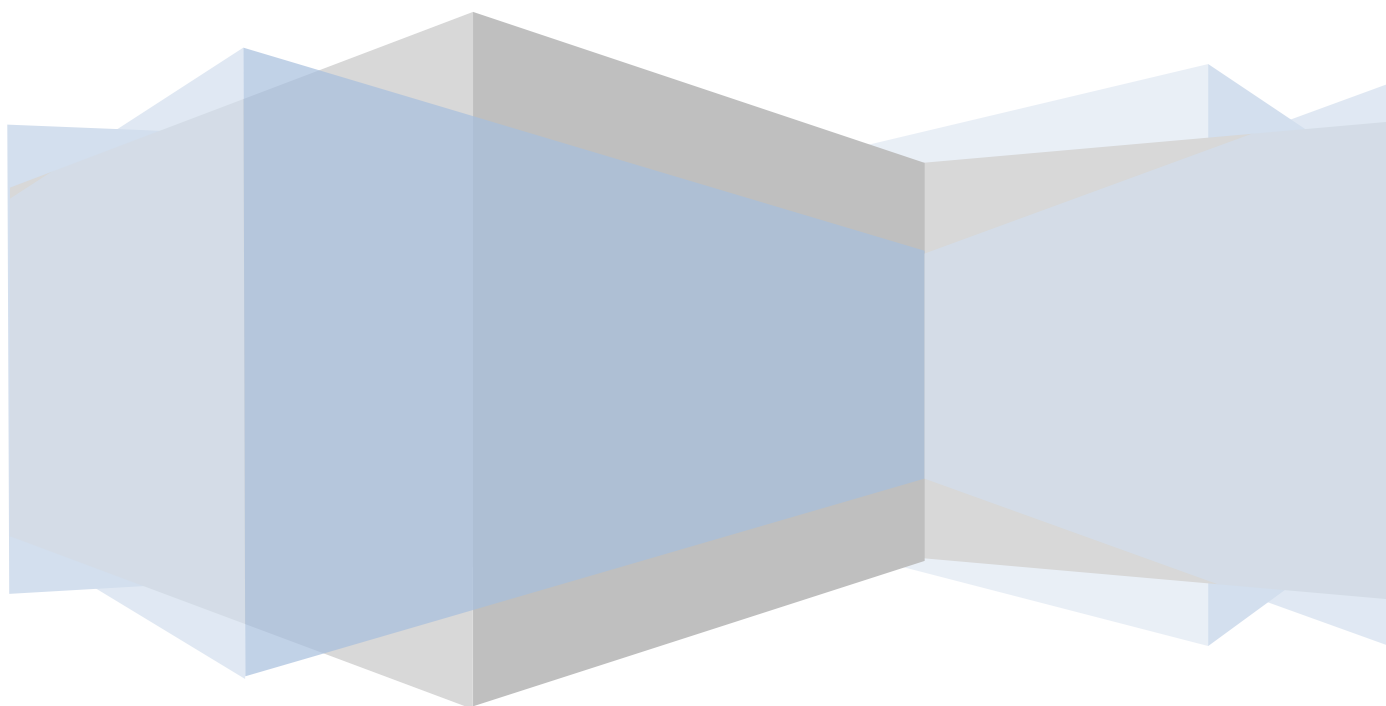


Akumulace energie diferencí gravitačních potenciálů

Václav Pekař



© Václav Pekař, 2023

Vysoké Mýto

Obsah:

1. Úvod	5
2. Základní teorie, používané názvosloví a jednotky	6
2.1. Energie	6
2.2. Potenciální energie	6
2.2.1. Potenciální energie tíhová	7
2.2.2. Tlaková potenciální energie	7
2.3. Energie proudění v potrubí	8
2.4. Elektrická energie	8
2.5. Práce	8
2.6. Výkon	9
2.7. Účinnost	10
2.8. Vodní turbíny	10
3. Využití difference potenciálů v gravitačním poli hydraulickým převodem	12
3.1. Příklady použití – přečerpávací elektrárny	12
3.1.1. Realizované přečerpávací elektrárny v ČR	12
3.1.2. Největší realizovaná přečerpávací elektrárna v Německu	12
3.1.3. Hlubinná přečerpávací elektrárna Lipno – Dunaj	12
3.2. Výhody a nevýhody, účinnost	13
4. Využití difference potenciálů v gravitačním poli mechanickým převodem	14
4.1. Příklady použití	14
4.1.1. Švýcarský návrh	14
4.1.2. Skotsko-český návrh	14
4.2. Návrh a výpočet zařízení s mechanickým převodem	15
4.3. Možnosti integrace uvedeného způsobu do stávajících objektů s diferencí gravitačního potenciálu směrem dolů – starých hlubinných dolech	16
5. Nové návrhy na využití difference gravitačního potenciálu hydraulickým převodem	17

5.1. Mechanicko-hydraulické zařízení	17
5.2. Hydraulické zařízení s odděleným turbosoustrojím.....	18
5.2.1. Hydraulické zařízení s odděleným turbosoustrojím s otevřeným hydraulickým okruhem	18
5.2.2. Hydraulické zařízení s odděleným turbosoustrojím s uzavřeným hydraulickým okruhem	18
5.2.3. Výpočet	19
5.2.4. Popis řešení těsnění mezi akumulací trubkou a pístem.....	20
5.2.5. Výpočet přítlaku těsnění a třecí síly.....	20
5.2.6. Výhody a nevýhody, účinnost.....	21
5.3. Hydraulický akumulátor s integrovaným turbosoustrojím	22
5.3.1. Popis.....	22
5.3.2. Výpočet	22
5.3.3. Výhody a nevýhody, účinnost.....	23
5.4. Možnosti integrace uvedených způsobů do stávajících objektů s diferencí gravitačního potenciálu směrem nahoru.....	24
5.4.1. Využití u větrných elektráren - turbín.....	24
5.4.2. Využití starých průmyslových komínů či výškových budov	26
5.5. Možnosti integrace uvedených způsobů do stávajících objektů s diferencí gravitačního potenciálu směrem dolů – starých hlubinných dolech	27
6. Závěr – shrnutí.....	28
7. Použitá literatura a literatura pro další studium:	29

1. Úvod

Čím se tedy tato naše e-publikace zabývá: Jde o uskladňování (akumulaci) energie v gravitačním poli. Čím je hmotné těleso v gravitačním poli výš, má větší potenciál, v našem případě jde potenciální energii. A rozdíl ve výšce uvedeného tělesa umožňuje uskladnit energii. Dále je zde o problém převodu této potenciální energie na elektrickou energii a opačně. A právě tímto se tato publikace zabývá. Jsou zde uvedeny systémy pro převod těchto energií na mechanickém a hydraulickém základě. V některých případech jde o systémy nové.

Nejprve tato e-publikace uvádí a definuje fyzikální veličiny, které jsou předmětem celé této publikace. Dále zde uvádíme již realizované nebo plánované příklady akumulace energie s využitím potenciálu gravitačního pole. Po přečtení celého textu je jasné, že teprve kapitola 5. Nové návrhy na využití difference gravitačního potenciálu hydraulickým převodem nám uvádí další možnosti pro rozvoj systému akumulace energie v gravitačním poli s co nejnižšími ztrátami. A teprve kapitoly 5.4. a 5.5. „Možnosti integrace uvedených způsobů do stávajících objektů s diferencí gravitačního potenciálu směrem nahoru a směrem dolů“ se zabývají přímo možnostmi integrace uvedených zařízení do stávajících objektů, což značně snižuje investiční náklady.

2. Základní teorie, používané názvosloví a jednotky

2.1. Energie

Energie je skalární fyzikální veličina, která popisuje schopnost hmoty (látky nebo pole) konat práci. Energie je slovo vytvořené fyziky v polovině devatenáctého století z řeckého *energeia* (vůle, síla či schopnost k činům). Energie je popsána stavovou veličinou. Energie může mít různé formy. Existuje např. kinetická energie (tu lze spočítat dle formule $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$) a konfigurační (polohové či potenciální) energie (dané vzájemnou polohou a přitahováním nebo odpuzováním částic, např. gravitací nebo magnetismem).

Značení a jednotky. Jako symbol energie se používá písmeno *E*. Hlavní jednotka energie i práce v soustavě SI je joule, značka jednotky: J. Je definován jako práce, kterou vykoná síla 1 N působící po dráze 1 m.

Další používané mimosoustavové jednotky jsou:

kalorie (cal, rovná se 4,185 J), používala se ve fyzice před zavedením metrické jednotky
kilokalorie (kcal, rovná se 4185 J, tedy zhruba množství energii potřebné pro ohřátí litru vody o jeden stupeň Celsia), dodnes se občas používá při výpočtu energetické hodnoty potravin
wattsekunda - 1Ws= 1J a
kilowatthodina - 1 kWh = 3,6 MJ používají se v energetice a silové elektrotechnice.

