



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU




Předmět: Technologie pro energetickou udržitelnost

Energie Slunce

Jakub Ševčík

ADAPT UTB: **A**daptabilní, **D**igitální, **A**gilní,
Progresivní, **T**ransformace UTB ve Zlíně
reg. č. NPO_UTB_MSMT-16585/2022
SP: Management udržitelného rozvoje

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení



Cíl předmětu

Cílem předmětu je získání poznatků studenta v oblasti principů a využití technologií relevantních pro energeticky udržitelný rozvoj. Kromě pochopení základního principu technologií získá student komplexní přehled o jejich vazbách a dopadu do řetězců přidané hodnoty v cirkulární ekonomice, i do environmentálních energetických a látkových cyklů. Student získá orientaci v použitelnosti, přínosech, ale také limitech aplikace těchto technologií pro udržitelnost ekonomických a výrobních procesů.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Having been admonished by the Holy Office [the Inquisition] entirely to abandon the false option that the Sun was the center of the universe and immovable,
and that the Earth was not the center of the same and that it moved ...
I abjure ...

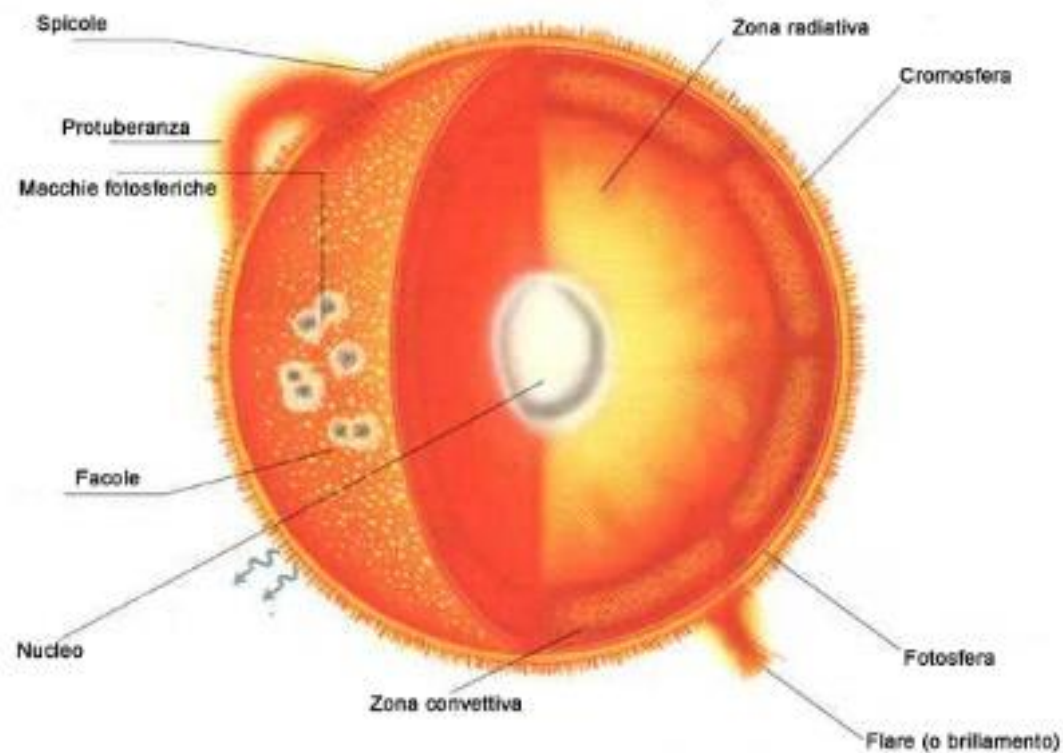
Galileo



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Energie Slunce



Autor: HeNRyKus – Vlastní dílo, Volné dílo, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4240065>

Energie Slunce

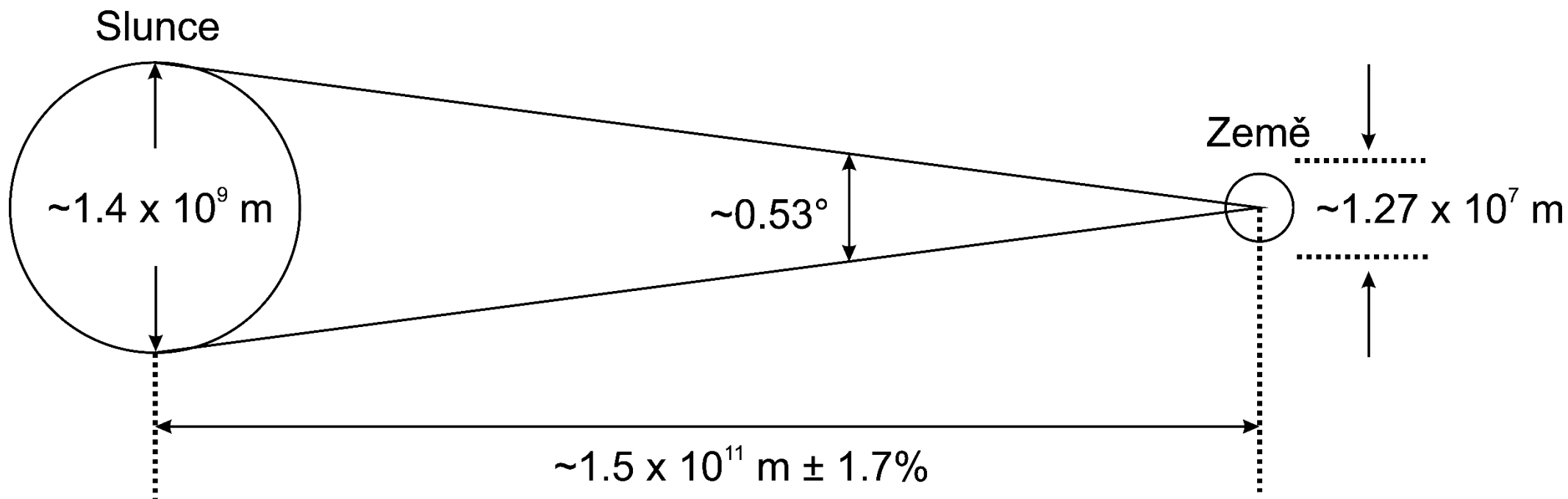
Povaha výroby energie na slunci je stále nezodpovězenou otázkou. Spektrální měření potvrdila přítomnost téměř všech známých prvků na slunci. Nicméně 80 % slunce tvoří vodík a 19 % helium. Zbývajících více než 100 pozorovaných prvků tedy tvoří jen nepatrný zlomek složení Slunce. Obecně se uznává, že zdrojem sluneční energie je termonukleární reakce vodíku na helium. Ale protože taková reakce nebyla v laboratoři duplikována, není přesně jasné, jaký je reakční mechanismus, jakou roli hraje turbulentní proudění na slunci a jak vznikají sluneční protuberance a sluneční skvrny.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Energie Slunce



Autor: Jakub Ševčík – vlastní dílo

Energie Slunce

- Slunce je koule o průměru $13,9 \times 10^9$ m složená z mnoha vrstev plynů, které jsou směrem k jeho středu postupně teplejší. Nejvzdálenější vrstva, ze které je energie vyzařována do sluneční soustavy, má přibližně ekvivalentní teplotu černého tělesa 5760 K (5486,15 °C). Střed slunce (jádro) však může mít až 20×10^6 K. Rychlost emise energie ze slunce je $3,8 \times 10^{23}$ kW, což vyplývá z konverze 4×10^{12} g/s (4 000 000 tun/s) hmoty na energii. Z tohoto celkového počtu je pouze nepatrný zlomek, přibližně $1,7 \times 10^{14}$ kW, zachycen Zemí, která se nachází asi 150 milionů km od Slunce.
-
- Solární energie je nejrozšířenějším trvalým zdrojem energie na světě. Množství sluneční energie zachycené planetou Zemí je 5000krát větší než součet všech ostatních vstupů (pozemské, jaderné, geotermální a gravitační energie a měsíční gravitační energie).



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Základy tepelného záření

$$c = \lambda \nu = \frac{c_0}{n}$$

Kde:

λ je vlnová délka (m) (nebo $\mu\text{m} = 10^{-6}$ m)

ν je frekvence (s^{-1})

c je rychlost světla v médiu (m/s)

c_0 je rychlost světla ve vakuu (m/s)

n je index lomu média

$$E_p = h\nu_p$$

Kde:

h je Planckova konstanta ($6,625 \times 10^{-34}$ J. s)

Základy tepelného záření

Pro začátek se veškeré záření šíří rychlostí světla, která se rovná součinu vlnové délky a frekvence záření. Rychlost světla v prostředí se rovná rychlosti světla ve vakuu dělené indexem lomu prostředí, kterým prochází:

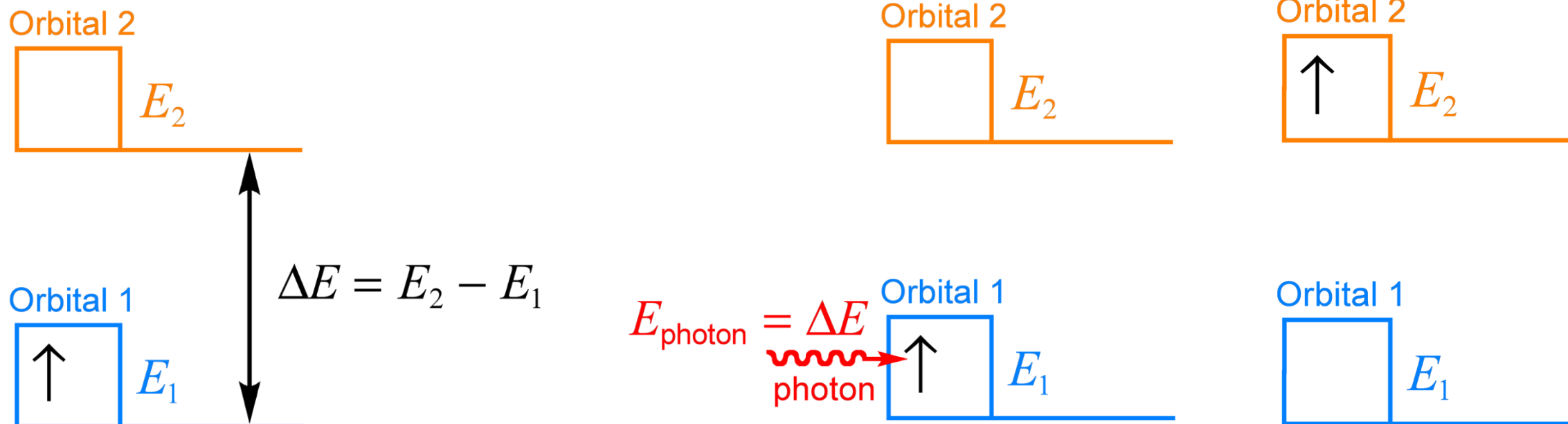
Pro některé problémy v inženýrství solární energie není klasická teorie elektromagnetických vln vhodná. V takových případech, například u fotovoltaických nebo fotochemických procesů, je nutné transport energie ošetřit z pohledu kvantové mechaniky. V tomto pohledu je energie transportována částicemi nebo **fotony**, které jsou považovány za energetické jednotky nebo kvanta spíše než vlny. Energie fotonu E_p o frekvenci ν odpovídá potom:



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



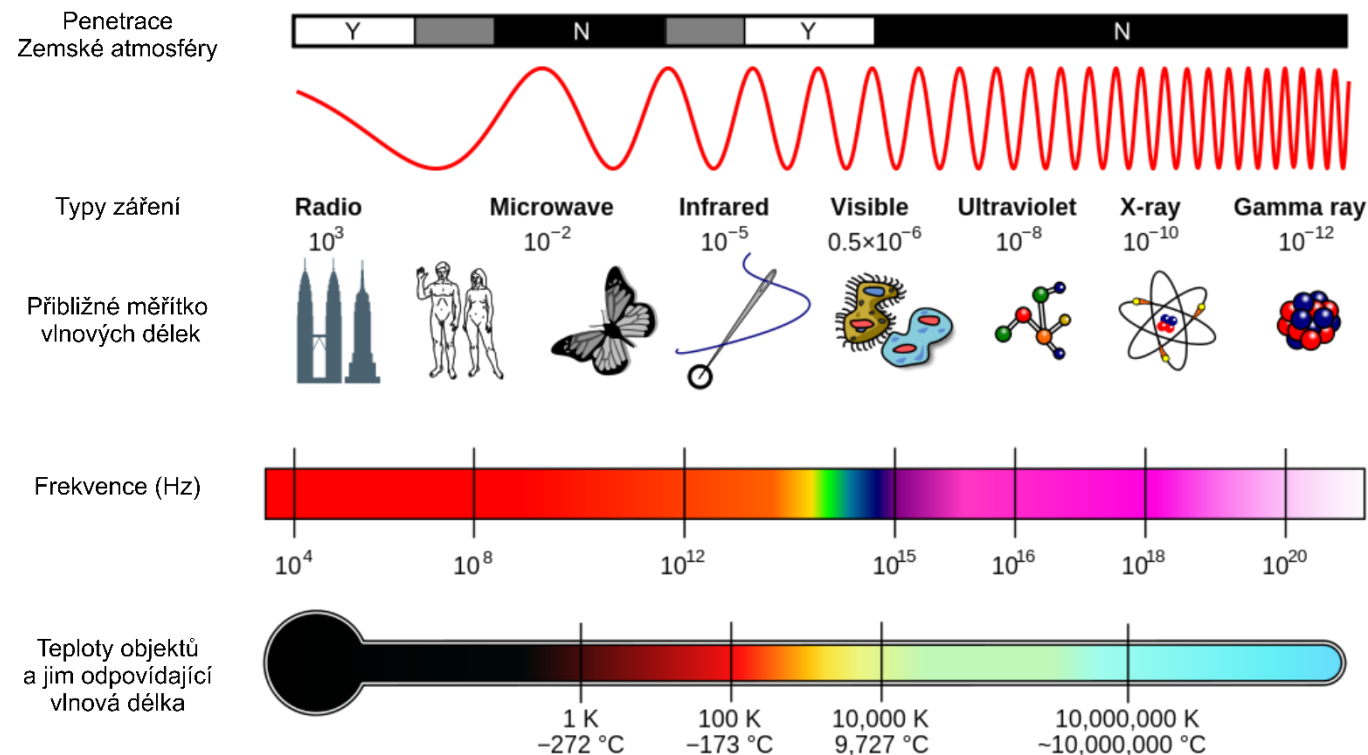
Základy tepelného záření



Tepelné záření je jeden z druhů elektromagnetického záření a všechna tělesa vyzařují tepelné záření na základě své teploty. Když se hmota zahřeje, její atomy, molekuly nebo elektrony absorbují energii, čímž se dostanou na vyšší energetickou úroveň nazývanou excitovaný stav. Avšak tento stav je energeticky nestabilní, a proto mají (atomy, molekuly, elektrony) tendenci se vracet zpět do nižších energetických stavů, přičemž při tomto procesu vyzáří energii ve formě elektromagnetických vln.

Změny energetických stavů vyplývají z přeskupení elektronických, rotačních a vibračních stavů atomů a molekul. Protože tato přeskupení zahrnují různá množství změn energie a tyto změny energie souvisejí s frekvencí, záření emitované tělesem je distribuováno v určitém rozsahu vlnových délek.

Základy tepelného záření



By Inductiveload, NASA - self-made, information by NASABased off of File:EM Spectrum3-new.jpg by NASAThe butterfly icon is from the P icon set, File:P biology.svgThe humans are from the Pioneer plaque, File:Human.svgThe buildings are the Petronas towers and the Empire State Buildings, both from File:Skyscrapercompare.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2974242>

Základy tepelného záření

Elektromagnetické spektrum je rozsah všech možných vlnových délek elektromagnetického záření, od vysoce energetických paprsků gama přes viditelné světlo až po nízkoenergetické rádiové vlny. Různé astronomické jevy lze pozorovat pouze prostřednictvím specifických vlnových délek odlišných od viditelného světla. Skenováním oblohy v kompletním spektru elektromagnetického záření pomocí optických dalekohledů, rentgenových dalekohledů, mikrovlnných dalekohledů a radioteleskopů astronomové shromažďují informace, které by nebyly dostupné, pokud by pouze pozorovali prostřednictvím viditelného světla. Viditelné světlo je malá část celého elektromagnetického spektra s vlnovými délkami v rozmezí od 380 nm (nanometrů nebo $10e-9$ m) do 780 nm. Celá šířka pásma spektra je znázorněna na následujícím obrázku.

