále konstantní, jelikož je udržovaná pomocí jezu a kóta dolní hladiny je závislá na hloubce vody h_i v korytě pod jezem, která je závislá na celkovém průtoku Q_i . Tuto hladinu pro každý průtok určíme z konzumpční křivky (viz vztahy výše). Z fyzikálních vlastností proudění v korytech se dá předpokládat, že s rostoucím průtokem se bude snižovat spád, jelikož poroste kóta dolní hladiny na rozdíl od konstantní horní hladiny.

Řešení je vhodné sestavit pomocí tabulky po jednotlivých intervalech (nejlépe po dnech). Viz následující tabulka:

den i	Q_i [m ³ s]	Q_t [m ³ s]	h_i [m]	H_i [m]	P_i [kW]	W_i [kWh]
1	100	20	4.10	0.40	62.8	nezapočítává se
2	98	20	4	0.5	78.5	1962
3	95	20	3.95	0.55	86.3	2158
...						
89	21	20	2.5	2	313.9	7848
90	20	19	2.45	2.05	305.7	7642
91	19	18	2.4	2.1	296.7	7416
...						
352	8	7	0.5	4	219.7	5494
353	7	6	0.48	4.02	189.3	4732
354	6	5	0.45	4.05	158.9	nezapočítává se
355	5	4	0.40	4.10	128.7	nezapočítává se
Celkem		-		-	-	1 960 000

*) hodnoty v tabulce jsou ilustrační a neodpovídají zadaným hodnotám ve cvičení a odpovídají účinnosti 80% a rozdílu dna a horní hladiny 4,5m

kde:

Q_i	celkový průtok v daném dni i
Q_t	průtok turbinou snížený o vedlejší (souhrnně sanační) průtoky cca 1m ³ s ⁻¹ a omezený shora hlností turbíny (od 1. do 90. dne) max. na úroveň Q_{90}
H_i	spád hladin odpovídající celkovému průtoku Q_i
P_i	výkon v aktuálním dni i závislý na průtoku turbinou Q_t a spádu H_i
W_i	celková práce za den i v [kWh]
Celkem	celková práce za rok s vyloučením dní s omezením provozu v [kWh]

Do řešení je třeba dále zahrnout následující omezení:

- 1) Průtoky jezem: Jelikož na jezu není v provozu pouze vodní elektrárna, je třeba počítat se snížením průtoku o průtoky přes další zařízení jezu, jako jsou plavební komora, rybí přechod, vorová propust, sanační průtoky, atd..., snížíme tedy celkový průtok např. o cca 1m³s⁻¹. (V zadání souhrnně pod hodnotou sanačního průtoku).
- 2) Hlnost turbíny: Jestliže okamžitý průtok snížený o vedlejší průtoky (rybí přechod, vorová propust, plavební komora,... např. cca 1m³s⁻¹) je vyšší než navržená hlnost turbíny, pak se počítá do výkonu pouze hodnota hlností a zbylý průtok nad se převádí

bez využití přes jezovou konstrukci (turbína hydraulicky více nepobere při daném celkovém průtoku).

- 3) Minimální průtok: Jestliže průtok turbinou v nějakém dni klesne pod cca 25% hlnosti ($25\% Q_{nav}$), pak se pro neekonomičnost provozu elektrárna odstaví a do celkové práce se práce v těchto dnech nezahrnuje.
- 4) Minimální spád: Každá turbína je schopna pracovat v určité oblasti spádu a průtoku. Jestliže například spád klesne pod 0,5m (ve dnech kdy je zvýšený průtok), pak turbína není schopna běžet a elektrárna se odstaví a do celkové práce se práce v těchto dnech nezahrnuje.

Vše je možné vidět na následujícím obrázku plochy pod čarou překročení. (tmavá modrá - minimální průtok, světlá modrá - minimální spád, růžová - sanační průtok, oranžová - průtok nad hlnost turbíny)