2.2. Potenciální energie

Potenciální energie (též polohová energie) je druh energie, kterou má každé těleso nacházející se v potenciálovém poli určité síly. Podle síly působící na dané těleso lze rozlišit více *druhů* potenciální energie: gravitační potenciální energie, potenciální energie pružnosti, tlaková potenciální energie, elektrostatická potenciální energie. Obecně je potenciální energie E_p skalární funkce, která je spojena s nějakou potenciální silou *F*. Pro přírůstek potenciálních energií platí $\Delta E_p = E_2 - E_1 = -W$.

Kde *W* je práce, kterou vykonají síly pole, E_1 a E_2 je potenciální energie v bodech 1 a 2.

Vlastnosti potenciální energie. Potenciální energie může nabývat kladných i záporných hodnot. Potenciální energie je *relativní*, záleží na tom, vzhledem k čemu se vztahuje. Při výpočtech se *nulová hladina* potenciální energie volí buď v *rovnovážné poloze*, kde jsou příslušné síly v rovnováze, nebo v *nekonečnu*, kde je velikost příslušných sil na těleso nulová. Pro *přeměnu energií* ale na volbě nulové hladiny potenciální energie nezáleží, rozhodující je pouze *změna* této energie. Potenciální energie je definovaná pouze v potenciálovém silovém poli, což je pole, jehož rotace je rovna nule. V takovém poli lze definovat potenciál *U*. Potenciální energii je pak možné vyjádřit prostřednictvím potenciálu.

2.2.1. Potenciální energie tíhová

V případě, že lze silové působení popsat homogenním tíhovým polem s tíhovým zrychlením g (tedy v přiblížení, kdy zanedbáváme pokles tíhového zrychlení s výškou), lze potenciální energii tělesa s hmotností m vyjádřit jednoduchým vztahem $E_p = mgh$, kde m značí hmotnost tělesa pohybující se v gravitačním poli, g je intenzita gravitačního pole (tedy zrychlení polem působené) a h je výška měřená ve směru působení gravitačního pole. Je výška nad úrovní, pro kterou je potenciální energie nulová (zpravidla zemský povrch).

Homogenní gravitační pole je způsob zjednodušeného matematického popisu gravitačního pole, při kterém je gravitační síla ve všech místech pole *stejná* (velikost i směr). Homogenní gravitační pole je vhodným přiblížením tehdy, pokud se v oblastech pole, v nichž sledované děje probíhají, příliš nemění velikost ani směr intenzity gravitačního pole (tedy např. gravitační pole Země uvnitř jedné místnosti o rozměrech v řádu jednotek metrů). Lze jej popisovat pomocí potenciálu E_p .

Odvození potenciální tíhové energie. Ze základní poučky vyplývá, že potenciální energie je práce, kterou musíme vykonat, abychom zvedli těleso do určité výšky nad podložku. Můžeme tedy napsat: $E_p = W$, kde práce je dána vztahem $W = F \cdot s$, přičemž síla je z Newtonova druhého zákona $F = m \cdot a$, respektive $F = m \cdot g$, protože jsme na zemi a zde působí tíhové zrychlení g . Vzorec dáme dohromady takto $E_p = W = mgs$ a dráhu s (trajektorii) nahradíme vhodnějším písmenkem h (výška zdvihu) a dostaneme finální vztah:

$$E_p = mgh$$

2.2.2. Tlaková potenciální energie

Tlaková potenciální energie je potenciální energie kapaliny nebo plynu, vznikající z tlaku, kterým kapalina nebo plyn tlačí na stěny nádoby. Může-li se stěna nádoby pohybovat (např. píst), pak kapalina nebo plyn posouváním pístu koná práci. Tlaková potenciální energie se mění na kinetickou energii pístu a pohybující se kapaliny nebo plynu. Vzájemnou přeměnu kinetické a tlakové potenciální energie ideální kapaliny proudící v uzavřené nádobě popisuje Bernoulliho rovnice. Hodnota tlakové potenciální energie je určena vztahem $E_{pt} = pV$, kde p je tlak (rozdíl vyššího počátečního a nižšího koncového tlaku), V je objem kapaliny nebo plynu při počátečním tlaku.

Potenciální energii tlakovou odvodíme z mechanické práce. Předpokládejme, že se ve vodorovné trubici posune vlivem síly F píst o ploše S o délku l . Tlaková síla velikosti $F = pS$ koná mechanickou práci $W = F \cdot l$ po dosazení za F dostáváme pro práci vztah $W = pSl = pV$. Tato rovnice říká, že tlaková potenciální energie proudící kapaliny je $E_{pt} = pV$ neboli že je přímo úměrná tlaku a objemu proudící kapaliny.

2.3. Energie proudění v potrubí

Bernoulliho rovnice je vztah užívaný v mechanice tekutin, který vyjadřuje zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální kapaliny (Energie je v rovnici přepočtena na objemovou jednotku kapaliny.).

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p + \rho u(\mathbf{x}) = \text{konst.}$$

kde ρ je hustota kapaliny, v je rychlost proudění, p je tlak v kapalině a u je potenciál vnějšího konzervativního pole mechanické síly (např. gravitační síly) v daném bodě. První člen v Bernoulliho rovnici se nazývá dynamický tlak a představuje objemovou hustotu kinetické energie, druhý člen představuje tlakovou potenciální energii objemové jednotky kapaliny a třetí člen potenciální energii objemové jednotky kapaliny v silovém poli vnější konzervativní mechanické síly, v němž se kapalina nachází. *Součet* kinetické energie a potenciální energie (tlakové + vnější) je ve všech místech trubice *stejný*.

Tato rovnice bývá často uváděna ve tvaru, který platí pro tíhové či homogenní gravitační pole:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p + \rho gh = \text{konst.}$$

Platí, že pokud na kapalinu v klidu působí tíhová síla, je ve stejné hloubce v každém bodě stejný tlak. Pokud je kapalina v pohybu tak tento vztah neplatí. Slovy můžeme Bernoulliho jev popsat takto: *v místě s větším průřezem má proudící kapalina větší tlak, ale menší rychlost, zatímco v místě s menším průřezem má menší tlak, ale větší rychlost* (Fakt, že při větším průřezu je rychlost kapaliny menší, je důsledkem rovnice kontinuity.).

2.4. Elektrická energie

Elektrická energie je schopnost elektromagnetického pole konat elektrickou práci. Čím *větší* energii má elektromagnetické pole, tím *více* elektrické práce může vykonat. Elektrický potenciál mají všechna tělesa s elektrickým nábojem (elektricky nabitá tělesa). Nejčastěji se elektrický potenciál udává pro elektrické zdroje ve formě elektromotorického napětí. Spotřebovaná elektrická energie (úbytek elektrické energie) ΔE se rovná elektrické práci W vykonané elektromagnetickým polem: $\Delta E = -W$.

Spotřebovaná elektrická energie ve spotřebiči, jímž protéká stálý elektrický proud I po dobu t , a na jehož svorkách je stálé elektrické napětí U , se vypočte: $E = U \cdot I \cdot t$ nebo též $E = P \cdot t$, kde P je stálý elektrický příkon spotřebiče.

2.5. Práce

Práce ve fyzikálním smyslu je působení síly na fyzikální těleso nebo na silové pole, při kterém dochází k posouvání nebo deformaci tohoto tělesa resp. ke změně rozložení potenciální energie v silovém poli.

Mechanická práce je děj, kdy síla působící na fyzikální těleso posouvá tímto tělesem nebo jeho částí po určité dráze. Zároveň je mechanická práce fyzikální veličina, která vyjadřuje (kvantifikuje) množství práce. V nejjednodušším případě posuvného přímočarého pohybu je rovna *součinu* složky celkové působící síly ve směru pohybu a dráhy, kterou těleso urazí.

Při mechanickém ději v izolované soustavě vyjadřuje mechanická práce *předávání* mechanické energie mezi tělesy či systémy těles. Těleso či systém, který koná mechanickou práci, *ztrácí* mechanickou energii, těleso či systém, na kterém je práce vykonávána, mechanickou energii *získává*. Mechanická práce jako veličina udává velikost této předané energie. Velikost práce jako fyzikální veličiny lze v nejjednodušším mechanickém případě vypočítat jako součin velikosti složky síly ve směru pohybu a délky dráhy, po které se těleso posunulo (neuvažujeme otáčení ani deformaci).

Mechanická práce závisí na síle, která na těleso působí, na dráze, po které se těleso přemísťuje, a na úhlu, který svírá síla a trajektorie pohybu tělesa. Přemísťuje-li se těleso po přímce působením konstantní síly F rovnoběžné s trajektorií pohybu tělesa, pak lze velikost práce zapsat ve tvaru $W=Fs$, kde F je velikost působící síly a s je délka dráhy, kterou těleso urazilo.