Všechny různé typy elektromagnetického záření se skládají z fotonů určité vlnové délky. Všechny objekty, které jsou teplejší než jejich okolí (to zahrnuje všechny astronomické objekty jako hvězdy, mlhoviny, planety atd.), emitují fotony v určitém rozsahu různých vlnových délek. Tento rozsah téměř výhradně závisí na povrchové teplotě předmětu, který elektromagnetické záření vyzařuje; není to charakteristika hmoty samotného objektu. Velmi horké objekty s milionem K nebo více vyzařují své záření hlavně v gama a rentgenovém záření, zatímco chladnější objekty vyzařují fotony s delšími vlnovými délkami, jako jsou infračervené nebo rádiové vlny.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Záření černého tělesa

$$E_{b\lambda} = \frac{C_1}{(e^{C_2/\lambda T} - 1)\lambda^5 n^2}$$

Kde:

$$C_1 = 3,74 \times 10^{-16} \text{ W m}^2 \longrightarrow C_1 = 2\pi h c^2$$

$$C_2 = 1,44 \times 10^{-2} \text{ m K} \longrightarrow C_2 = \frac{hc}{k}$$

n je index lomu média = 1,0 pro vakuum; přibližně 1 také pro vzduch

$$k = 1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Záření černého tělesa

Přestože je černé těleso pouhou idealizací, protože žádný fyzický objekt neabsorbuje 100 % dopadajícího záření, můžeme jej aspoň aproximovat dutým tělesem s velmi malým otvorem, jak je znázorněno na Obrázek A. Vnitřní stěny dutiny jsou drsné a zčernalé, takže veškeré záření, které proniká malým otvorem ve stěně dutiny, se zachytí uvnitř dutiny. Při termodynamické rovnováze (při teplotě T) absorbují stěny dutiny přesně tolik záření, kolik vyzařují. Dále, uvnitř dutiny je záření vstupující do otvoru vyváženo zářením, které ji opouští.

Emisní spektrum černého tělesa lze získat analýzou světla vyzařovaného z díry. Elektromagnetické vlny vyzařované černým tělesem se nazývají záření černého tělesa.

Hustota energie záření emitovaného na dané vlnové délce (monochromatické) "dokonalým" zdrojem, obvykle nazývaným černé těleso, je dána podle následujícího vztahu:

C1 je první radiační konstanta

C2 je druhá radiační konstanta

k je Boltzmannova konstanta - Vyjadřuje vztah mezi termodynamickou teplotou a vnitřní energií plynu (hraje klíčovou roli ve statistické fyzice). Vynásobíme-li Boltzmannovu konstantu s Avogadrovou konstantou ($6,0223 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; počet částic v jednom molu) dostaneme univerzální plynovou konstantu ($8,314 \text{ J K}^{-1}$; používaná ve stavové rovnici)

Záření černého tělesa

$$E_b = \int_0^{\infty} E_{b\lambda} d\lambda = \sigma T^4$$

Kde:

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ Stefan-Boltzmannova konstanta

T je absolutní teplota (K)



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Záření černého tělesa

Veličina $E_{b\lambda}$ má jednotky W/m^3 a nazývá se spektrální intenzita záření černého tělesa, definovaná jako energie vyzařovaná dokonalým zářičem při dané vlnové délce na jednotku plochy a za jednotku času při teplotě T .

Celkovou energii vyzařovanou černým tělesem E_b lze získat integrací na všech vlnových délkách. Výsledkem je Stefanův-Boltzmannův zákon:

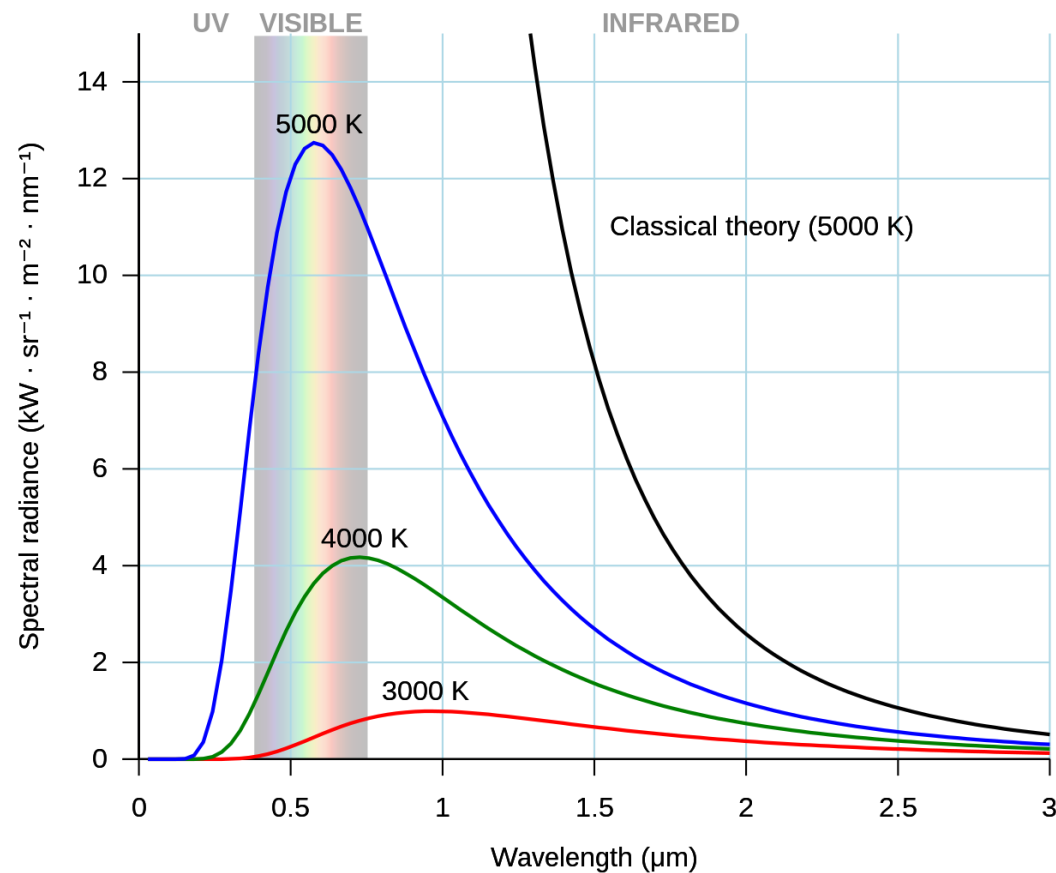
Koncept černého tělesa, ačkoliv žádné takové těleso v přírodě ve skutečnosti neexistuje, je v aplikačně velmi výhodné, protože jeho radiační vlastnosti lze snadno srovnat s vlastnostmi reálných těles.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Záření černého tělesa



By Darth Kule - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10555337>

Záření černého tělesa

Intenzita $I(\lambda, T)$ záření černého tělesa závisí na vlnové délce λ emitovaného záření a na teplotě T černého tělesa (viz obrázek).

Funkce $I(\lambda, T)$ je intenzita energie, která je vyzářena na jednotku vlnové délky; jinými slovy je to výkon vyzářený na jednotku plochy otvoru v dutinovém zářiči na jednotku vlnové délky. Podle této definice je $I(\lambda, T)d\lambda$ výkon na jednotku plochy, který je emitován v intervalu vlnových délek od λ do $\lambda+d\lambda$. Rozložení intenzity mezi vlnovými délkami záření emitovaného dutinami bylo experimentálně studováno na konci devatenáctého století.

Rekapitulace: Dva důležité zákony shrnují experimentální zjištění záření černého tělesa:

Wienův posunovací zákon a Stefanův zákon. Wienův posunovací zákon je znázorněn na obrázku křivkou spojující maxima na křivkách intenzity. Na těchto křivkách vidíme, že čím je těleso teplejší, tím kratší je vlnová délka odpovídající emisnímu vrcholu na křivce záření.

Stefanův zákon se týká celkové energie záření černého tělesa emitovaného v celém spektru vlnových délek při dané teplotě. Tento celkový výkon je reprezentován plochou pod radiační křivkou černého tělesa pro danou teplotu T . Se zvyšující se teplotou černého tělesa roste i celkový vyzařovaný výkon.

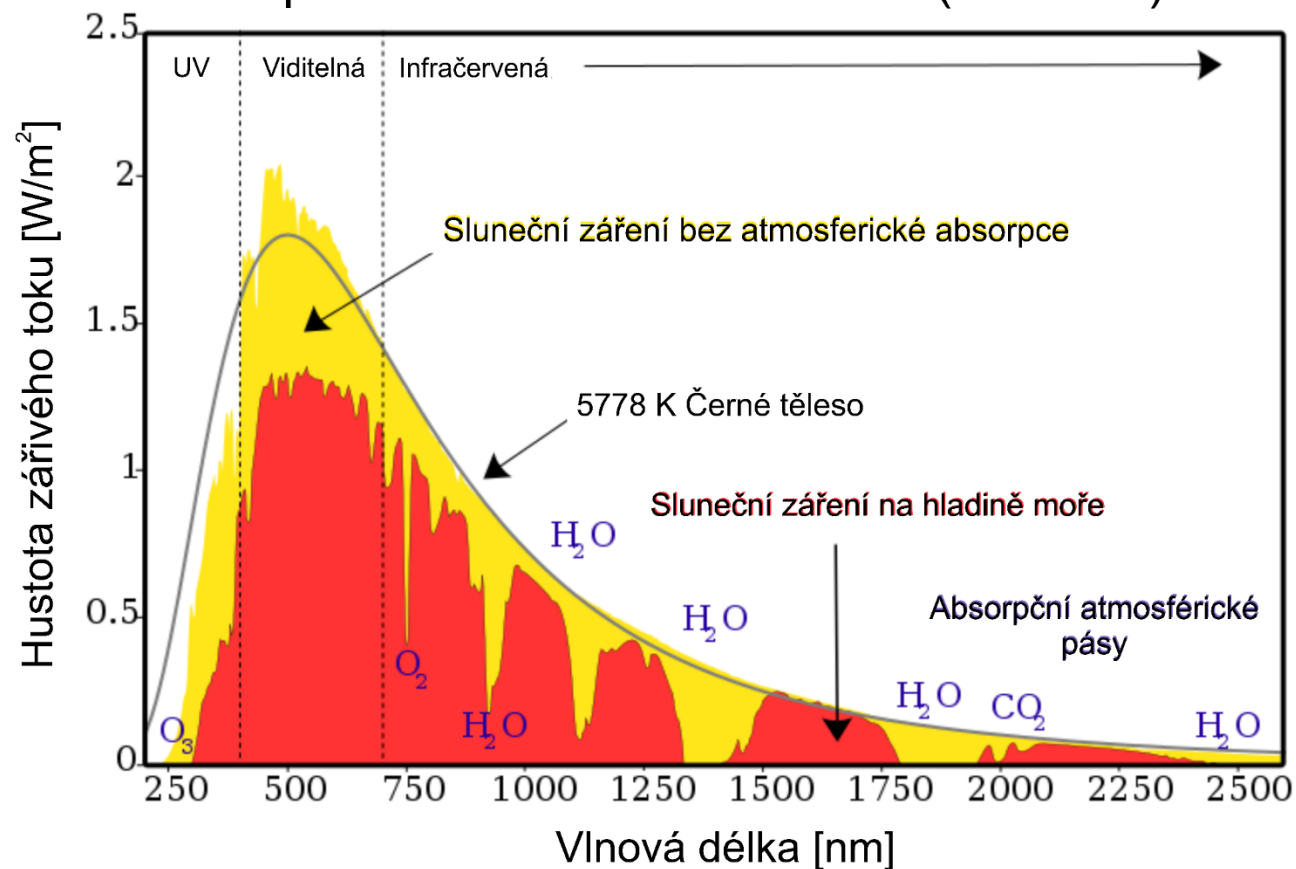


Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Sluneční záření/záření č. tělesa

Spektrum slunečního záření (na Zemi)

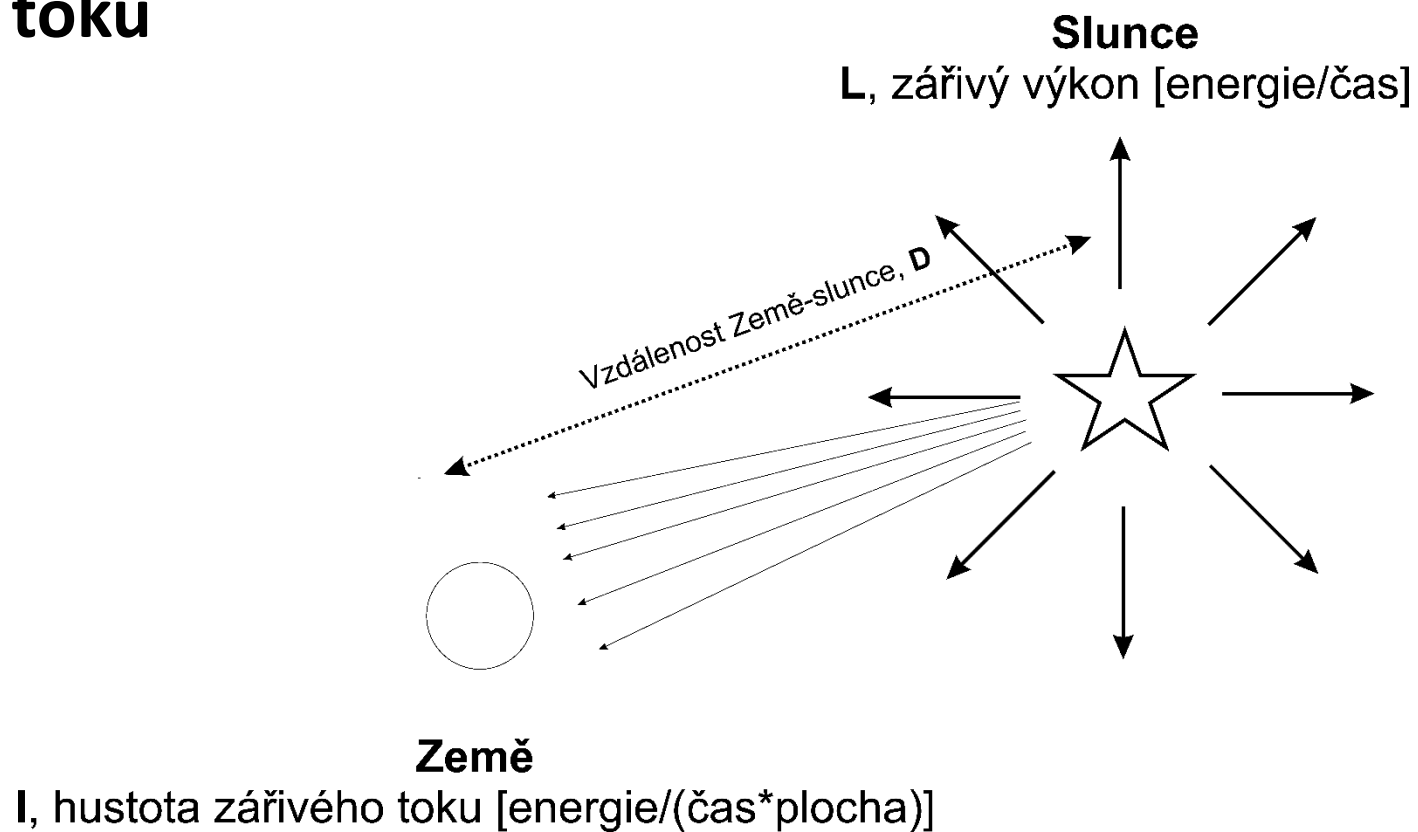


Sluneční záření/záření č. tělesa

Sluneční záření téměř odpovídá záření dokonale černého tělesa při stejné teplotě (5778 K - povrchová teplota slunce). Toto je vlastnost slunce, nikoli konkrétního místa, ze kterého jej pozorujete. Nicméně atmosférické efekty dramaticky mění měření slunečního spektra na Zemi.

Horní vrstvy atmosféry blokují téměř veškeré záření s vyšší frekvencí než UV a poměrně velká část infračerveného spektra je absorbována a rozptylována skleníkovými plyny. Viditelné světlo prochází bez větších problémů (což je podstatná část toho, proč jsme se vyvinuli k citlivosti na tyto frekvence), ale fakta, že obloha je modrá a západy slunce jsou krásné, dokazují, že atmosféra rozptyluje i viditelné světlo.