Práce je také fyzikální veličina s rozměrem a jednotkou stejnými jako energie. Hlavní jednotka v soustavě SI: joule, značka jednotky: "J". Často používané násobky a díly, např.: kilojoule "kJ" (10^3 J), megajoule "MJ" (10^6 J), gigajoule "GJ" (10^9 J)

2.6. Výkon

Práce vykonaná za jednotku času se nazývá výkon, je to skalární fyzikální veličina. Práci vykonanou na daném systému lze také získat ze znalosti časového průběhu dodávaného okamžitého výkonu P . Pro konstantní výkon lze vztah zjednodušit (Δt je doba konání práce): $W=P \cdot \Delta t$. A výkon je tedy $P=W/\Delta t$.

Elektrický výkon je fyzikální veličina, která vyjadřuje vykonanou elektrickou práci za jednotku času. Elektrický výkon je druhem výkonu, u kterého práci koná elektrická síla. Výkon je definován jako množství práce vykonané za jednotku času a v případě elektrického výkonu se jedná o elektrickou práci. Okamžitý výkon je tedy roven součinu okamžitého proudu a napětí.

V obvodech stejnosměrného proudu jsou napětí i proud konstantní a lze tedy psát: $P = p(t) = UI$. Při využití Ohmova zákona lze odvodit další ekvivalentní vyjádření (užitečná při

znalosti odporu): $P=U^2/R=I^2 \cdot R$. U obvodů střídavého proudu se rozlišují výkon činný, jalový a zdánlivý (a případně komplexní).

Výkon se značí se písmenem P a jeho jednotkou je watt, značený písmenem W .

2.7. Účinnost

Účinnost je fyzikální veličina. Udává poměr mezi energií získanou (užitečnou), což může být například strojem vykonaná práce a energií dodanou. Pokud posuzujeme zařízení (systém), které nedokáže energii akumulovat, můžeme účinnost brát jako poměr mezi výkonem a příkonem. Energie dodaná stroji je vždy větší než práce strojem vykonaná kvůli ztrátám – přeměně energie na neužitečné druhy (např. v důsledku tření se mění mechanická energie v teplo). Proto účinnost je vždy menší než 100 %.

Účinnost se vypočítává:

- Jako poměr energií, získané a dodané
- Jako poměr vykonané (užitečné) práce k dodané energii
- Jako poměr vykonané práce k práci vynaložené
- Jako poměr výkonu k příkonu

Účinnost se zapisuje značkou η jako bezrozměrná veličina, buď bez jednotky (jako desetinné číslo $0 \div 1$), příp. v %

2.8. Vodní turbíny

V našem případě budeme počítat pouze s přetlakovými turbínami. U přetlakových turbín vstupuje voda do oběžného kola s určitým přetlakem, který při průtoku turbínou klesá. Při výstupu z turbíny má tedy voda nižší tlak než při vstupu do ní. Právě takhle pracují Francisovy turbíny, vhodné pro střední spády.

Pro malé výkony na malých spádech jsou vhodné horizontální turbíny, pro malé spády a velké výkony se stavějí vertikální turbíny.

Vývoj Francisových turbín ještě není ukončen. Dosahují výkonů až 250 MW, jsou však schopny i 1000 MW a více.

Pro nejmenší spády a velký průtok vody - to znamená pro elektrárny na přehradních jezerech dolních toků velkých řek - se jako nejvýhodnější ukazují Kaplanovy turbíny.

Tam, kde by bylo nevhodné přivádět elektrický proud z velkých vzdáleností, nebo dokonce stavět velké vodní elektrárny, dobře slouží miniaturní vodní turbíny. Stačí jim poměrně malé množství vody, nevelký spád a jednoduché stavební vybavení. Jejich výkony se pohybují od 5 kW výše.

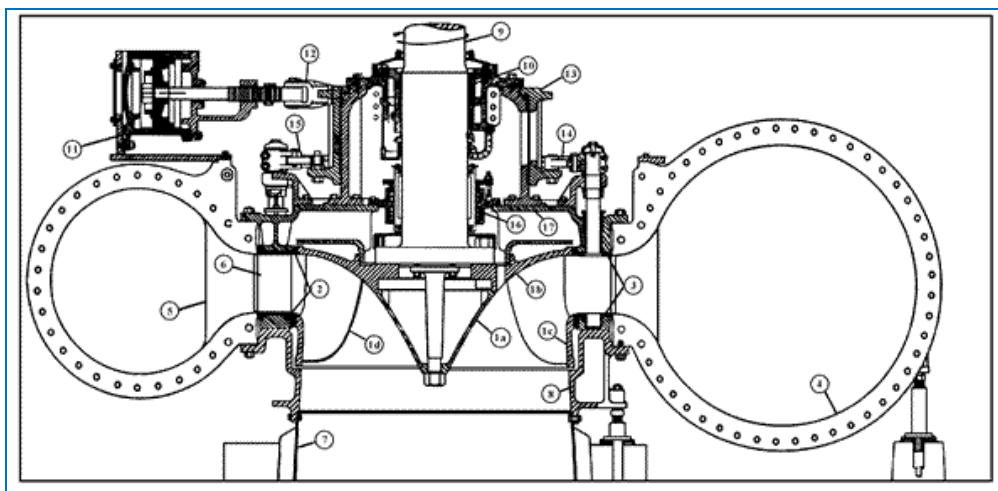
Výkon na hřídeli vodního motoru je dán okamžitým průtokem, čistým spádem na vodním motoru a účinností vodního motoru při daném průtoku:

Výkon P [watty] = $0,0981 \times \text{průtok } Q$ [litr./sec.] $\times$ spád H [metry] $\times$ účinnost [%]

Spád " H " dosazený do výpočtu je spád čistý. Je to původní rozdíl výšky hladin na úseku potoka, snížený o pokles hladiny v náhonu, na česlích, v potrubí a v odpadním kanále. Vzniká nezbytnými ztrátami, nutnými k tomu, aby voda do motoru proudila. Při zastaveném stroji se hladina ustálí výše. Proto s tímto rozdílem musíme počítat.

Průtok " Q " dosazený do výpočtu je skutečný průtok přes vodní motor - po odečtení předepsaného sanačního průtoku (pokud je stanoven) a všech nežádoucích prosaků.

Achilovou patou celého výpočtu je i to, že účinnost vodního motoru není při různých průtocích stejná, ale se snižujícím průtokem (plněním) klesá.



Obrázek Řez Francisovou turbínou

3. Využití difference potenciálů v gravitačním poli hydraulickým převodem

3.1. Příklady použití – přečerpávací elektrárny

Hydraulický převod znamená, že se v gravitačním poli pohybuje kapalina, nejčastěji voda, která má horní hladinu – vyšší gravitační potenciál a dolní hladinu – nižší gravitační potenciál. Kapalina se pak pohybuje mezi těmito hladinami, při pohybu kapaliny nahoru se energie dodává a při pohybu kapaliny dolů se energie odebírá.

Aplikací je přečerpávací vodní elektrárna. Přečerpávací vodní elektrárna je typ vodní elektrárny, která si energii v podobě naakumulované vody dokáže sama uložit. Akumulace vody provádí v době, kdy je energie přebytek, tedy mimo energetickou špičku. Akumulovaná energie v podobě nashromážděné vody se pak v době špičky využívá k výrobě elektrické energie.

V přímořských a ostrovních státech je možné stavět i mořské přečerpávací elektrárny. Ty vzniknou postavením umělé vodní nádrže nad hladinou moře.

3.1.1. Realizované přečerpávací elektrárny v ČR

1. Vodní dílo Dalešice. Horní nádrž Dalešice a dolní nádrž Mohelno leží na řece Jihlavě 30km od Třebíče, je též zásobárna technologické vody pro JE Dukovany. Výkon elektrárny je 480MW. Jsou použity čtyři Francisovy turbíny.

2. Dlouhé stráně. Výkon elektrárny 650MW. Horní nádrž pojme 2 719 750 m³ vody. Jsou použity dvě reverzní Francisovy turbíny FR100, průměr oběžného kola 4540 mm, které tento obsah „zpracují“ za 6 hodin. Dva přivaděče vody k turbínám mají průměr 3,5m a délku 1,5 km. Turbínový spád 534,3 m. Předpokládaná roční výroba energie 997,8GWh.

3. Vodní elektrárna Štěchovice. Dolní nádrž je součástí vltavské kaskády, horní nádrž je vybudovaná na kopci Homole. Výkon elektrárny 45MW.

4. Vodní elektrárna Černé jezero na Šumavě. Od roku 1960 je její provoz výrazně omezen.

3.1.2. Největší realizovaná přečerpávací elektrárna v Německu

Jde o přečerpávací elektrárnu Markersbach. Výkon elektrárny je 1050MW, vrchní nádrž pojme 6 500 000 m³ vody. Rozdíl výšek v nádržích je 285m. Má šest soustrojí se synchronními generátory. Jedno soustrojí má výkon 175MW při maximálním průtoku 70m³/s. Jedním napuštěním nádrže dokáže elektrárna uložit 4018 MWh energie.

3.1.3. Hlubinná přečerpávací elektrárna Lipno – Dunaj

Není zatím realizovaná, jde o příležitost k vybudování nadnárodní přečerpávací elektrárny o výkonu až 1000MW. Dolní i horní nádrže jsou vybudované. Vodní dílo Lipno na Vltavě má převýšení oproti vodnímu dílu Aschach na Dunaji je 442 až 456 m. Lipno má objem 306 000 000 m³ vody. Půdorysná vzdálenost obou nádrží je jen 27 km. Navrhují se čtyři reverzibilní turbosoustrojí o celkovém výkonu 4x250MW s jedním svislým přiváděčem.

3.2. Výhody a nevýhody, účinnost

Výhody přečerpávacích elektráren jsou ty, že dokáží rychle reagovat na výkyvy ve spotřebě energie, jsou jednoduché na obsluhu a mají dlouhou životnost (až 100 let). Nevýhodou je náročnost stavby a možnost stavby jen ve vhodných terénních podmínkách.

Účinnost celeho zařízení přečerpávacích elektráren, nebývá ve veřejných dokumentech udáváná, avšak je z těchto údajů spočítatelná, a to vydělením dodané elektrické energie pro naplnění jednotkového objemu horní nádrže a energie získané při vyprázdnění jednotkového objemu horní nádrže. Ztráty vznikají vypařováním vody z horní nádrže η_1 , ztrátami při průchodu vody potrubím η_2 a samotnými účinnostmi turbosoustrojí η_3 . Odhadem tedy spočítáme:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2^2 \cdot \eta_3^2 = 0,9 \cdot 0,95^2 \cdot 0,85^2 = 0,587 = \text{asi } 60\%.$$

A to jde spíše o horní hranici, neboť účinnost turbosoustrojí se mění a zde je započítána vyšší účinnost turbosoustrojí.

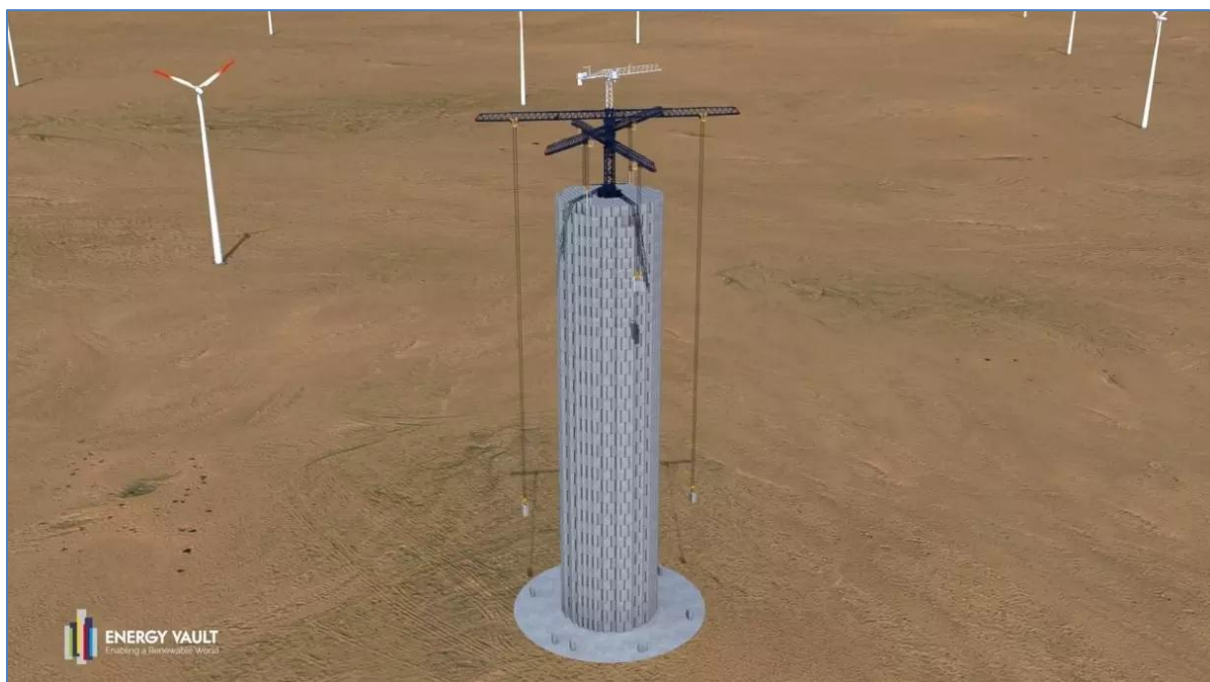
4. Využití difference potenciálů v gravitačním poli mechanickým převodem

4.1. Příklady použití

4.1.1. Švýcarský návrh

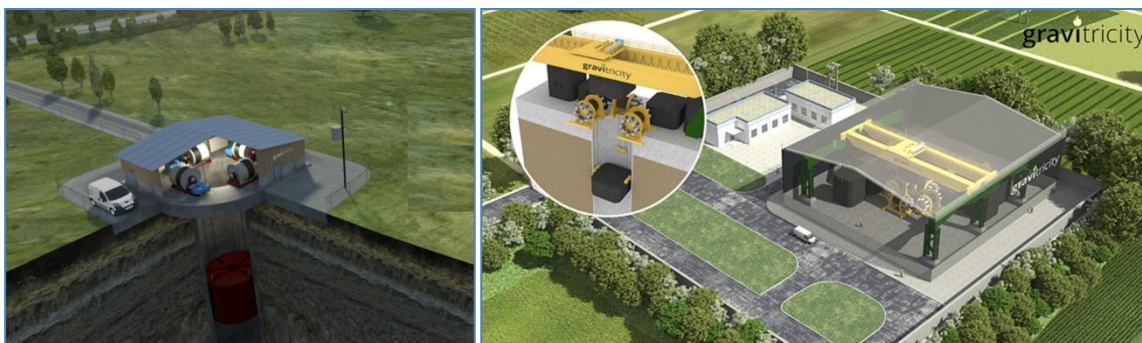
Mechanický mód znamená, že se v gravitačním poli pohybuje pevné břemeno, které má horní polohu – vyšší gravitační potenciál a dolní polohu – nižší gravitační potenciál. Břemeno se pak pohybuje mezi těmito dvěma polohami, při pohybu břemene nahoru se energie dodává a při pohybu břemene dolů se energie odebírá.

Jako příklad aplikace může sloužit konstrukce věže z betonu, jak popisuje článek z Novinek.cz ze dne 30.8.2019: Místo baterií obří věže z betonu. Švýcarský firma našla nový způsob ukládání elektřiny, viz <https://www.novinky.cz/ekonomika/clanek/misto-baterii-obri-veze-z-betonu-svycarska-firma-nasla-novy-zpusob-ukladani-elektřiny-40294928> .



4.1.2. Skotsko-český návrh

Jde o využití zakonzervovaného dolu Staříč, kde by TÚ-VŠB a skotská společnost Gravitricity [Home - Gravitricity renewable energy storage](#) chtěla postavit zařízení na gravitační akumulaci energie mechanickým módem (převodem). Tým společnosti Gravitricity navštívil zakonzervovaný důl Staříč v Moravskoslezském kraji s cílem prozkoumat jeho použitelnost pro první gravitační úložiště energie.



Pokusné zařízení společnosti Gravitricity již stojí od loňského léta v Edinburghu. Pokusné zařízení má výkon 250 kilowattů a může fungovat pouhých 11 sekund. Ovšem pokud by byla k dispozici šachta o délce 800 metrů s možností umístění 24 závaží o váze 12 tisíc tun, dokázalo by takové zařízení vyrobit energii pro 63 tisíc domácností po celou hodinu.

Podle článku [Ostravsko je blíž jedinečnému projektu gravitačního úložiště energie. Díky evropské podpoře | Obnovitelně \(obnovitelne.cz\)](#) by ostravský projekt by dokázal nabídnout kapacitu úložiště 4–8 megawattů a dráhu kolem tisíce metrů. Zařízení s jedním závažím by poskytlo kapacitu až 2 MWh, do budoucna lze uvažovat při více závažích až o 25 MWh.

4.2. Návrh a výpočet zařízení s mechanickým převodem

Popis: Na buben je navíjen řetěz anebo lano, na jehož druhém konci je umístěno břemeno, které sjíždí nahoru a dolů podle potřeby, zda je třeba elektřinu vyrábět či akumulovat. Na buben je umístěna převodovka s vysokým převodem takovým, aby mohl pracovat motorgenerátor.