Zářivý výkon/hustota zář. toku



Zářivý výkon/hustota zář. Toku

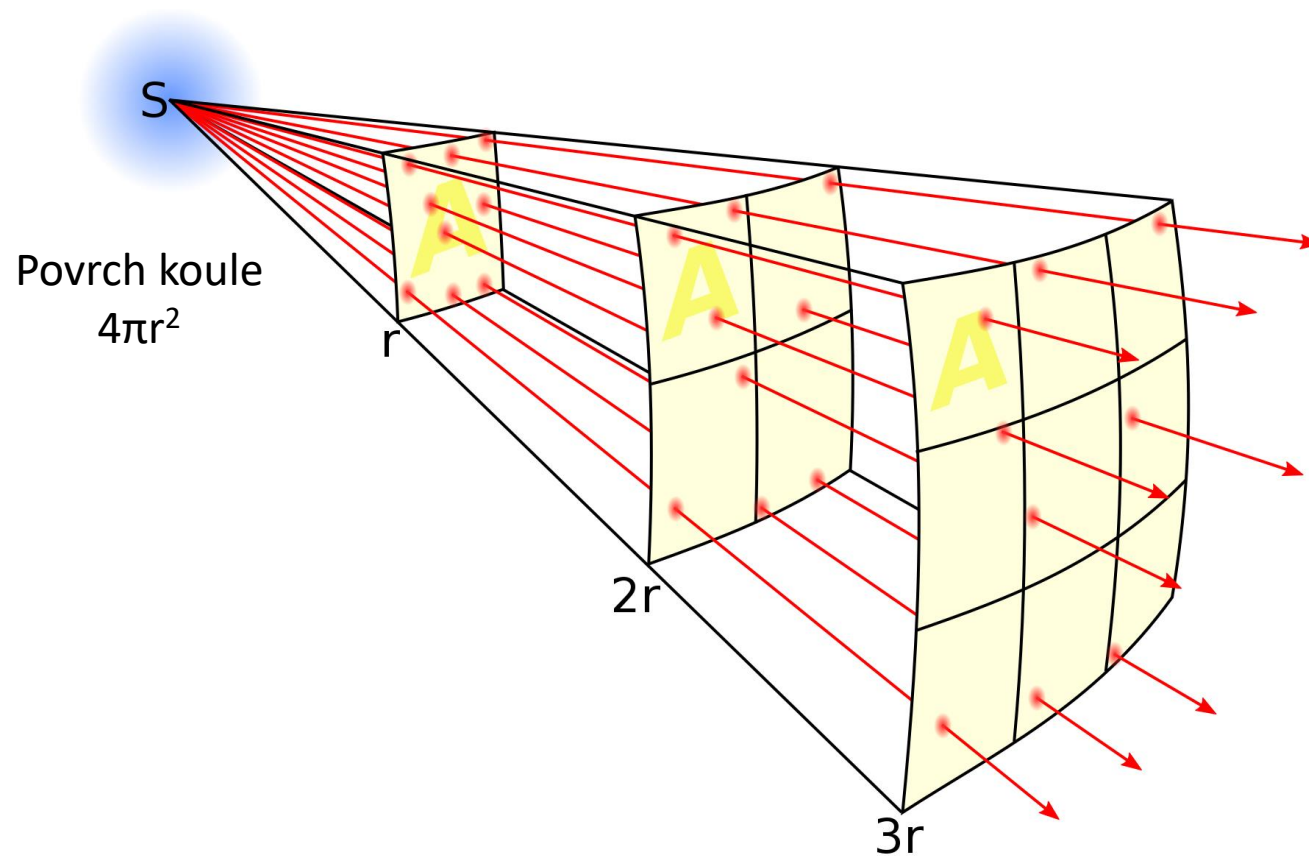
Celkový výkon záření emitovaného hvězdou (sluncem) je definován jako **Zářivý výkon L**, jednotkou je [Watt]. Díky tomu, že je Země od Slunce vzdálena přibližně 150 mil. km, tak na Zemi dopadne pouze zlomek zářivého výkonu Slunce definovaného jako **hustota zářivého toku I**, což je měrná veličina zářivého výkonu vztažená na jednotku plochy [W/m²]. Jde o světelnou konstantu , která odpovídá průměrně 1367 W/m².



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Zářivý výkon/hustota zář. Toku



Zářivý výkon/hustota zář. Toku

$$I = \frac{L}{4\pi D^2}$$

Kde:

I je průměrná hustota zářivého toku [W/m²]

L je zářivý výkon zdroje (slunce) [W]

D je vzdálenost Země-Slunce [m]

Zářivý výkon/hustota zář. Toku

Zákon převrácených (inverzních) čtverců zářivého toku lze tedy vypočítat pomocí:

Rovnice nám říká, že pro danou hvězdu je zářivý výkon konstantní, hustota zářivého toku se řídí zákonem převrácených čtverců. Takže čím větší je naměřená **hustota zářivého toku I** , tím blíže je hvězda k Zemi (menší D)

Zářivý výkon/hustota zář. Toku

$$I = I_0 \left(\frac{D_0}{D} \right)^2$$

Kde:

D je vzdálenost Země-Slunce [m]

D_0 je roční průměr vzdáleností Země-Slunce ($1,496 \times 10^{11}$ m)

I_0 je průměrná hustota zářivého toku (1367 W/m^2)



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Zářivý výkon/hustota zář. Toku

Vzhledem k tomu, že oběžná dráha Země je eliptická a vzdálenost Země-Slunce se v průběhu roku mění (odchylka cca $\pm 1,7\%$ od průměru), tak je **hustota zářivého toku I**, proměnlivá podle zákona převrácených čtverců takto.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Literární zdroje

1. Kutscher, C. F., Milford, J. B., & Kreith, F. (2019). *Principles of Sustainable Energy Systems*. CRC Press.
2. Twidell, J., & Weir, A. D. (2006). *Renewable Energy Resources*. Taylor & Francis.
3. MacKay, D. (2016). *Sustainable energy – without the hot air*. Unspecified.
4. Smets, A., Jäger Klaus, Olindo, I., Swaij, R. van, & Zeman, M. (2016). *Solar energy: The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*. UIT Cambridge.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU




Energie Větru

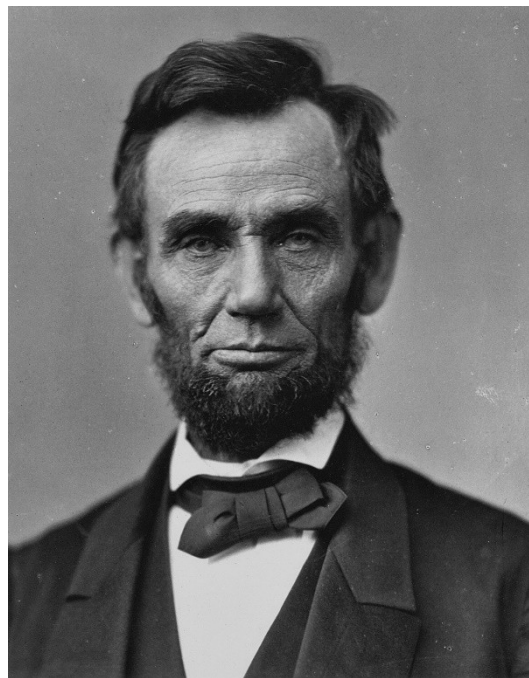
Jakub Ševčík

ADAPT UTB: Adaptabilní, Digitální, Agilní,
Progresivní, Transformace UTB ve Zlíně, reg. č.

NPO_UTB_MSMT-16585/2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

... As yet, the wind is an untamed, and unharnessed force; and quite possibly one of the greatest discoveries hereafter to be made, will be the taming, and harnessing of the wind.



Abraham Lincoln

Discoveries and Inventions (1858)

Motivace

- Přibližně 2 % sluneční energie dopadající na zemský povrch se přemění na kinetickou energii ve větru. Větrné turbíny přeměňují kinetickou energii větru na elektřinu bez emisí
-
- Globální potenciál větrných elektráren na pevnině a na moři ve výškách komerčních turbínových věží by mohl poskytnout 840 000 TWh elektřiny ročně. Celková celosvětová spotřeba elektřiny ze všech zdrojů v roce 2019 byla asi 24 000 TWh.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Historie využití větru



By Maler der Grabkammer des Menna - The Yorck Project (2002) 10.000 Meisterwerke der Malerei (DVD-ROM), distributed by DIRECTMEDIA Publishing GmbH. ISBN: 3936122202., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=154324>

Historie využití větru

Lidé využívají energii větru již po tisících let.

Větrná energie byla Egypťany používána k pohonu lodí podél řeky Nilu před více než 5000 lety. Na obrázku egyptská malba z hrobky Menna (dozorce polí pána dvou zemí) - z období vlády Thutmose IV (14. Století před Kristem).

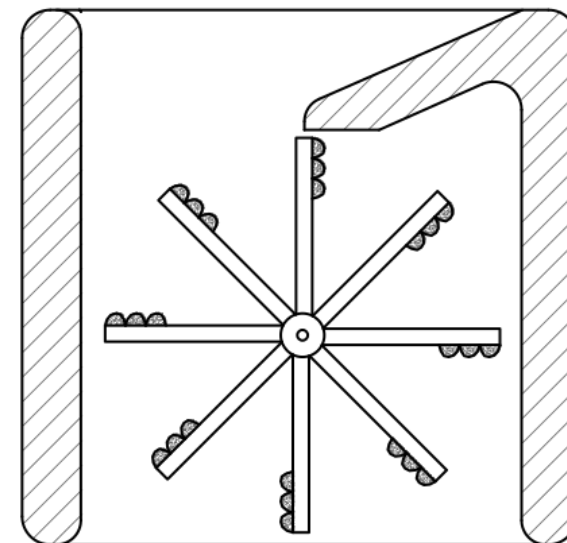
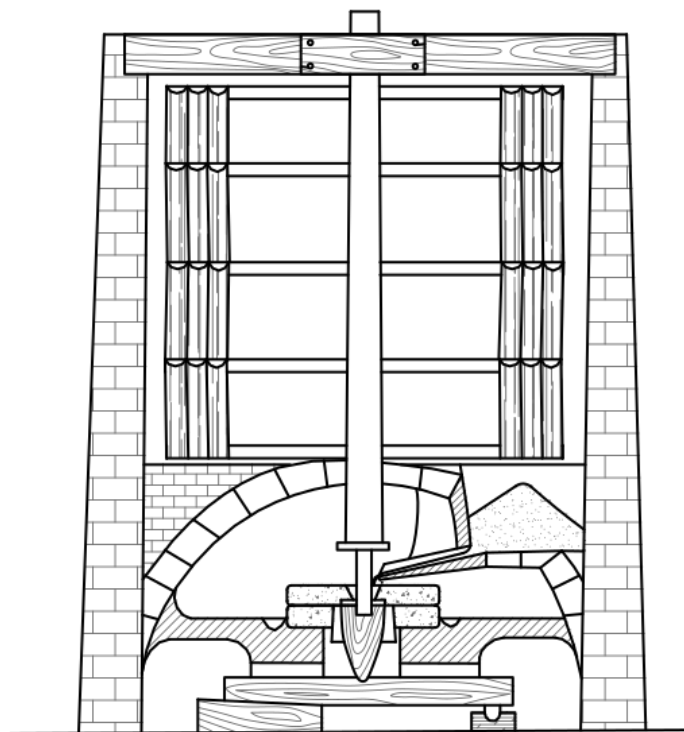


Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Historie využití větru

Větrné mlýny se svislou (vertikální) osou s tkanými rákosovými plachtami se na Blízkém východě používaly k mletí obilí již v 9. století



Historie využití větru

V 11. století křižáci přinesli tuto myšlenku zpět do Evropy, kde se rychle rozšířila.

Nizozemci vylepšili technologii větrných mlýnů a upravili ji pro odvodňování jezer a bažin v Deltě řeky Rýn.

Na obrázku - Kamenný mlýn používající se na mletí obilí ve Francii pocházející ze 13. Století.

Po objevení Ameriky byla kolonisty tato technologie zavedena i na uzemi Spojených států, přičemž se hlavně používali na mletí pšenice a kukuřice.

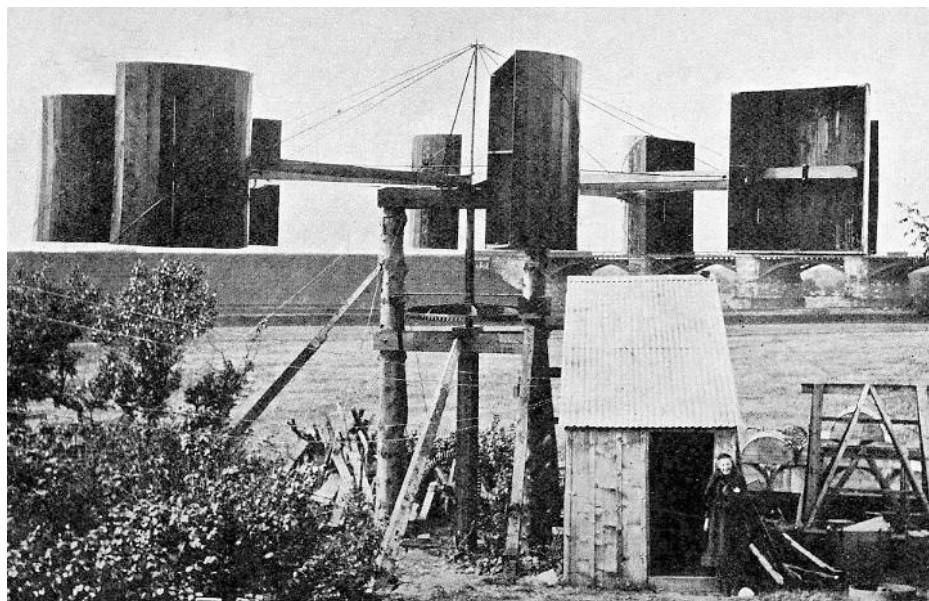




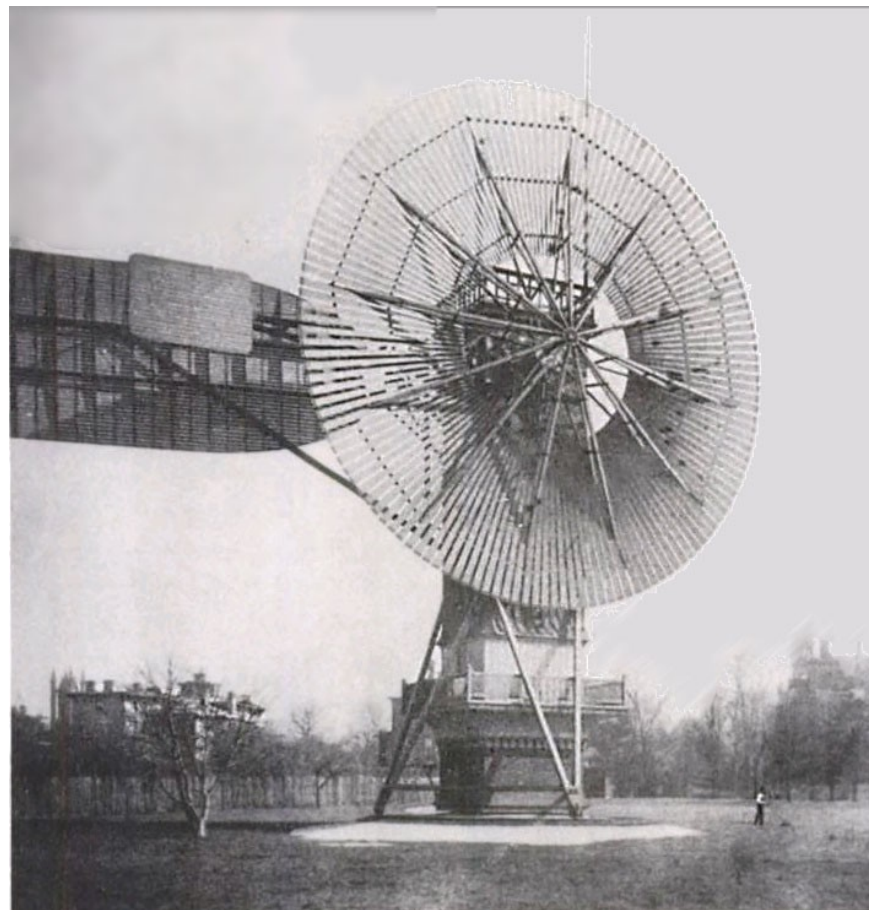
Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Počátky větrné energetiky



By Unknown author -
http://www.taplondon.co.uk/bwea30/pdf/Closing_Peter%20Musgrove-web.pdf, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12351326>



By Unknown author - Robert W. Righter (1996) Wind Energy in America: A History, University of Oklahoma Press, p. page44 Retrieved on 27 December 2008. ISBN: 0806128127., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5599364>

Počátky větrné energetiky

- Profesor James Blyth postavil první vertikální větrnou turbínu (VAWT) ve Skotsku úspěšně vyrábějící elektřinu v roce 1887.
- Brzy poté, Charles F. Brush postavil první automaticky ovládanou větrnou turbínu na světě v Clevelandu ve státě Ohio zima 1887–1888. Stejně jako konfigurace, která dnes dominuje, Brushova turbína byla horizontální větrná turbína (HAWT), ve které byla osa rotoru vodorovná k zemi.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Typy větrných turbín

Existují dva základní typy větrných turbín jak můžete vidět na obrázku. Horizontální větrné turbíny (HAWT) a vertikální větrné turbíny (VAWT).