Příklad: Průměr břemena 2m, plocha $A = \pi d^2 / 4 = 3,14 m^2$

Břemeno: materiál litina: délka 10m, hustota $7200 kg/m^3$

Hmotnost břemena: $m = 7200 \cdot 10 \cdot 3,14 = 226080 kg$

Délka zdvihu 500m

Akumulovaná energie:

$$E_{pbřemena} = mgh = 226080 \cdot 10 \cdot 500 = 1125 MJ = 312,5 kWh$$

Výpočet převodu: Požadované minimální otáčky pro elektrický generátor: 750 ot/min. Chceme generovat 312,5 kWh x 2 za 8 hod. tj. 1000m za 8 hod. použijeme malý průměr bubnu 20cm obvod je $3,14 \cdot 0,2 = 0,628 m$, čili pro 1000m se hřídel otočí $15924x$ za 8 hodin a za 1 hodinu $1990,5x$ za 1 minutu $33,175x$, to znamená převod $1000 / 33,175 = 30,14$.

Což je minimální a dosti velký převod. Nevýhoda je, že se v tomto převodu ztratí dost energie třením, a to při obou pohybech břemena.

4.3. Možnosti integrace uvedeného způsobu do stávajících objektů s diferencí gravitačního potenciálu směrem dolů – starých hlubinných dolech

Zde budeme zkoumat možnost využití rozdílu uvedeného potenciálu v existujících vytěžených hlubinných dolech. Připadají v úvahu dvě řešení z předešlých kapitol.

Příklad: Průměr trubky 2m, vnitřní plocha $A=\pi d^2/4=3,14m^2$

Břemeno: materiál litina: délka 10m, hustota $7200kg/m^3$

Hmotnost břemena: $m=7200 \cdot 10 \cdot 3,14=226080kg$

Délka trubky 500m

Akumulovaná energie:

$$E_{pbřemena} = mgh = 225000 \cdot 10 \cdot 500 = 1125MJ = 312,5kWh$$

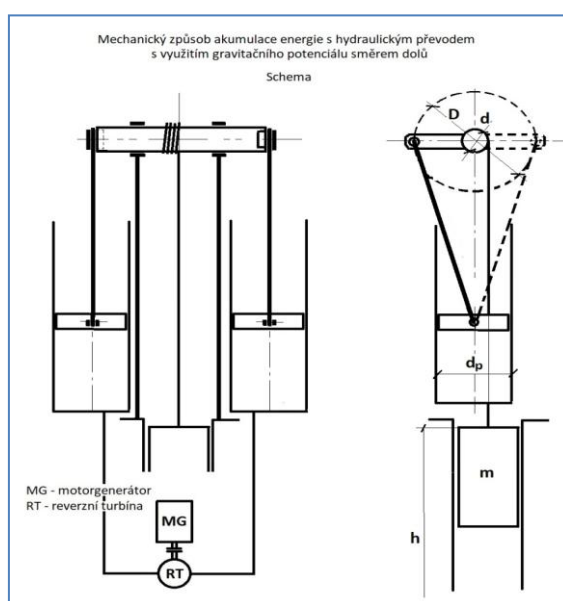
Účinnost včetně výše vypočítaného převodu cca 50%.

Je nutné si uvědomit, že je možné rozměry, tj průměr a hloubka dolu přizpůsobit rozměrům konkrétního dolu a ve velké většině půjde o rozměry větší, takže i akumulovaná energie by byla větší.

5. Nové návrhy na využití difference gravitačního potenciálu hydraulickým převodem

5.1. Mechanicko-hydraulické zařízení

Popis: Na buben je navíjen řetěz anebo lano, na jehož druhém konci je umístěno břemeno, které sjíždí nahoru a dolů podle potřeby, zda je třeba elektřinu vyrábět či akumulovat. Na rumpál je umístěn klikový mechanismus s písty a válci (se dvěma nebo čtyřmi). Píst ve válci stlačuje kapalinu, která je pod tlakem vedená k turbíně a poté k protiběžnému válci, který se pokybuje směrem nahoru a vodu anebo jinou vhodnou kapalinu nasává.



Příklad: Průměr trubky 2m, vnitřní plocha $A = \pi d^2/4 = 3,14m^2$

Břemeno: materiál litina: délka 10m, hustota $7200kg/m^3$

Hmotnost břemena: $m = 7200 \cdot 10 \cdot 3,14 = 226080kg$

Délka trubky varianta 500m

Akumulovaná energie:

$$E_{pbřemena} = mgh = 226080 \cdot 10 \cdot 500 = 1130400000J = 1130400kJ = 314,0kWh$$

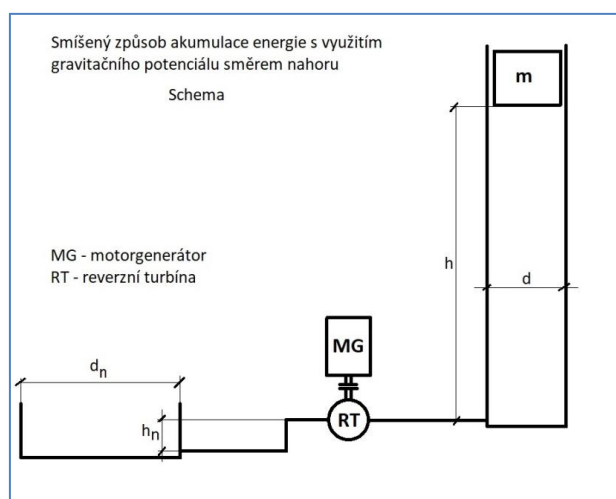
Ztráty vznikají při průchodu vody potrubím η_2 , samotnými účinnostmi turbosoustrojí η_3 a dále je klikovým mechanismem η_1 . Účinnost klikového mechanismu se mění podle toho, jestli mechanismus v poloze mrtvé anebo má maximální páku. Toto lze zlepšit dosazením dalších dvou válců do konstrukce, čímž se konstrukce stane maximálně složitá. Odhadem tedy zpočítáme výhodnější účinnost pro čtyři válce: $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2^2 \cdot \eta_3^2 = 0,65 \cdot 0,95^2 \cdot 0,85^2 = \text{asi } 50\%$.

Výhody jsou ty, že dokáží rychle reagovat na výkyvy ve spotřebě energie, jsou jednoduché na obsluhu.

5.2. Hydraulické zařízení s odděleným turbosoustrojím

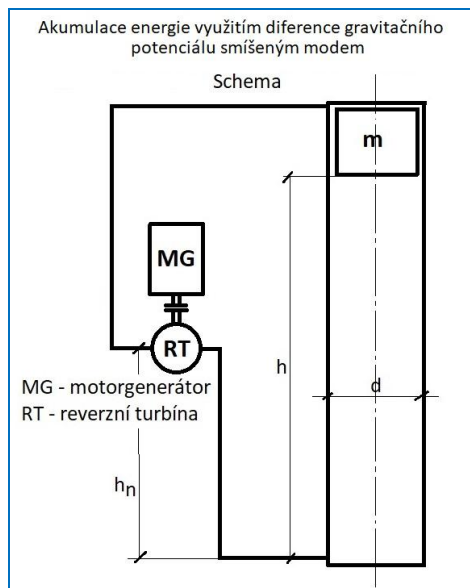
5.2.1. Hydraulické zařízení s odděleným turbosoustrojím s otevřeným hydraulickým okruhem

Hydraulické zařízení s odděleným turbosoustrojím s otevřeným okruhem znamená, že se v gravitačním poli pohybuje pevné břemeno společně s kapalinou. Břemeno má horní polohu – vyšší gravitační potenciál a dolní polohu – nižší gravitační potenciál. Břemeno se pak pohybuje mezi těmito dvěma polohami, při pohybu břemene nahoru se energie dodává a při pohybu břemene dolů se energie odebírá. Kapalina je určena jako pomoc při převodu potenciální energie na elektrickou, ale její těžiště se může pohybovat nahoru a dolů, jako je to u břemena. Kapalina může mít v tomto zařízení dvě funkce.



5.2.2. Hydraulické zařízení s odděleným turbosoustrojím s uzavřeným hydraulickým okruhem

Hydraulické zařízení s odděleným turbosoustrojím s uzavřeným okruhem znamená, že se v gravitačním poli pohybuje pevné břemeno bez využití gravitačního potenciálu kapaliny. Břemeno má horní polohu – vyšší gravitační potenciál a dolní polohu – nižší gravitační potenciál. Břemeno se pak pohybuje mezi těmito dvěma polohami, při pohybu břemene nahoru se energie dodává a při pohybu břemene dolů se energie odebírá. Kapalina je nevyužita jako pomoc při převodu potenciální energie na elektrickou.



5.2.3. Výpočet

Příklad: Průměr trubky 2m, vnitřní plocha $A = \pi d^2/4 = 3,14 m^2$

Břemeno: materiál litina: délka 10m, hustota $7200 kg/m^3$

Hmotnost břemena: $m = 7200 \cdot 10 \cdot 3,14 = 226080 kg$

Délka trubky varianta A. 100m, varianta B 500m

Hmotnost vody: A $m = 1000 \cdot 90 \cdot 3,14 = 28260 kg$

Hydrostatický tlak:

A: $p = h \rho g = 100 \cdot 1000 \cdot 10 = 1 MPa = 10 bar$

B: $p = h \rho g = 500 \cdot 1000 \cdot 10 = 5 MPa = 50 bar$

Tlak od břemena:

$p_b = 225000 \cdot 10 / 3,14 = 0,71 MPa = 7,1 bar$

Akumulovaná energie:

A: $E_{pbřemena} = mgh = 225000 \cdot 10 \cdot 100 = 225 MJ = 62,5 kWh$

$E_{pvody} = 28260 \cdot 10 \cdot 45 = 12,71 MJ = 3,53 kWh$

B: $E_{pbřemena} = mgh = 225000 \cdot 10 \cdot 500 = 1125 MJ = 312,5 kWh$

Ztráty vznikají třením těsnění o trubku η_1 , ztrátami při průchodu vody potrubím η_2 a samotnými účinnostmi turbosoustrojí η_3 .

Odhadem tedy spočítáme: $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2^2 \cdot \eta_3^2 = 0,9 \cdot 0,982 \cdot 0,852 = 0,598 = \text{asi } 60\%$.

Výpočet teoretické tloušťky stěny trubky pro součet hydrostatického tlaku a tlaku od břemena, dovolené napětí bereme odhadem 150MPa

A: $p = h \rho g = 10 + 7,1 = 17,1 bar$

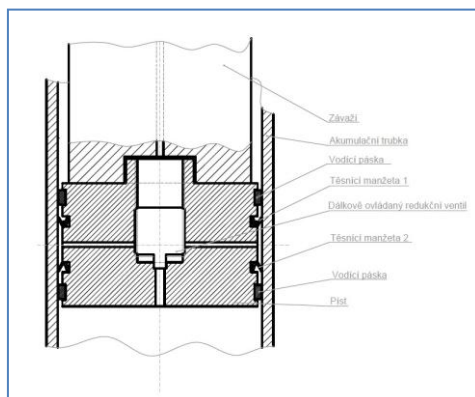
$$s = \frac{p \cdot D}{2f + p} = \frac{1,71 \cdot 10^6 \cdot 2}{2 \cdot 150 \cdot 10^6 + 1,71 \cdot 10^6} = 1,2 \text{ mm}$$

$$B: p = h \rho g = 50 + 7,1 = 57,1 \text{ bar } g$$

$$s = \frac{p \cdot D}{2f + p} = \frac{5,71 \cdot 10^6 \cdot 2}{2 \cdot 150 \cdot 10^6 + 5,71 \cdot 10^6} = 37,4 \text{ mm}$$

5.2.4. Popis řešení těsnění mezi akumulací trubkou a pístem

V akumulací trubce se pohybuje píst, který je zatížen závažím. Výpočet hmotnosti závaží již byl v tomto textu proveden. Nahoře a dole jsou vodící pásky, které zabraňují vzpříčení pístu. Pod pístem je tlak větší než nad pístem. Tento rozdíl utěsňují těsnicí manžety, které mají tvar písmene V a tak čím působí větší tlak, tím víc jsou přimačknuty k akumulací trubce. Proti tomuto tlaku působí protitlak, který je vždy o něco menší a má za úkol snížit tření mezi manžetami a pístem. Tento tlak reguluje dálkově ovládaný redukční ventil. Dálkově ovládaný redukční ventil je naznačen pouze schematicky, jelikož tato studie nejde do takových podrobností, aby určila jeho konstrukci. Tento ventil musí být zkonstruován tak, aby umožnit i odvodu a případný volný průtok vody. Horní těsnicí manžeta je tužší, protože z horní strany působí menší tlak anebo nepůsobí žádný. Tuhost horní těsnicí manžety může být regulována např. vložením různě velikého o-kroužku do věčka manžety.



5.2.5. Výpočet přítlaku těsnění a třecí síly

Příklad: Průměr trubky 2m, vnitřní plocha $A = \pi d^2 / 4 = 3,14 \text{ m}^2$

Břemeno: materiál litina: délka 10m, hustota 7200 kg/m^3

Hmotnost břemena: $m = 7200 \cdot 10 \cdot 3,14 = 226080 \text{ kg}$

Tlak od břemena:

$$p_b = 225000 \cdot 10 / 3,14 = 0,71 \text{ MPa} = 7,1 \text{ bar } g$$

Přítlačná plocha: výška 30mm , délka 3,14.2=6,28m $A = 6,28 \cdot 0,03 = 0,188\text{m}^2$

Přítlačná síla s tlakem od břemena $F = 0,71 \cdot 10^6 \cdot 0,188 = 133,5\text{ kN}$

Třecí síla bez mazání olejem: $T = F \cdot f = 133,5 \cdot 0,2 = 26,7\text{ kN}$

Což odpovídá váze 2670kg,čili, jako kdyby bylo závaží o tuto hodnotu menší při vydávání energie a o tuto hodnotu větší při přijímání energie

Třecí síla s mazáním olejem: $T = F \cdot f = 133,5 \cdot 0,05 = 6,7\text{ kN}$

Což odpovídá váze 670kg,čili, jako kdyby bylo závaží o tuto hodnotu menší při vydávání energie a o tuto hodnotu větší při přijímání energie

Ztracená energie třením bez mazání:

A: pro zdvih 100m

$$E_{p\text{ztrata}} = mgh = 2.2670 \cdot 10 \cdot 100 = 1,34\text{ MJ}$$

Celková akumulovaná energie je 255MJ, účinnost potom je $\eta_1 = 97,5\%$

B: pro zdvih 500m

$$E_{p\text{břemena}} = mgh = 2.2670 \cdot 10 \cdot 500 = 6,7\text{ MJ}$$

Celková akumulovaná energie je 1125MJ, účinnost potom je $\eta_1 = 97,6\%$

Ztracená energie třením s mazáním:

A: pro zdvih 100m

$$E_{p\text{ztrata}} = mgh = 2.670 \cdot 10 \cdot 100 = 5,34\text{ MJ}$$

Celková akumulovaná energie je 255MJ, účinnost potom je $\eta_1 = 99,5\%$

B: pro zdvih 500m

$$E_{p\text{břemena}} = mgh = 2.670 \cdot 10 \cdot 500 = 26,7\text{ MJ}$$

Celková akumulovaná energie je 1125MJ, účinnost potom je $\eta_1 = 99,4\%$

5.2.6. Výhody a nevýhody, účinnost

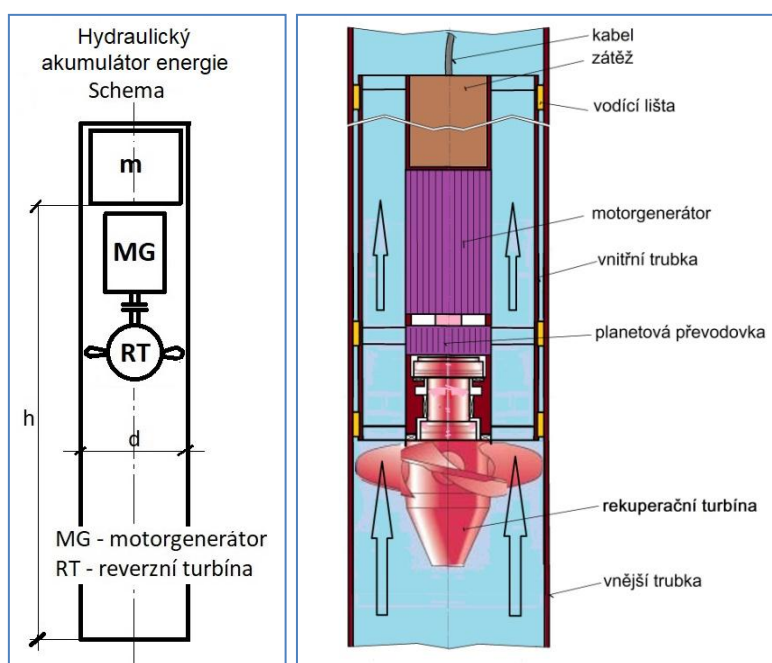
Ztráty vznikají při průchodu vody potrubím η_2 , samotnými účinnostmi turbosoustrojí η_3 a dále špatným těsněním mezi trubkou a závažím η_1 . Odhadem tedy zpočítáme výhodnější účinnost pro čtyři válce: $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2^2 \cdot \eta_3^2 = 0,99 \cdot 0,95^2 \cdot 0,85^2 = \text{asi } 70\%$.