By ChristianT - Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22745771>



By © Hans Hillewaert, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6361901>

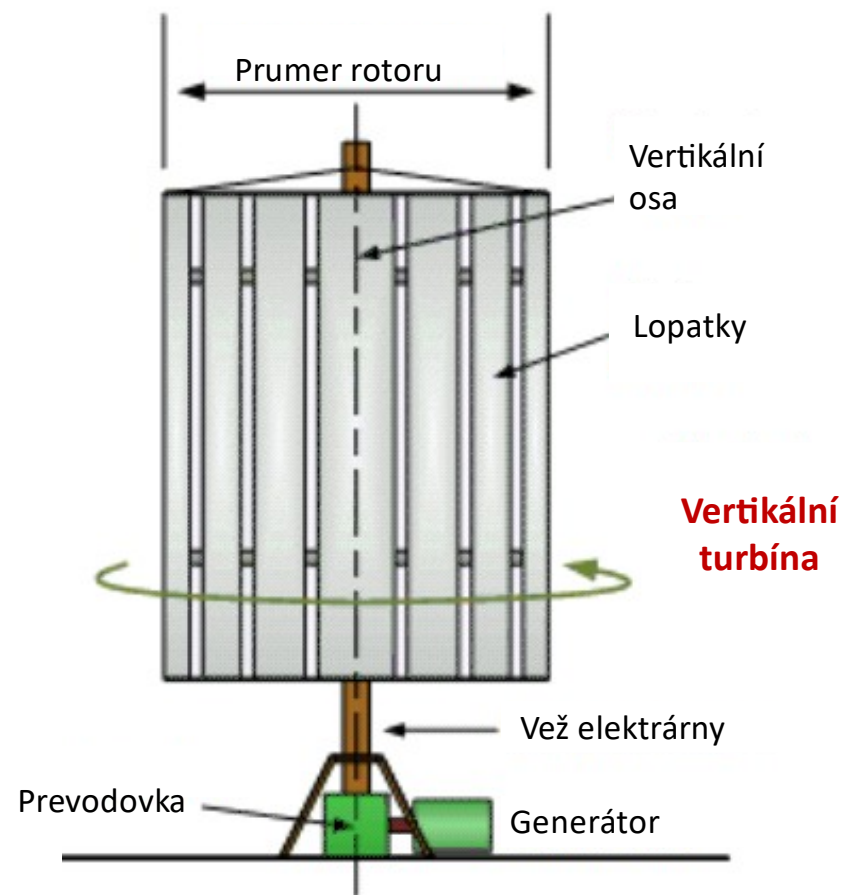


Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



WVAT

- Konstrukčně Jednodušší (snadnější odběr energie)
- Levnější a ekologičtější konstrukce
- Výkon nezávislý na směru větru
- Bezpečnější pro ptactvo a jiná poletující



Autor: Jakub Ševčík– vlastní dílo

VWAT

- A) Převodovka VAWT je umístěna blízko země nebo hladiny vody, kde mohou být snadněji a bezpečněji servisovány techniky. VAWT mají nižší těžiště, což poskytuje větší stabilitu a menší točivý moment – zvláště když čelí silným poryvům větru.
- B) VAWT jsou mezi ochránci přírody oblíbené z několika důvodů:
 - Za 1. Díky jejich ekonomičtějším a efektivnějším designům je jejich výroba jednodušší a levnější – a to i v užitkovém měřítku.
 - Za 2. Vyžadují také méně dílů a méně údržby. To znamená, že náklady na dlouhodobou údržbu a výměnu VAWT jsou zlomkem nákladů na větrné turbíny s horizontální osou
- C) Vertikální turbíny mají osu rotace, která je svislá a tak na rozdíl od horizontálních větrných turbín mohou zachytit vítr z jakéhokoliv směru bez potřeby vychylování rotoru dle směru větru.
- VAWT lze také snadno zvětšit pro větší energetickou účinnost a lze je také naskládat kompaktněji vedle sebe než konvenční větrné turbíny a vytvořit tak jejich síť.
- D) Konečně, velká velikost VAWT, pomalejší rotace, konzistentní rychlost lopatky a nižší profil umožňují ptákům, aby je viděli a vyhýbali se jim z velké dálky, na rozdíl od konvenčních HAWT, které jsou umístěny výše v normální migrační dráze ptáků. Čepele HAWT se také točí tak rychle, že se někdy zdá, že čepele mizí ve vzduchu, což jim umožňuje překvapit ptáky. VAWT jsou bezpečnější a příjemnější i pro lidi. Není nutné je umísťovat na vysoké věže a jsou také tišší v provozu.

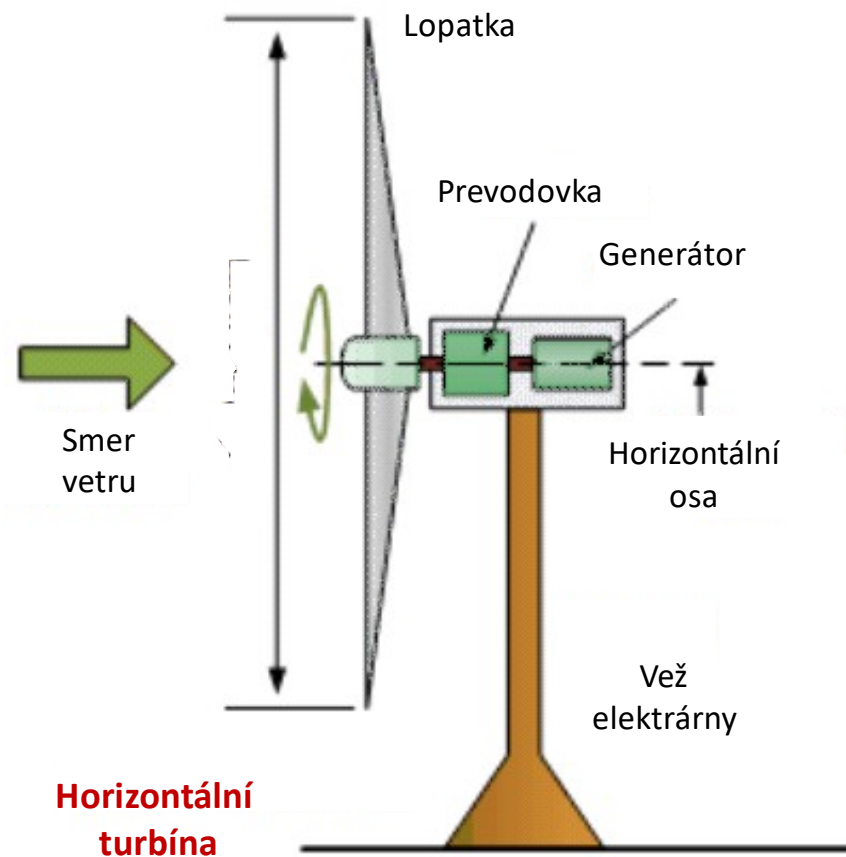


Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



HAWT

- Vyšší konstrukce
- Vysoký výkon a spolehlivost
- Efektivnější konstrukční řešení



**Horizontální
turbína**

Autor: Jakub Ševčík– vlastní dílo

HWAT

- V dnešní době naprosto dominuje konstrukce horizontálních turbín, které dnes tvoří zdaleka nejběžnější design.
Horizontální znamená, že osa otáčení větrné turbíny je vodorovná nebo rovnoběžná se zemí.
- A) Ve větších výškách je silnější vítr
- B) Větrné turbíny s horizontální osou jsou obecně konstruovány tak, aby měly výkon v rozmezí 2 až 8 MW, v závislosti na použití. Zatímco výkon větrné turbíny závisí na velikosti turbíny a rychlosti větru, průměrná pobřežní větrná turbína s kapacitou 2,5 – 3,0 MW dokáže vyrobit více než 6 milionů kWh za rok, což stačí na zásobování 1 500 průměrných domácností v EU. elektřinou.
- C) Jejich hlavní výhodou je, že se jejich lopatky pohybují kolmo na proudění větru, takže energie může být generována po celou dobu rotace. V současnosti mají nejvyšší účinnost větrné turbíny s horizontální osou. Dokážou přeměnit 40 až 50 % přijímané větrné energie na elektřinu.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU

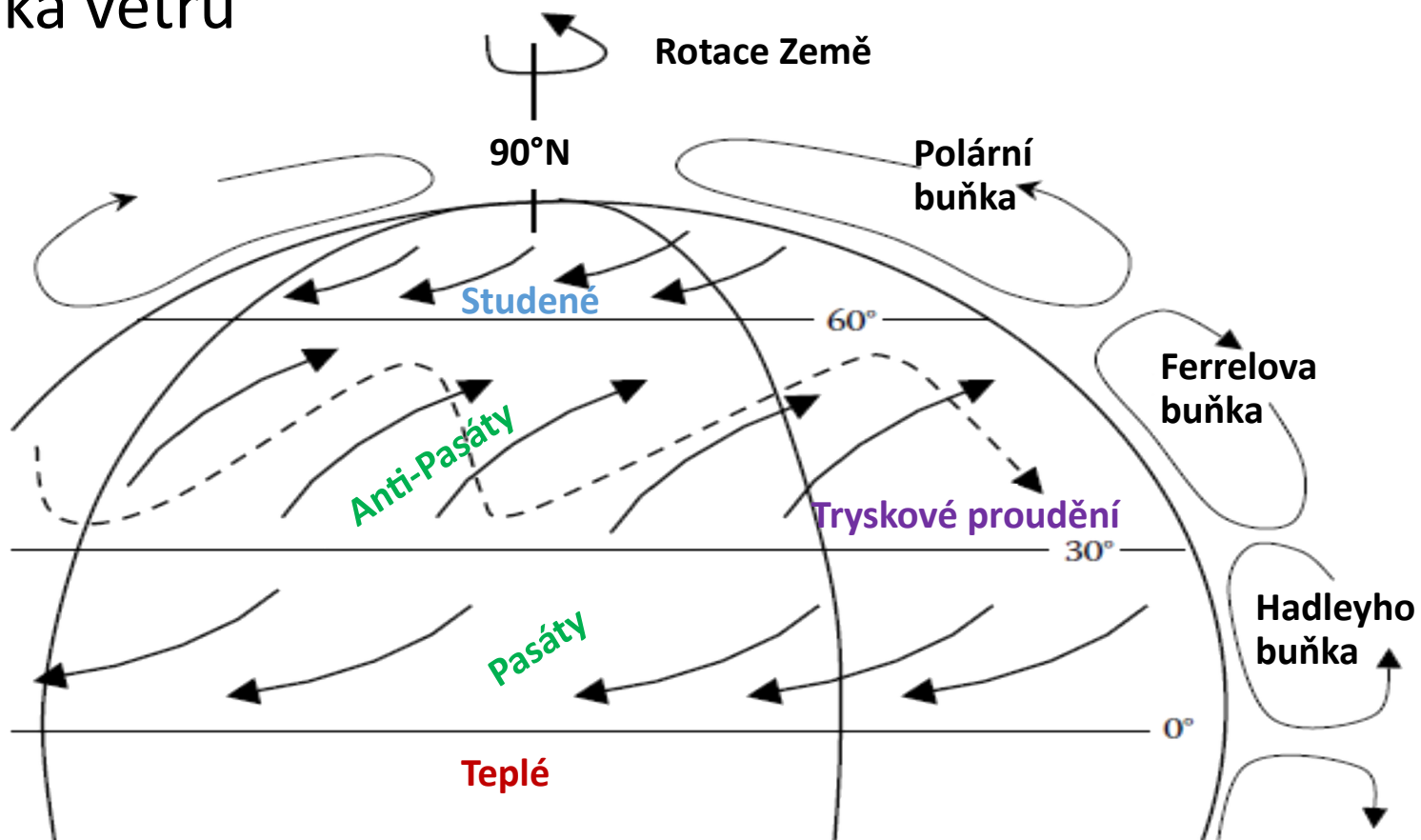


Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Charakteristika větru



Autor: Jakub Ševčík– vlastní dílo



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Charakteristika větru

- Nyní zaměříme svou pozornost na atmosférický vítr: jeho tvorbě, distribuci, vlastnostem a tak dále. Pohyb vzduchu, jinak také větru, je způsoben **nerovnoměrným ohřevem Země slunečním zářením a rotací Země**. Převládající směr větru se mění v závislosti na zeměpisné šířce a výšce nad zemským povrchem, jak ukazuje obrázek. Energie se přenáší z rovníku na póly prostřednictvím větru. Jak se vítr pohybuje, rotace Země ovlivňuje směr větru dvěma způsoby. Za prvé, **Coriolisovy síly** urychlují částici vzduchu doprava na severní polokouli (a doleva na jižní polokouli). Za druhé, každá vzduchová částice má moment hybnosti **od západu k východu** v důsledku směru rotace Země. Když se částice vzduchu pohybuje směrem k pólu, zachování momentu hybnosti vyžaduje, aby se její složka rychlosti ze západu na východ zvýšila. Tento efekt je výrazný ve středních zeměpisných šířkách, a tyto větry se nazývají **západní** neboli **anti-pasáty**. Díky tomu jsou obecně západní oblasti nejvhodnějšími oblastmi pro aplikace větrných elektráren. Kromě toho mohou být tyto **anti-pasáty**, díky fenoménu zvanému **polární tryskové proudění** (7–12 km nad mořem), přesouvány na sever, či jih, což má za následek rok od roku nižší nebo vyšší potenciál pro produkci energie.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Charakteristika větru

- Samozřejmě, že nejkritičtější část atmosféry pro větrné turbíny je relativně blízko země. Navíc rychlostní pole vykazuje turbulentní fluktuace. Jinými slovy, každá ze tří složek rychlosti pro vzduchovou částici má střední i kolísavou složku. Složka turbulentní rychlosti může být poměrně velká a přirozeně se mění v čase. To má za následek neočekávané kolísavé síly (vysoká rychlost způsobuje vysoké zatížení lopatek), což může vést k únavovému selhání komponent větrných turbín, jako jsou lopatky, převodovky, či věž. Turbulentní část proudového pole je typicky popsána statisticky. Metody přesné simulace polí turbulentního proudění pro návrh větrných turbín jsou aktivní oblastí výzkumu.

Distribuce větru

- Nyní přejdeme z globálního pohledu na vítr k pohledu lokálnímu na větrné zdroje. Energie větru je ekvivalentní střední rychlosti větru a také počtu hodin v roce, kdy vítr danou rychlostí fouká. Projektant větrné farmy potřebuje vysokou pravděpodobnost výskytu vysokých rychlostí větru na daném místě a navíc rok od roku co nejkonzistentnější. Proč je to takové riziko? Pro představivost, pokud je průměrná rychlost větru pouze o 5 % nižší, než se předpokládalo, maximální možný výkon bude nižší o 14 %! Konzistentní větrné podmínky umožňují projektantovi odhadnout pravděpodobnou energetickou produkci a porovnat ji s investicí potřebnou k realizaci větrné elektrárny a nákupu nebo financování, instalaci a provozu větrné farmy (skládající se z desítek turbín).