Výhody jsou ty, že zařízení dokáže rychle reagovat na výkyvy ve spotřebě energie, jsou jednoduché na obsluhu.

5.3. Hydraulický akumulátor s integrovaným turbosoustrojím

5.3.1. Popis

V gravitačním poli pohybuje pevné břemeno společně s reversní turbinou. Břemeno má horní polohu – vyšší gravitační potenciál a dolní polohu – nižší gravitační potenciál. Břemeno se pak pohybuje mezi těmito dvěma polohami, při vynuceném pohybu břemene nahoru turbina energii spotřebovává a způsobuje pohyb nahoru a při pohybu břemene dolů turbina energii dodává. Reversní turbina a motorgenerátor jsou tak zároveň i břemenem (závažím).



5.3.2. Výpočet

Příklad A: Průměr trubky 1600 mm, vnitřní plocha $A = \pi d^2 / 4 = 2 \text{ m}^2$

Břemeno se skládá z: turbíny, generátoru, kabelu a závaží

Závaží materiál litina: délka 10m, hustota 7200 kg/m^3

Hmotnost břemena: $m = 7200 \cdot 10 \cdot 2 = 144000 \text{ kg}$

Délka trubky 100m,

Objem vody: $V = 90,3,14 = 283 \text{ m}^3$

Hmotnost vody: $m = 1000 \cdot 90,3,14 = 28260 \text{ kg}$

Hydrostatický tlak: $p = h \rho g = 100 \cdot 1000 \cdot 10 = 1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$

Tlak od břemena: $p_b = 144000 \cdot 10 / 2 = 0,72 \text{ MPa} = 7,2 \text{ bar}$

Akumulovaná energie:

$E_{p\text{břemena}} = mgh = 150000 \cdot 10 \cdot 100 = 150 \text{ MJ} = 41,7 \text{ kWh}$

Ztráty vznikají samotnými účinnostmi turbosoustrojí η_3 .

Odhadem tedy spočítáme: $\eta = \text{asi } 85\%$.

Výpočet teoretické tloušťky stěny trubky pro součet hydrostatického tlaku a tlaku od břemena, dovolené napětí bereme odhadem 150MPa

$$p = h\rho g = 10 + 7,1 = 17,1 \text{ bar g}$$

$$s = \frac{p \cdot D}{2f + p} = \frac{1,71 \cdot 10^6 \cdot 2}{2 \cdot 150 \cdot 10^6 + 1,71 \cdot 10^6} = 1,2 \text{ mm}$$

Výkon turbíny 0,1MW, to znamená vyprázdnění za 0,65hod.

Rychlost průtoku turbinou: $283/0,65 = 435,4 \text{ m}^3/\text{hod.} = 0,121 \text{ m}^3/\text{s} = 121,0 \text{ l/s}$

Průměrná rychlost proudění na turbínu cca 10m/s

Příklad B: Průměr trubky 2m, vnitřní plocha $A = \pi d^2/4 = 3,14 \text{ m}^2$

Břemeno: materiál litina: délka 10m, hustota 7200 kg/m^3

Hmotnost břemena: $m = 7200 \cdot 10 \cdot 3,14 = 226080 \text{ kg}$

Délka trubky 500m

Objem vody: $V = 490 \cdot 3,14 = 1538 \text{ m}^3$

Hmotnost vody: $m = 1000 \cdot 490 \cdot 3,14 = 1538600 \text{ kg}$

Hydrostatický tlak: $p = h\rho g = 500 \cdot 1000 \cdot 10 = 5 \text{ MPa} = 50 \text{ bar g}$

Tlak od břemena: $p_b = 225000 \cdot 10/3,14 = 0,71 \text{ MPa} = 7,1 \text{ bar g}$

Akumulovaná energie:

$$E_{p\text{břemena}} = mgh = 150000 \cdot 10 \cdot 500 = 1125 \text{ MJ} = 312,5 \text{ kWh}$$

Ztráty vznikají třením těsnění o trubku η_1 , ztrátami při průchodu vody potrubím η_2 a samotnými účinnostmi turbosoustrojí η_3 .

Odhadem tedy spočítáme: $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2^2 \cdot \eta_3^2 = 0,9 \cdot 0,98^2 \cdot 0,85^2 = 0,598 = \text{asi } 60\%$.

Výpočet teoretické tloušťky stěny trubky pro součet hydrostatického tlaku a tlaku od břemena, dovolené napětí bereme odhadem 150MPa

$$p = h\rho g = 50 + 7,1 = 57,1 \text{ bar g}$$

$$s = \frac{p \cdot D}{2f + p} = \frac{5,71 \cdot 10^6 \cdot 2}{2 \cdot 150 \cdot 10^6 + 5,71 \cdot 10^6} = 37,4 \text{ mm}$$

Výkon turbíny 0,3MW, to znamená vyprázdnění za 5,1hod.

Rychlost průtoku turbinou: $1538/5,1 = 301,5 \text{ m}^3/\text{hod.} = 0,084 \text{ m}^3/\text{s} = 84,0 \text{ l/s}$

Průměr příváděcí trubky: Průměrná rychlost proudění cca 10m/s

$$d = \sqrt{\frac{4Q_{obj}}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,084}{\pi \cdot 10}} = 0,104 \text{ m, bude tedy DN150}$$

5.3.3. Výhody a nevýhody, účinnost

Ztráty zde nevznikají při průchodu vody potrubím. Vznikají tak jen samotnými účinnostmi turbosoustrojí η_3 a dále špatným těsněním a třením mezi trubkou a závažím η_1 . Odhadem tedy zpočítáme výhodnější účinnost pro čtyři válce: $\eta = \eta_1 \cdot \eta_3^2 = 0,99 \cdot 0,85^2 = \text{asi } 72\%$.

Výhody jsou ty, že dokáží rychle reagovat na výkyvy ve spotřebě energie, jsou jednoduché na obsluhu, voda neproudí potrubími a je využita hmotnost reverzní turbíny a motorgenerátoru.

5.4. Možnosti integrace uvedených způsobů do stávajících objektů s diferencí gravitačního potenciálu směrem nahoru

5.4.1. Využití u větrných elektráren - turbín

Větrná elektrárna se skládá z ocelového tubusu, který může mít spodní železobetonovou část. Na jeho vrcholu je umístěna otočná gondola, v níž je umístěno ložisko rotoru, kterým prochází hřídel. Na jednom konci hřídele jsou umístěny listy, které musí být u větších turbín natáčeny. Při rychlosti větru zhruba mezi 10 až 14 m/s (36 až 50 km/h) dosáhne výkon turbíny maxima a jeho zvyšování nepokračuje. Většinou u rychlosti 20 až 25 m/s (75 až 90 km/h) se turbína vypíná a listy i gondola se nastaví do polohy, v níž je riziko poškození co nejmenší.

Koeficient ročního využití výkonu, se pohybuje mezi 15 až 50%, ale velmi silně závisí na místních geografických podmínkách. V českých podmínkách se k pohybuje v mezích 0,1–0,2, maximálně 0,3.

Lokalita	Počet turbín	Celkový instalovaný výkon [MW]	Celkový instalovaný výkon na jednu turbínu [MW]	Roční výroba elektřiny v roce 2011 (GWh)	Průměrná denní výroba elektřiny jedné turbíny (kWh)
Kryštofovy Hamry	21	42	2	99,1	12,3
Horní Loděnice	9	18	2	33,7	10,2
Jindřichovice	4	9,2	2,3	14,7	10,1
Nová Ves v Horách II. – Str. Vrch	4	8	2	21,0	14,4
Krásná	4	8	2	16,4	11,2
Rusová	3	7,5	2,5	12,9	11,8
Nové Město – Vrch Tří pánů	3	6	2	15,2	13,4
Pchery	2	6	3	6,6	9,4

Uvedené údaje i obrázek jsou z Wikipedie



Je tedy možné toto akumulční zařízení integrovat přímo do sloupu turbíny. A brát si energii z takového zařízení, kdy to bude potřeba. Zopakujme si kapitolu 5.1., variantu A:

Příklad: Průměr trubky 2m,

Břemeno: materiál litina: délka 10m, hustota 7200kg/m^3

Délka trubky varianta A 100m,

Akumulovaná energie:

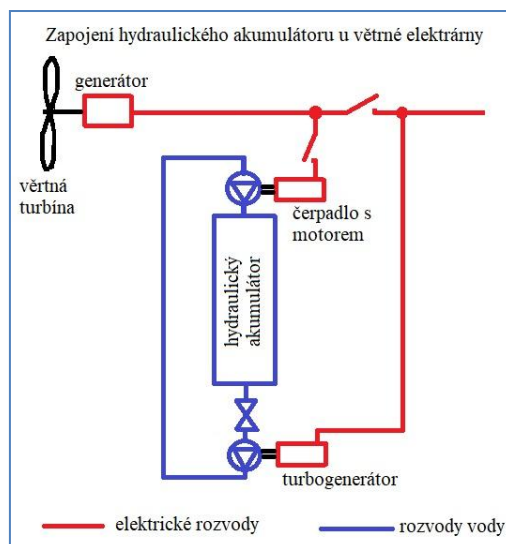
$$AE_{p\text{břemena}} = mgh = 225000 \cdot 10 \cdot 100 = 225\text{MJ} = 62,5\text{kWh}$$

$$E_{pvody} = 28260 \cdot 10 \cdot 45 = 12,71\text{MJ} = 3,53\text{kWh}$$

Účinnost cca 70%.