Distribuce větru

- Výškou věže větrné elektrárny je myšlena je vzdálenost od země ke středu rotoru turbíny. Dd roku 1998–1999 se výška věže pro pozemní větrné turbíny zvýšila přibližně o 66 % na 94 metrů v roce 2021. To je zhruba výška odpovídající výšce Sochy svobody! Podle predikcí průměrného nárůstu maximální výšky věžových částí každý rok se předpokládá se, že průměrná výška věže pro pobřežní turbíny ještě poroste, a to ze současných 100 metrů v roce 2016 na přibližně 150 metrů v roce 2035, což odpovídá výšce Washingtonova památníku.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Výkon a energie větru

$$Výkon = \frac{Práce}{čas} = \frac{Energie}{čas} = \frac{N \times m}{s} = \frac{J}{s} = W$$

$$Energie = N \times m = J$$

Výkon a energie větru

1. Vztah - Výkon a energie jsou běžné pojmy, které se často zaměňují. Výkon je rychlost, jakou se energie využívá nebo vyrábí. Žárovky využívají energii; naopak větrné turbíny energii generují. Jednotky výkonu jsou vyjádřeny v práci (energii) za určitý čas:
2. Vztah - Větrné elektrárny jsou hodnoceny z hlediska výkonu. Velké komerční větrné turbíny mají jmenovitý výkon v rozmezí 1–10 MW, zatímco větrné elektrárny používané pro jeden dům pracují pravděpodobně v rozmezí 3–15 kW. Energie je na druhé straně měřítkem toho, kolik práce může vykonat síla. Jednotky energie jsou jouly, J, které odpovídá součinu síly a vzdálenosti:



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Výkon a energie větru

$$KE = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

$$kg \left(\frac{m^2}{s} \right) = \frac{kg \times m^2}{s^2} = \left(\frac{kg \times m}{s^2} \right) \times m = N \times m = J$$

Kontrola jednotek

Výkon a energie větru

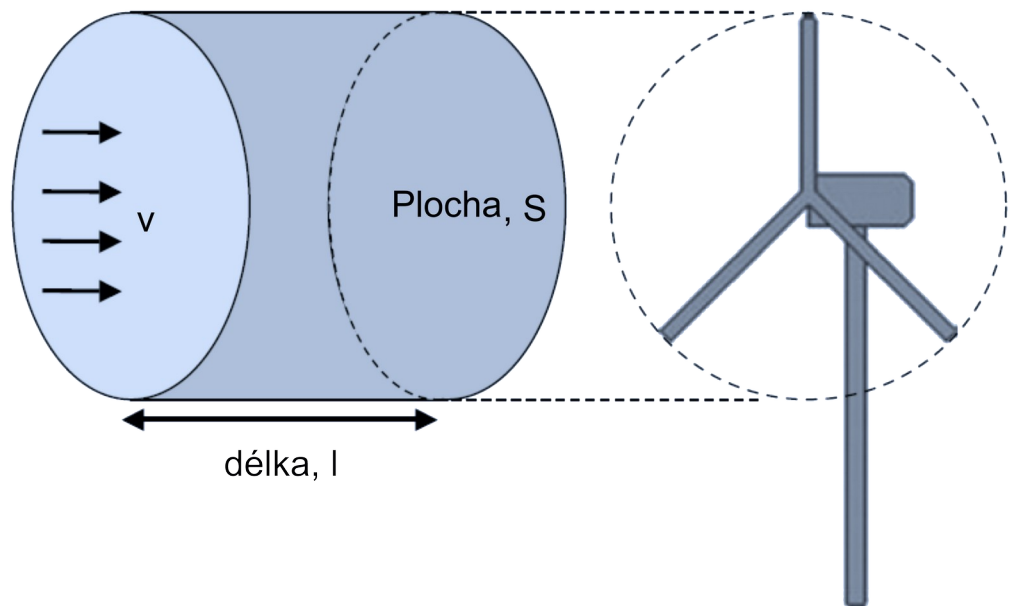
1. Vztah - Spojení mezi výkonem a energií pochází z míry spotřeby energie. Jinými slovy, energie se rovná součinu výkonu a času nebo výkonu je energie dělená časem. Pokud je 100W žárovka zapnutá 24 hodin, spotřeba energie je $100 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 2,4 \text{ kWh}$. Zatímco turbíny jsou označeny jejich jmenovitou produkcí energie (např. 100 kW, 2,5 MW), tak za elektřinu platíme podle toho, kolik energie spotřebujeme (např. 4,5 Kč za kWh).
- Chcete-li určit výkon větru, který se pohybuje směrem k větrné turbíně, je třeba zvažít kinetickou energii (KE) hmoty vzduchu m (v kg), pohybující se rychlostí U (v m/s):



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Výkon a energie větru



Autor: Jakub Ševčík – vlastní dílo

$$m = \rho \times V = \rho \times A \times l = \rho \times A \times v \times t$$

Kde:

ρ - hustota vzduchu, kg/m^3

V - je objem vzduchu, m^3

S - plocha, m^2

L - délka, m

V - rychlost větru, m/s

t - čas, s

Výkon a energie větru

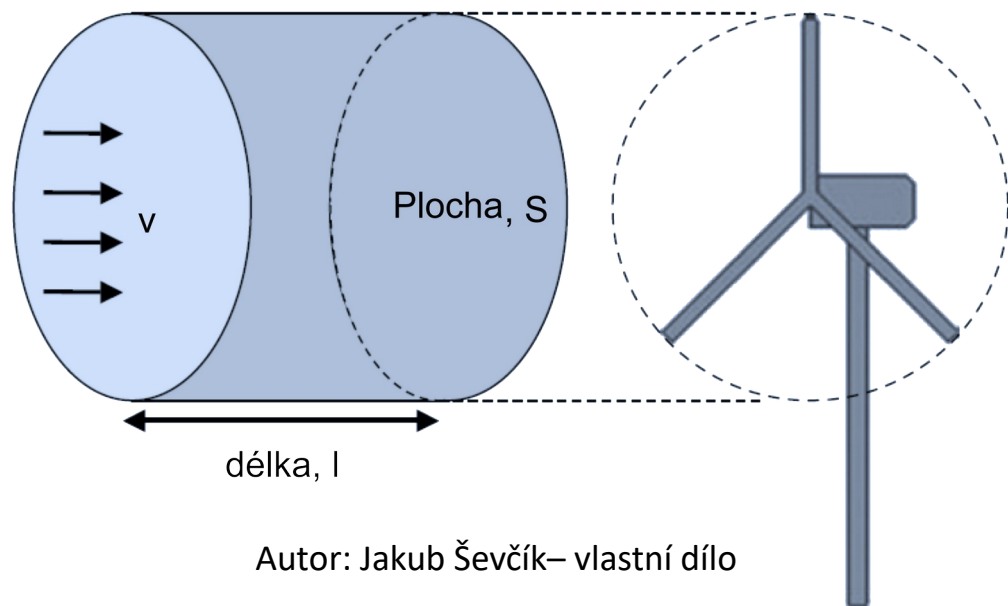
Vztah - Nyní si představte vodorovný válec vzduchu o ploše S (v m^2) a rychlosti v , pohybující se směrem k větrné turbíně, jak je vidět na obrázku. Všimněte si, že plocha S odpovídá ploše vymetené rotujícími lopatkami větrné turbíny. Hmotnost m vzduchového sloupce je objem V krát hustota, kde ρ představuje hustotu vzduchu v kg/m^3 . Hmotnost pak může být také vyjádřena jako:



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Výkon a energie větru



Autor: Jakub Ševčík – vlastní dílo

$$KE = \frac{1}{2} \times m \times v^2 = \frac{1}{2} (\rho \times S \times v \times t) \times v^2 = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times t \times v^3$$

$$Power = \frac{KE}{t} = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times v^3$$

$$Power = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times v^3 = \frac{1}{2} \rho \times \pi \times R^2 \times v^3$$

Výkon a energie větru

1. Vztah - Délka sloupce vzduchu l se rovná vzdálenosti, kterou vítr urazí v daném časovém intervalu t , a zjistíme ji vynásobením rychlosti větru s časem. Kombinací rovnice pro kinetickou energii a rovnice pro hmotnost se kinetická energie stane:
2. Vztah - Jinými slovy, výkon ve sloupci větru je lineárně úměrný hustotě vzduchu a ploše vzduchového sloupce. Ještě důležitější je, že výkon je také úměrný třetí mocnině rychlosti větru. Později uvidíme, že klíčovým důvodem, proč větrné elektrárny postupem času rostou do výšky, je umístění listů rotoru výše v atmosféře, kde je rychlost větru vyšší, čímž je vyšší výstupní kinetická energie.
3. Vztah - Pro zvýšení výkonu lze upravit oblast lopatek větrných turbín tak, aby ovlivnila výstupní výkon. Vzhledem k tomu, že výkon větrné turbíny je lineárně úměrný ploše, pro zvýšení výkonu je třeba zvětšit délku lopatek. Protože je kruhová plocha vymetená lopatkami turbíny úměrná kvadrátu poloměru lopatek (R^2), výkon turbíny je také úměrný kvadrátu poloměru lopatek (R^2):

Výkon a energie větru

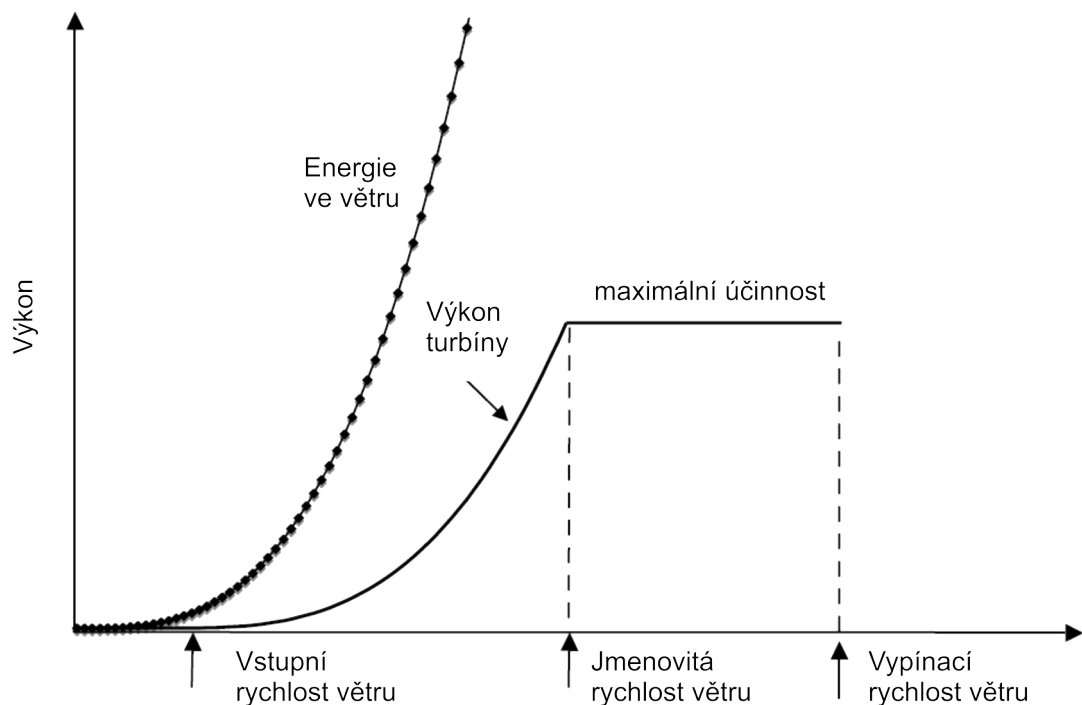
Stručně řečeno, delší délky lopatek a vyšší turbíny (poskytující přístup k vyšším rychlostem větru) jsou možnosti ke zvýšení výkonu větrných turbín. Toto zvýšení výkonu má však svou cenu. Delší lopatky vyžadují sofistikovanější výrobní techniky, aby byly lopatky dostatečně silné, aby vydržely poryvy větru a extrémní rychlosti větru (přes 100 mph). Vyšší věže musí být dostatečně pevné, aby odolaly silám přenášeným z lopatek, hmotnosti gondoly a dalších částí a přitom byly nákladově efektivní. Přeprava lopatek turbíny z výrobních závodů na místa instalace se také stává náročnější a nákladnější.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Výkon turbíny



Autor: Jakub Ševčík – vlastní dílo

$$C_p = \frac{P_{aero}}{P_{wind}} = \frac{Q \times \Omega}{1/2 \times \rho \times S \times v^3}$$

Kde:

Q – aerodynamický točivý moment

Ω – rychlost rotace rotoru



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Výkon turbíny

- Na základě dlouhodobých údajů o rychlosti větru lze vybrat a/nebo navrhnout turbínu pro danou lokalitu. K tomu je třeba provést podrobné inženýrské práce, aby bylo možné navrhnout lopatky, věž, elektrické systémy atd. Účinnost větrných turbín odpovídá výkonu, který turbína získává, ve srovnání s výkonem obsaženým ve větru proudícím přes plochu lopatek. Obrázek, který vidíte obsahuje schéma porovnávající tyto veličiny. Všimněte si, že výkon obsažený ve větru je vždy větší než výkon odebíraný turbínou.
- Křivka výkonu turbíny obsahuje několik důležitých bodů. Turbína nezačne vyrábět výkon, dokud rychlost větru nedosáhne **vstupní rychlosti větru**. To je nejnižší rychlost větru, při které je aerodynamický výkon rotoru větší než součet zatížení zařízení a mechanické a elektrické neúčinnosti. **Vypínací rychlost větru** je rychlost, při které je dodatečná výroba energie nižší než náklady na pevnost konstrukce, aby odolala přírůstkovému únavovému poškození. A konečně, **jmenovitá rychlost větru** je rychlost, při které turbína pracuje s téměř maximální účinností. Cílem je provozovat větrné turbíny v blízkosti maximální účinnosti nebo s maximální účinností.
- Standardní míra účinnosti větrných turbín je známá jako **součinitel výkonu C_p** a je definována jako:



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Součinitel výkonnosti

$$c_p = \frac{P_{aero}}{P_{wind}} = \frac{P_{aero}}{1/2\rho \times S \times v^3} = \frac{P_{aero}}{1/2\rho \times \pi \times R^2 \times v^3}$$

$$c_p = \frac{16}{27} \approx 0,59 = \text{Betzův limit}$$

Součinitel výkonnosti

1. Součinitel výkonnosti C_p patří mezi klíčová měřítka výkonu v designu větrných turbín, a odpovídá poměru aerodynamického výkonu získaného větrnou turbínou, P_{aero} , a celkového výkonu větru, P_{wind} , Vztah vypadá následovně:
2. Maximální teoretickou účinnost turbíny odvodil Albert Betz v roce 1920. Betz dospěl k závěru, že tato hodnota je 59 %, což znamená, že pouze 59 % kinetické energie z větru lze využít k roztočení turbíny a výrobě elektřiny. Betzův limit je hodnotou čistě teoretickou. Ve skutečnosti se běžné účinnosti větrných turbín pohybují v rozmezí 35-45%.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Součinitel výkonnosti

$$TSR = \frac{\Omega R}{v}$$

Kde:

Ω – rychlost otáčení turbínové lopatky, rad/min

R – poloměr rotoru, m

v – rychlost větru, m/s

TSR – poměr rychlostí na špičce



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Součinitel výkonnosti

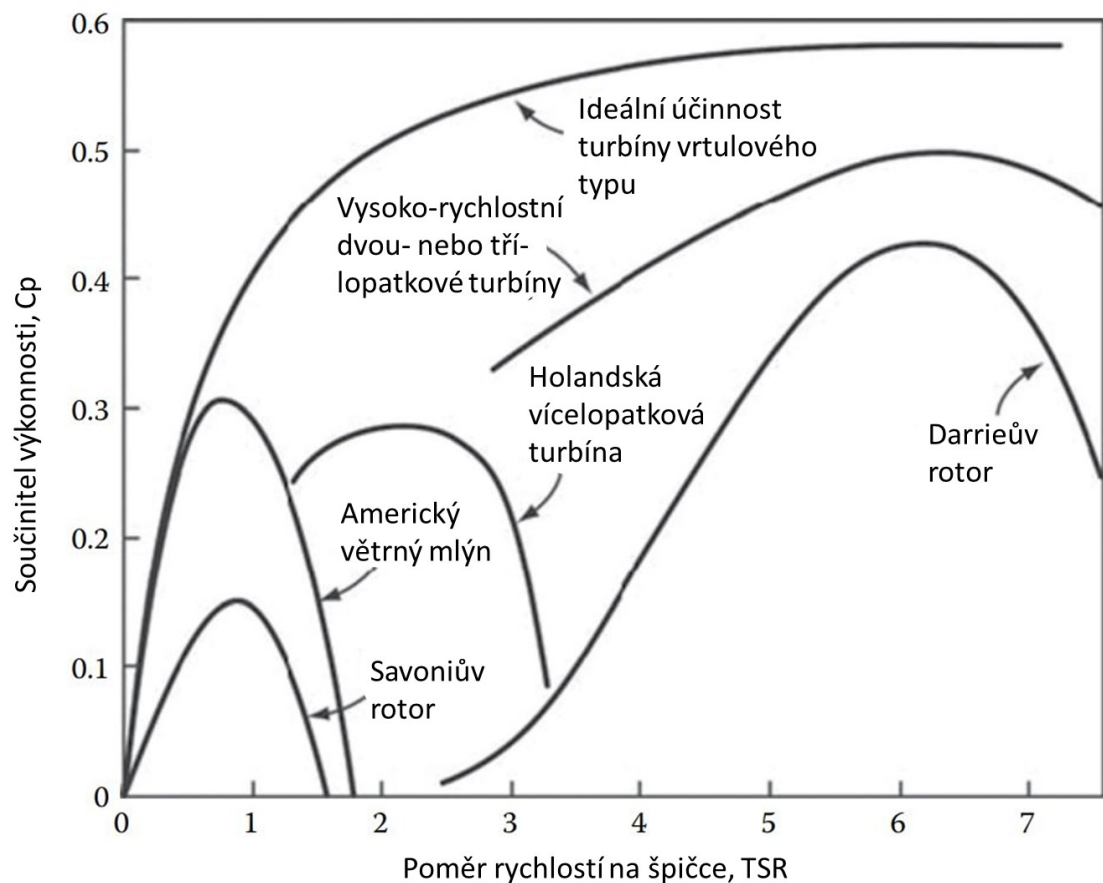
S ohledem na předchozí vztahy, je součinitel výkonnosti C_p funkcí také toho, jak rychle se špičky lopatek větrných turbín otáčejí vzhledem k příchozímu větru. Poměr rychlosti otáčení lopatky dělený příchozí rychlostí větru je známý jako poměr rychlostí na špičce (TSR).



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Součinitel výkonnosti



Autor: Jakub Ševčík– vlastní dílo

$$C_p = \frac{P_{aero}}{P_{wind}}$$

$$TSR = \frac{\Omega R}{v}$$

Součinitel výkonnosti

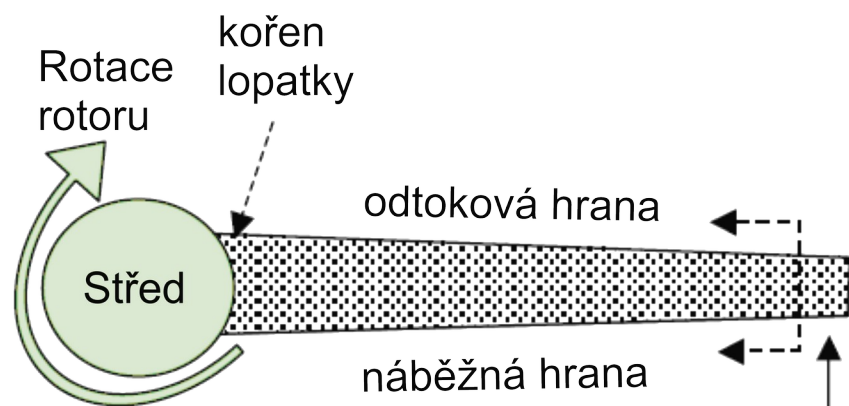
Na obrázku je součinitel výkonnosti vykreslen jako funkce TSR pro různé konfigurace větrných turbín. Můžeme si zde povšimnout několika klíčových bodů, počínaje shora. Nejvyšší čára ukazuje, jak se maximální teoretický součinitel výkonnosti zvyšuje s rostoucí TSR. Betzova mezní hodnota 0,59 se přibližuje asymptoticky, když se TSR zvyšuje směrem k hodnotě sedm ($TSR = 7$). Další nejvyšší křivka označuje výkon dnešních moderních vysokorychlostních dvou- nebo třílistých turbín s horizontální osou. Maximální teoretický součinitel výkonnosti pro tyto turbíny je přibližně $C_p = 0,5$, zatímco Darrieův rotor s vertikální osou má maximální C_p přibližně 0,40–0,45. Moderní dvou- a třílisté HAWT jsou tedy přibližně o 10 % účinnější než stroje Darrieus (VAWT) a mají potenciál vyrobit o 10 % více energie..



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU

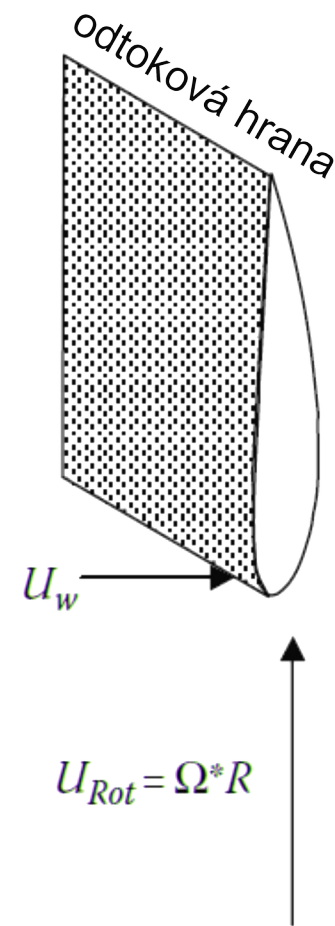


Aerodynamika



Poznámka: U_w
(směr rychlosti větru
je do plátna)

$U_{Rot} = \Omega * R$
Rychlost rotace



Aerodynamika

- Aerodynamika je nauka o tělesech pohybujících se v plynech. Její využití umožňuje optimalizovat tvar lopatek a věže a také optimalizovat rychlost otáčení lopatek. Cílem je maximalizovat odběr energie z přicházejícího proudu větru a minimalizovat vliv zatížení větrem (ustáleného i nestacionárního).
- Zkoumání aerodynamiky lopatek větrných elektráren pomáhá vysvětlit, proč mají různé konfigurace větrných turbín tak různé koeficienty výkonu, C_p . Na obrázku můžete vidět lopatku větrné turbíny rotující (v rovině papíru) ve směru hodinových ručiček. Atmosférický vítr, U_w , fouká směrem k čepeli (tj. do roviny papíru). Pohled v řezu na profil lopatky je znázorněn na pravé straně obrázku. Dva proudy vzduchu působící na lopatku jsou rychlost příchozího větru U_w , která je kolmá k rovině rotujících lopatek, a rychlost generovaného větru $U_{Rot} = \Omega R$, vytvořenou lopatkou turbíny rotující úhlovou rychlostí Ω při poloměru průřezu R . Všimněte si, že strana profilu křídla směřující proti větru (označená jako přední strana) je relativně plochá ve srovnání se zakřivenou zadní stranou profilu křídla. Náběžná hrana profilu naráží na proud vzduchu vznikající rotací lopatky, což způsobuje, že se proud vzduchu rozdělí na dva proudy po stranách profilu. Konečně, odtoková hrana je místo, kde je proud vzduchu přes dvě strany profilu křídla znovu spojen.



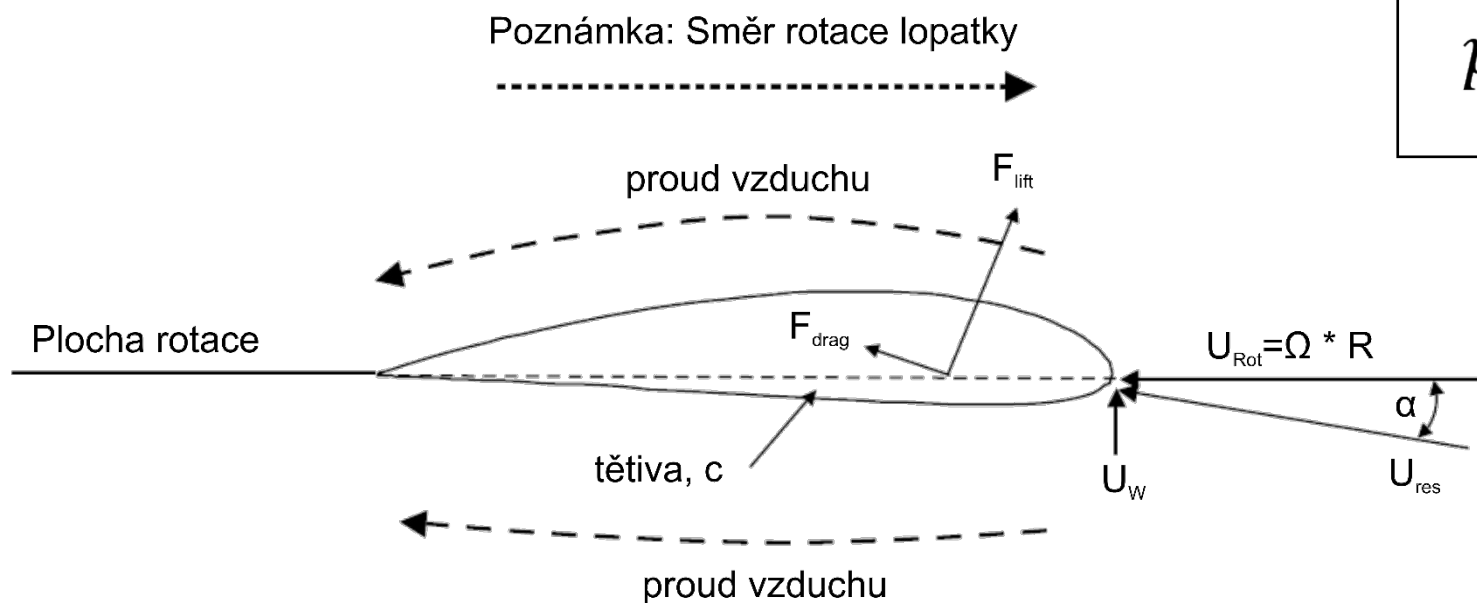
Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Aerodynamika

Bernoulliho zákon

$$p + \frac{1}{2} \times \rho \times U^2 = \text{const.}$$



Autor: Jakub Ševčík – vlastní dílo

Aerodynamika

Na obrázku je znázorněn průřez lopatkou poblíž špičky lopatky s výslednými silami vytvářenými procházejícím větrem, vztlakovou silou F_{Lift} a odporovou silou F_{Drag} . Přímka spojující přední (náběžnou) a zadní (odtokovou) hranu profilu křídla je známá jako „**tětiva**“. Také je zobrazena výsledná složka rychlosti U_{Res} mezi rychlostí větru U_w a větrem vznikajícím z rychlosti otáčení lopatky U_{Rot} . Nakonec úhel mezi výslednou rychlostí větru U_{Res} a **tětivou** je úhel náběhu α .

- Podle Bernoulliho zákona, viz rovnice, je rychlost nejvyšší na zakřiveném (horním) povrchu jakéhokoli profilu (např. křídla letadla). Bernoulliho zákon nám navíc říká, že tlak je nejnižší tam, kde je rychlost nejvyšší. V případě lopatky větrné turbíny je tlak na zadním (tj. horním) povrchu profilu křídla nižší ve srovnání s předním (tj. spodním) povrchem profilu křídla.
- Stručně řečeno, nejnižší tlak je v blízkosti náběžné hrany („nosu“) profilu, kde je rychlost větru nejvyšší, a dále nad zadní (nebo horní) zakřivenou plochou. To má za následek výslednou, F_{Lift} , na profil křídla, která způsobí jeho rotaci. Podle konvence jsou výsledné síly na profilu křídla vedeny kolmo, F_{Lift} , a rovnoběžně, F_{Drag} , k výsledné rychlosti, U_{Res} . Čím vyšší je zvedací síla (a naopak nižší brzdná síla) podél lopatek větrné turbíny, tím větší je rotační síla.

Celosvětová situace

Na obrázku vlevo můžete vidět roční výrobu elektřiny z větrných zdrojů v terawatthodinách (TWh) za rok. Zahrnuje jak pevninské, tak pobřežní větrné elektrárny. Oblasti s nejtemněší modrou disponují nejvyšší produkcí okolo **225 TWh (Čína a USA)** (pro představivost roční spotřeba elektrické energie v ČR je cca 75 TWh).

Dalším silným producentem elektrické energie z větru je Německo - (**okolo 100-150 TWh**). Potom následuje Indie, Británie, Francie, Brazílie s produkcí (**okolo 50-75 TWh**) Naopak oblasti bílé nedisponují žádnou produkcí energie z větrných zdrojů

Situace v ČR

- Jak vypadá situace v České republice můžete vidět na obrázku vlevo. Nejvyšší hustota větrných turbín je v pohraničí, a to přesněji v za **1. západních Čechách (v oblasti Krušných hor), 2. Oblast Krkonoší, 3. Oblast Jeseníků, 4. Valašsko (oblast Bílých Karpat).**
- V současně době jsou v České republice velmi podporovány zdroje využívající energie ze slunce, ať už ve formě fotovoltaických panelů či ve formě solárních kolektorů. Na malé větrné elektrárny se již s dotační podporou nedostalo. Nejvíce jsou na našem území rozšířené velké větrné elektrárny s rotorem ve výšce od 35 do 100 m nad zemí. V této výšce dochází k částečnému ustálení proudění větru.
- Vpravo pak můžete vidět grafické znázornění vývoje instalovaného výkonu a vyrobené energie pomocí větrných elektráren na území České republiky. Pro přehlednost je přiložena taktéž tabulka, z níž můžeme vypíchnout několik hlavních bodů, například že od roku 2004 narostl zisk energie z větrných zdrojů přibližně o 2 řády. Další zajímavostí je že od 2009 do 2022 došlo při stejném instalovaném výkonu pouze k minimální fluktuaci výroby elektrické energie.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Literární zdroje

1. Kutscher, C. F., Milford, J. B., & Kreith, F. (2019). *Principles of Sustainable Energy Systems*. CRC Press.
2. Twidell, J., & Weir, A. D. (2006). *Renewable Energy Resources*. Taylor & Francis.
3. MacKay, D. (2016). *Sustainable energy – without the hot air*. Unspecified.
4. Coulson, C. A., & Jeffrey, A. (1977). *Waves: A Mathemat. approach to the common types of wave motion*. Longman.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU




Vodní energie

Jakub Ševčík

ADAPT UTB: Adaptabilní, Digitální, Agilní,
Progresivní, Transformace UTB ve Zlíně, reg. č.

NPO_UTB_MSMT-16585/2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

"Water is the driving force of all nature."



Leonardo da Vinci

Motivace

1. Vodní energie využívá k výrobě elektřiny energii tekoucí vody, aniž by se snižovalo její množství. Proto všechny vodní elektrárny, ať už malé nebo velké, ať už tekoucí z řeky nebo akumulované, odpovídají konceptu obnovitelné energie.
2. Říční voda je domácím zdrojem, který na rozdíl od pohonných hmot nebo zemního plynu nepodléhá výkyvům na trhu. Kromě toho je jediným velkým obnovitelným zdrojem elektřiny a její poměr nákladů a přínosů, účinnost, flexibilita a spolehlivost napomáhají optimalizaci využití tepelných elektráren.
3. Vodní energie je flexibilním zdrojem elektřiny, protože její výkon lze rychle zvyšovat a snižovat, aby se přizpůsobil měnícím se požadavkům na energii. Vodní turbíny mají dobu náběhu několik minut a výroba energie se může rychle snížit, když je jí přebytek. Proto se o ní také někdy mluví jako o **strážci sítě**.

Historie

A) První mlýny poháněné vodou sestrojili, dle historických pramenů, Římané. Tyto mlýny dokázaly řezat velké množství dřeva nebo kamene (mramoru) a ušetřit tak obrovské množství lidí a námahy. Pila byla úžasně složitý stroj sestávající z vratných pil poháněných vodním kolem. Pila byla spojena s klikou připojenou k rotující hřídeli spojenou s vodním kolem. Soustava ozubených kol navíc zvyšovala rychlost kliky (převody). Udajný konstrukterem byl Vitruvius – poslední století př.n.l. (uvádí se 40/10 BC)

B) Elektrárna na Vulcan Street byla první Edisonovou vodní elektrárnou. Byla postavena na řece Fox River v Appletonu ve Wisconsinu a uvedena do provozu 30. září 1882.