V případě umístění turbíny na suchu asi lépe dopadne uzavřený okruh vody, avšak umístění v šelfu může mít i variantu s otevřeným okruhem. Stálo by i za úvahu, zda by nebylo lepší nepoužívat reverzibilní vodní turbínu s motorgenerátorem, ale použít zvlášť motor čerpadlo a turbínu s generátorem.

Z uvedených podkladů a výpočtu vyplývá, že by navržené řešení bylo schopné akumulovat energii, kterou větrná turbína vyrobí v našich podmínkách za cca 6 dní z hlediska foukání větru průměrných.



Určení výkonu turbogenerátoru a motorčerpadla: Výkon můžeme volit různě, záleží na tom, za jak dlouho chceme nahromadit energii vyčerpat a jaký maximální momentální výkon potřebujeme. Zde se musí vzít i v úvahu instalovaný výkon větrné turbíny. V případě, že je zde možnost 100% využití instalovaného výkonu a všechna energie půjde do akumulátoru, pak je nutné, aby motorčerpadlo mělo stejný výkon jako větrná turbína. Dále je nutno mít na paměti, že v případě takového výkonu by se akumulátor nabil velmi rychle a v takovém případě by stejně měla být ponechána možnost dávat el. Výkon z větrné turbíny přímo do sítě, takže je logické mít výkon motorčerpadla nižší asi pro nabití akumulátoru za 1 hodinu při maximálním výkonu motorčerpadla. Výkon turbogenerátoru může být o předpokládanou účinnost nižší.

5.4.2. Využití starých průmyslových komínů či výškových budov

Je v principu též možné toto akumulační zařízení integrovat přímo do starého průmyslového komínu. A to nejlépe v případě, že v okolí je nějaká fotovoltaická solární elektrárna. Potom si můžeme brát z takového zařízení energii, kdy to bude potřeba.

Zopakujme si předchozí výpočty, variantu A:

Příklad: Průměr trubky 2m,

Břemeno: materiál litina: délka 10m, hustota 7200kg/m^3

Délka trubky varianta A 100m,

Akumulovaná energie:

$$AE_{\text{přeměna}} = mgh = 225000 \cdot 10 \cdot 100 = 225\text{MJ} = 62,5\text{kWh}$$

$$E_{\text{pvody}} = 28260 \cdot 10 \cdot 45 = 12,71\text{MJ} = 3,53\text{kWh}$$

Účinnost cca 70%.

V případě umístění turbíny na suchu asi lépe dopadne uzavřený okruh vody, avšak umístění v šelfu může mít i variantu s otevřeným okruhem. Stálo by i za úvahu, zda by

nebylo lepší nepoužívat reverzibilní vodní turbínu s motorgenerátorem, ale použít zvlášť motor čerpadlo a turbínu s generátorem.

Tento princip lze využít i v případě výškových budov v případě rekonstrukce či novostavby anebo koneckonců může trubky stát i sólo.

Určení výkonu turbogenerátoru a motorčerpadla: Výkon můžeme volik různě, záleží na tom, za jak dlouho chceme nahromaděnoiu energii vyčerpat a jaký maximální momentální výkon potřebujeme. Výkon turbogenerátoru může být o předpokládanou účinnost nižší.

5.5. Možnosti integrace uvedených způsobů do stávajících objektů s diferencí gravitačního potenciálu směrem dolů – starých hlubinných dolech

Zde budeme zkoumat možnost využití rozdílu uvedeného potenciálu v existujících vytěžených hlubinných dolech. Připadají v úvahu dvě řešení:

- A. Uzávřený vodní okruh s trubicí s vodou v šachtě a strojovnou nahoře.
- B. Otevřený vodní okruh s trubicí s vodou v šachtě a strojovnou dole, dole však musí být ve štolách prostor pro dolní vodní nádrž.

Zde si musíme zopakovat variantu B. z kapitoly 5.1.

Průměr trubky 2m, vnitřní plocha $A=\pi d^2/4=3,14m^2$

Břemeno: materiál litina: délka 10m, hustota $7200kg/m^3$

Hmotnost břemena: $m=7200 \cdot 10 \cdot 3,14=226080kg$

Délka trubky varianta B 500m

Tlak vody:

$$p=h\rho g=500 \cdot 1000 \cdot 10=5MPa=50bar$$

Tlak od břemena:

$$p_b=225000 \cdot 10/3,14=0,71MPa=7,1bar$$

Akumulovaná energie:

$$B:E_{pbřemena}=mgh=225000 \cdot 10 \cdot 500=1125MJ=312,5kWh$$

Účinnost cca 70%.

Je nutné si uvědomit, že je možné rozměry, tj průměr a hloubka dolu přizpůsobit rozměrům konkrétního dolu a ve velké většině půjde o rozměry větší, takže i akumulovaná enertgie by byla větší.

Určení výkonu turbogenerátoru a motorčerpadla: Výkon můžeme volik různě, záleží na tom, za jak dlouho chceme nahromaděnoiu energii vyčerpat a jaký maximální momentální výkon potřebujeme. Výkon turbogenerátoru může být o předpokládanou účinnost nižší.

6. Závěr – shrnutí

Je jasné, že teprve kapitola 5. Nové návrhy na využití difference gravitačního potenciálu hydraulickým převodem nám dává další možnosti pro rozvoj systému akumulace energie v gravitačním poli s co nejnižšími ztrátami. A teprve kapitola 5.4. se zabývá přímo možnostmi integrace uvedených zařízení do stávajících objektů, což značně snižuje investiční náklady. Aby bylo s čím srovnávat, jsou zde i uvedena stávající anebo plánovaná zařízení v této oblasti s tím, že jsou uvedeny výhody a nevýhody zřetelného řešení. Úplný úvod se zabývá zde využívanými fyzikálními veličinami.

7. Použitá literatura a literatura pro další studium:

1. Colthorpe Andy: 21 způsobů, jak skladovat energii -1. Část, <https://oze.TZB-info.cz>, 2017
2. Colthorpe Andy: 21 způsobů, jak skladovat energii -2. Část, <https://oze.TZB-info.cz>, 2017
3. Fuchs P.: Využití funkční schopnost (spolehlivosti) v funkční praxi, Všeobecná univerzita, Liberec
4. Hromada Š., Belovič V.: Výsledky výzkumu možností budování přečerpávacích vodních elektráren v ČSSR, VÚE Bratislava, CzechIndustry 4/2014
5. Kolektiv: Katalog těsnění, Hennlich s.r.o., 2018
6. Machát P.: Vodní turbíny a jejich využití, bakalářská práce VUT, fakulta strojního inženýrství, Brno, 2008
7. Novotný F.: Technický šperk v srdci Jeseníků, Neviditelnypes.zpravy.cz, 2004
8. Novotný R.: Spolehlivost a diagnostika. VUT FEI Brno 2001, 159 s.: Medzinárodný elektrovšeobecný slovník - Kapitola 191: Spoľahlivosť a akosť služieb
9. neuvedený autor: Přečerpávací vodní elektrárny, CzechIndustry 4/2014
10. Obdržálek J.: Fyzikální veličiny a jednotky SI - 1. díl, Albra Úvaly, 2021
11. Obdržálek J.: Fyzikální veličiny a jednotky SI - 2. díl, Albra Úvaly, 2022
12. Prax Martin: Ostravsko je blíž jedinečnému projektu gravitačního úložiště energie. Díky evropské podpoře. <https://obnovitelne.cz> , 2022
13. Růžička M.: Kriteria a postupy při posuzování únavové pevnosti a životnosti konstrukcí, ČVUT Praha, 1998
14. Wagner V.: Velký přehled: Využívané i perspektivní technologie akumulace energie, 2018, <https://oenergetice.cz>
15. ostatní, v textu uvedené zdroje.