V roce 1895 Tesla a průmyslník George Westinghouse vytvořili u Niagarských vodopádů první vodní elektrárnu na světě, čímž předstihli Teslova konkurenta Thomase Edisona a změnili náš pohled na tyto mocné přírodní síly.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU

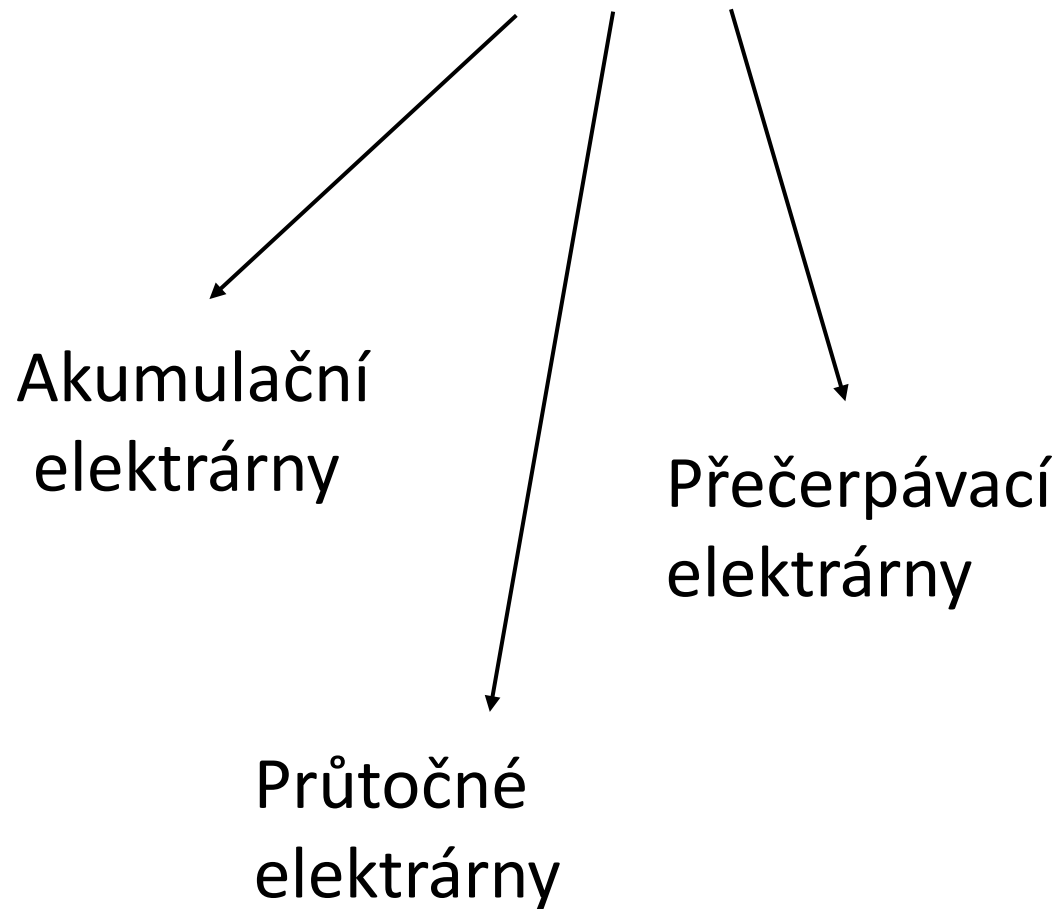


Národní
plán
obnovy

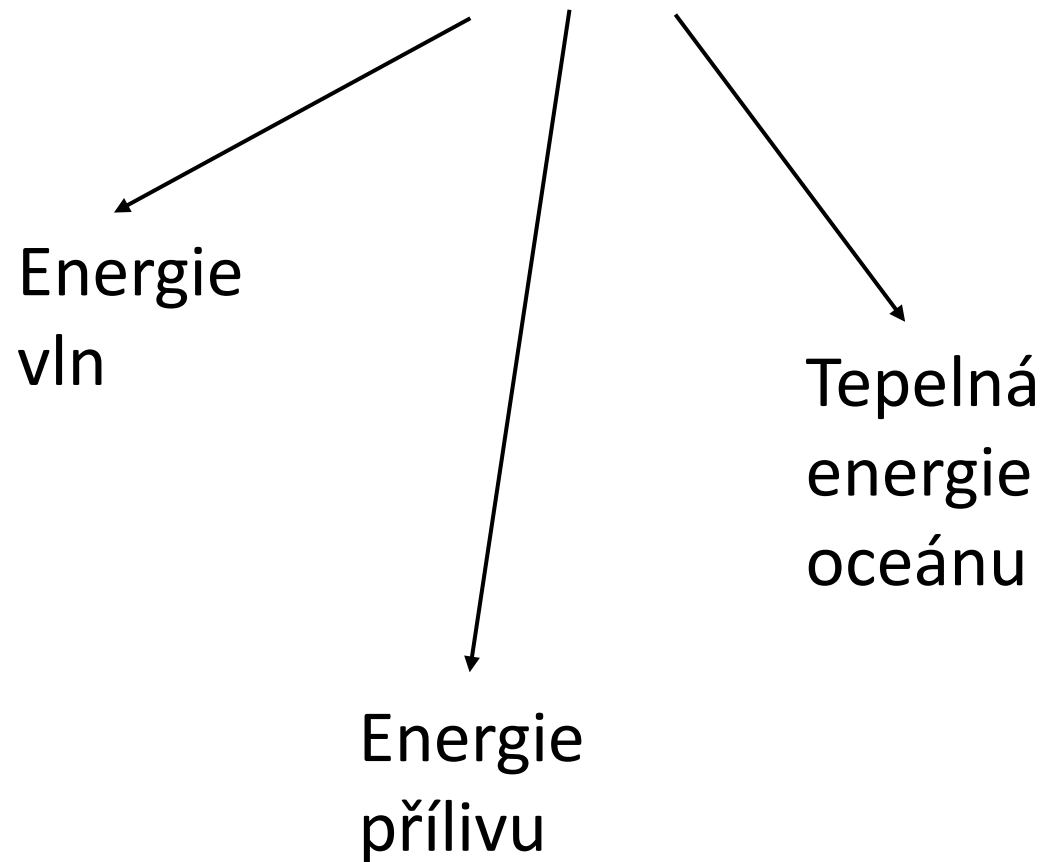


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Hydroenergetika



Energie z oceánů



Dělení energetiky vodních zdrojů

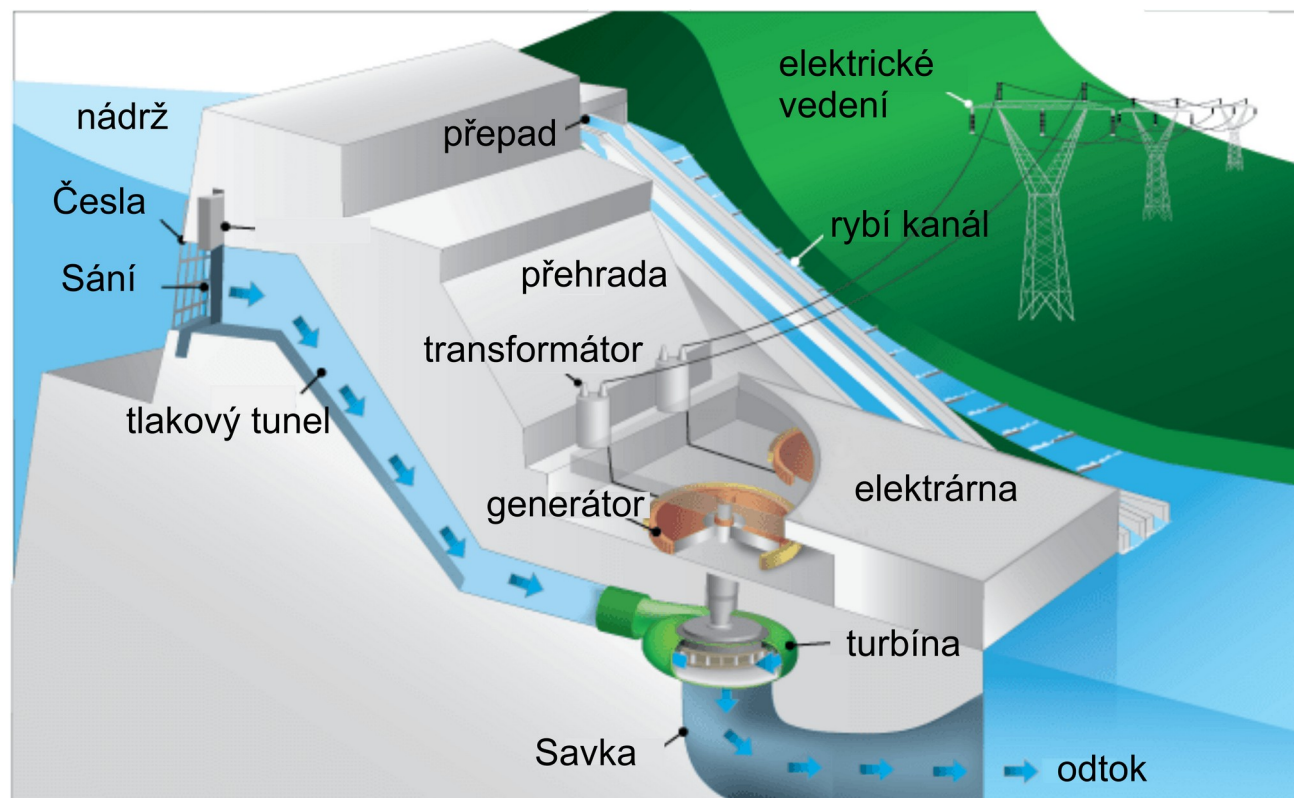
- Energetiku vodních zdrojů můžeme rozdělit na **hydroenergetiku**, kterou představují vodní elektrárny situované na přehradách, či podél řek a pracující na principu přeměny kinetické energie pohybujících se vodních toků pomocí turbíny na energii elektrickou. Existují tři konstrukční řešení vodních elektráren: Akumulační (přehradní), průtočné a přečerpávací.
- Druhým způsobem je využití **energie oceánů**. Energie z oceánů je relativně novou oblastí výzkumu a vývoje, ale má potenciál stát se významným zdrojem obnovitelné energie. Existuje několik způsobů, jak využít energii oceánů, včetně: Energie vln, energie přílivu a odlivu a přeměna tepelná energie oceánů (OTEC)



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Hydroenergetika – akumulční (přehradní) elektrárna



By U.S. Department of Energy, <https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants>



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Hydroenergetika – akumulární (přehradní) elektrárna

- Přehradní elektrárny patří nejběžnější typ vodních elektráren.
- Jedná se o typicky velký hydroenergetický systém, využívající přehrady k zadržování říční vody v nádrži.
- Voda vypouštěná z nádrže protéká turbínou, roztáčí ji a ta následně aktivuje generátor, který vyrábí elektřinu.
- Voda může být také vypouštěna kvůli měnícím se potřebám elektrické energie nebo jiným potřebám, jako je ochrana před povodněmi, rekreace, rybí přechody a další potřeby v oblasti životního prostředí a kvality vody.

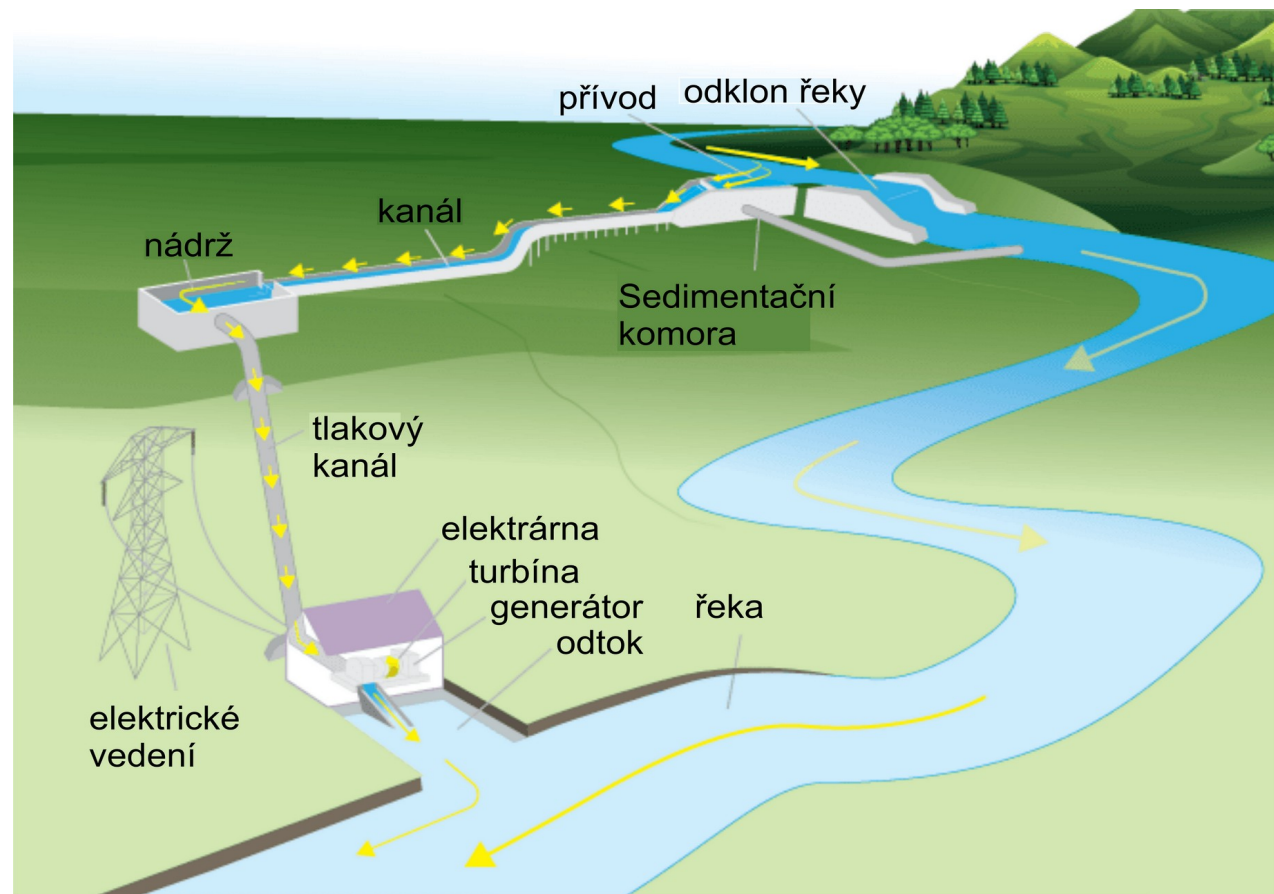
Na obrázku můžete vidět schéma zadržovací vodní elektrárny.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Hydroenergetika – průtočná elektrárna



By U.S. Department of Energy, <https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants>



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Hydroenergetika – průtočná elektrárna

Průtočná zařízení, někdy nazývaná " říční" zařízení, převádí část řeky kanálem a/nebo vzdouvacím zařízením a využívá přirozeného poklesu výšky koryta řeky k výrobě energie. Tlakový kanál je uzavřené potrubí, které vede tok vody k turbínám s průtokem vody regulovaným stavidly, ventily a turbínami. Převádění nemusí vyžadovat použití přehrad.

Na obrázku můžete vidět schéma zadržovací vodní elektrárny.



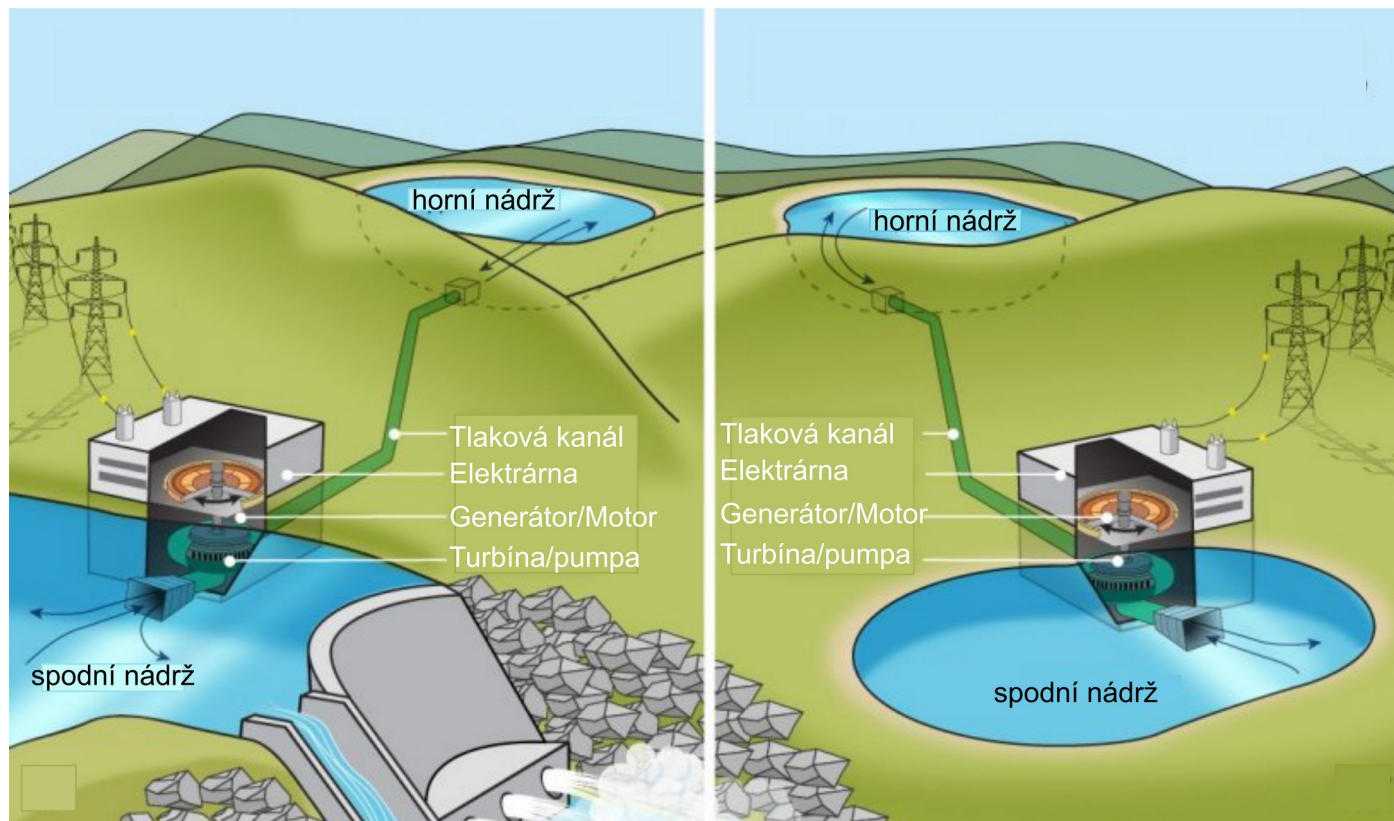
Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Hydroenergetika – přečerpávací elektrárna



By U.S. Department of Energy, <https://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower>

Hydroenergetika – přečerpávací elektrárna

- Posledním typem jsou tzv. přečerpávací vodní elektrárny (PVE). Fungují jako obří baterie. Když je poptávka po elektřině nízká, zařízení PVE je schopno ukládat elektřinu vyrobenou z jiných zdrojů energie, jako jsou solární, větrné a jaderné elektrárny, pro pozdější použití přečerpáváním vody z nádrže v nižší nadmořské výšce do nádrže ve vyšší nadmořské výšce. V období vysoké poptávky po elektřině se voda vypouští zpět do dolní nádrže, kde roztáčí turbínu a vyrábí elektřinu.
- Obrazek a) PVE s otevřenou smyčkou má trvalé hydrologické spojení s přírodním vodním zdrojem.
- Obrazek b) PVE s uzavřenou smyčkou nemá nádrže napojeny na vnější vodní plochu.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Hydroenergetika – výkon, účinnost

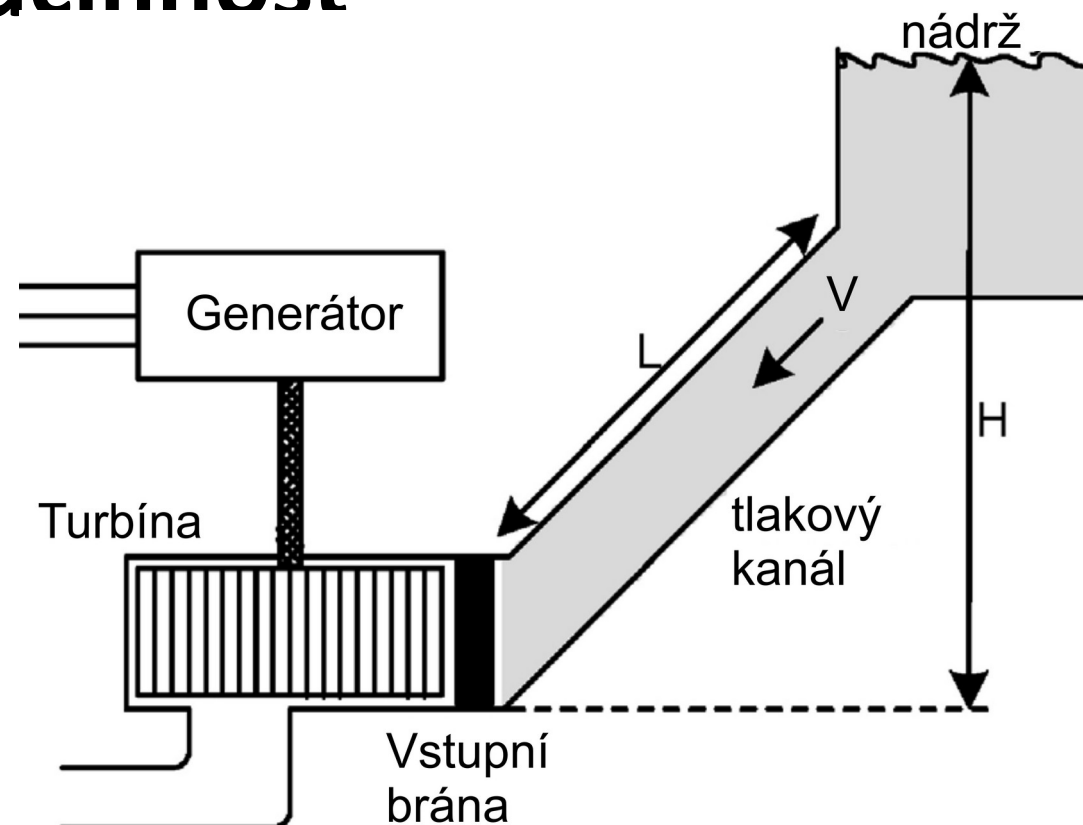
Výkon vodní elektrárny

$$P = \rho * h * V * g * \eta$$

Typická účinnost

$$\eta_C = \eta_T * \eta_P * \eta_G$$

$$\eta_C = 0,85 * 0,95 * 0,93 = 0,751 \text{ tj. } 75,1\%$$



Autor: Jakub Ševčík– vlastní dílo

Hydroenergetika – výkon, účinnost

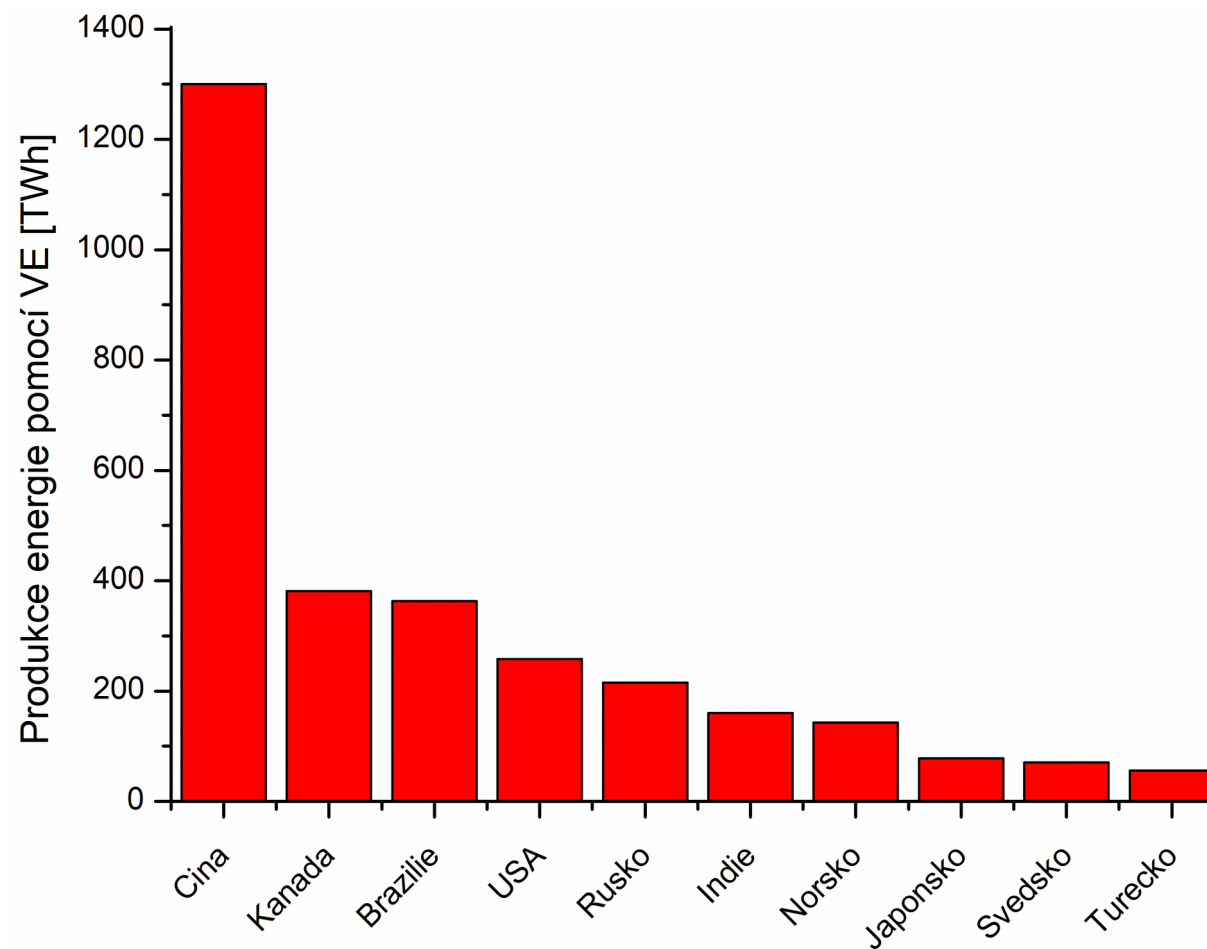
- Vztak 1: Výroba elektrické energie z vodní elektrárny se přibližně rovná viz. Vztah výkon vodní elektrárny.
- Kde:
 - P – výkon [W]
 - ρ – hustota vody [kg/m³]
 - h – výškový rozdíl mezi horní částí nádrže a turbínou (hlava) [m]
 - V – průtok vody [m³/s]
 - g – gravitační zrychlení [m/s²]
 - η – účinnost elektrárny [-]
- Zjednodušeně řečeno, maximální výkon vodní elektrárny zcela závisí na tom, jaký je v místě průtok a výška hladiny, takže malý mikrohydrosystém může vyrábět např. pouze 2 kW, zatímco velký vodní systém může snadno vyrábět stovky megawattů (MW). Pro představu, vodní systém o výkonu 2 kW by mohl uspokojit roční potřebu elektrické energie dvou průměrných domácností ve Velké Británii, zatímco systém o výkonu 200 MW by mohl zásobovat 200 000 průměrných domácností ve Velké Británii.
- Vztah 2: U typického malého vodního systému je účinnost turbíny 85 %, účinnost pohonu 95 % a účinnost generátoru 93 %, takže celková účinnost systému je 75%.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Hydroenergetika – top 10 producentů



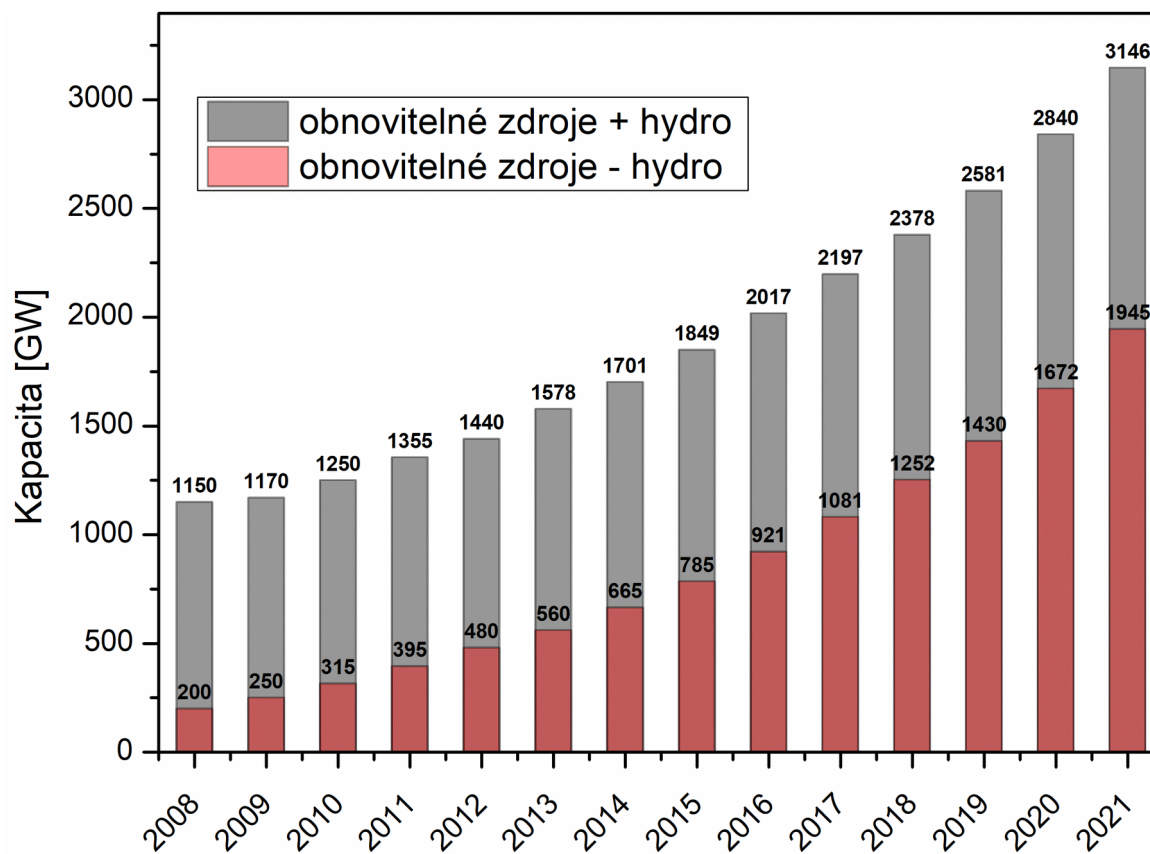
Autor: Jakub Ševčík – vlastní dílo



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Hydroenergetika – Aplicační trend vs obnovitelné zdroje



Autor: Jakub Ševčík – vlastní dílo

Hydroenergetika – Aplikační trend vs obnovitelné zdroje

Graf znázorňuje nárůst kapacity obnovitelných zdrojů v [GW] v letech 2008 až 2021. Je možno vyčíst několik zásadních informací.

1. Pokud se zaměříme na rok 2008, je krásně vidět, jak podstatnou část obnovitelných energetických zdrojů energie tvořila hydroenergetika (cca 83%), zatímco v roce 2021 tvořila 38%. Z toho lze soudit, že těžiště výstavby nových energetických jednotek obnovitelných zdrojů energie se od roku 2008 přesouvá od hydroenergetických jednotek směrem jiným (větrná energie, fotovoltaika, geotermální energie apod.)
2. Od roku 2008 do roku 2021 byla vystavena pouze 250 GW nových hydroenergetických jednotek.
3. Naopak kapacita ostatních obnovitelných zdrojů se od roku 2008 do roku 2021 zvýšila o 1745 GW, což je nárůst asi o 1000%.

Hydroenergetika – Historický vývoj v ČR

| Rok | Počet | Instalovaný výkon [MW] | Roční výroba [MWh] |
|------|-------|------------------------|--------------------|
| 2001 | 1380 | 275 | 710000 |
| 2000 | 1352 | 268 | 660000 |
| 1995 | 1200 | 200 | 500000 |
| 1990 | 900 | 65 | 170000 |
| 1985 | 250 | 20 | 80000 |
| 1980 | 135 | 10 | 30000 |
| 1933 | 11700 | 150 | 200000 |

Hydroenergetika – Historický vývoj v ČR

Ze statistických údajů vyplývá, že v roce 1933 fungovalo v Čechách a na Moravě celkem 11700 MVE. V dobách socialistického režimu docházelo k rušení funkčních MVE, které vyplynulo z tehdejších politických a hospodářských rozhodnutí. Tato malá vodní díla sloužila potřebám obcí, podniků nebo jednotlivců. Z důvodu vyšších specifických investičních nákladů vůči nákladům velkých tepelných elektráren se velmi obtížně nebo vůbec nedařilo prosazovat využití vodní energie na nově budovaných nebo rekonstruovaných jezích. V roce 1953 se počet MVE snížil na 4392, v roce 1966 na 450 a na konci sedmdesátých let jich bylo v provozu pouhých 109. Zrušení MVE bylo většinou provedeno jen administrativně, bez demontáže soustrojí a bez předání budovy za účelem jiného využití. Postupně docházelo k devastaci nejen strojovny elektrárny, ale také náhonů, jezů atd. Přesto však bylo možné na řadě míst opět zahájit výrobu elektřiny s relativně malým objemem finančních prostředků. S příchodem osmdesátých let se začal měnit přístup k využívání vodní energie. Ukázalo se, že vyřazování dalších elektráren z provozu je škodlivé a nesmyslné. Započala tedy renesance MVE. Od přelomu tisíciletí je již patrný útlum zapříčiněný postupným obsazováním vhodných lokalit. V současnosti se nevyužitý hydroenergetický potenciál nachází v relativně malé míře pouze v oblasti malých spádů (okolo 2 m).

Předchozí tabulka uvádí vývoj MVE v ČR během 20. století.

Hydroenergetika – Historický vývoj v ČR

V České republice je k roku 2018 (poslední zaznamenaný statistický výpis) v provozu **11 velkých vodních elektráren** (instalovaný výkon nad 10 MW) s celkovým instalovaným výkonem 1918 MW.

Vodní elektrárny včetně přečerpávacích představují přibližně 2-3 % výroby hrubé elektřiny v roce 2018.

Energie oceánů

Energie z oceánů je relativně novou oblastí výzkumu a vývoje, ale má potenciál stát se významným zdrojem obnovitelné energie. Existuje několik způsobů, jak využít energii oceánů, a to:

1. Energie vln

2. Energie přílivu a odlivu

3. Tepelná energie oceánů

Motivace

- Oceány tvoří téměř 70 % povrchu naší planety a jsou v neustálém pohybu díky vlnám, přílivu a odlivu a mořským proudům.
- Tyto pohyby vznikají různě: vlny vznikají působením větru, příliv a odliv působením Měsíce a Slunce a mořské proudy působením rozdílů v teplotě vody a otáčením planety.
- Tento nekonečný pohyb oceánu lze efektivně využít k výrobě čisté, obnovitelné elektrické energie



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Energie vln – historie

První známý patent na získávání energie z oceánských vln byl podán v roce 1799 v Paříži Pierrem-Simonem Girardem a jeho synem.

Další vynálezce vlnových motorů, Fred Starr, se v roce 1907 dočkal ještě většího konce. Jen kousek od Reynoldsovy pláže Huntington Beach postavila společnost Starr Wave Motor Company u Redondo Beach obrovskou elektrárnu.

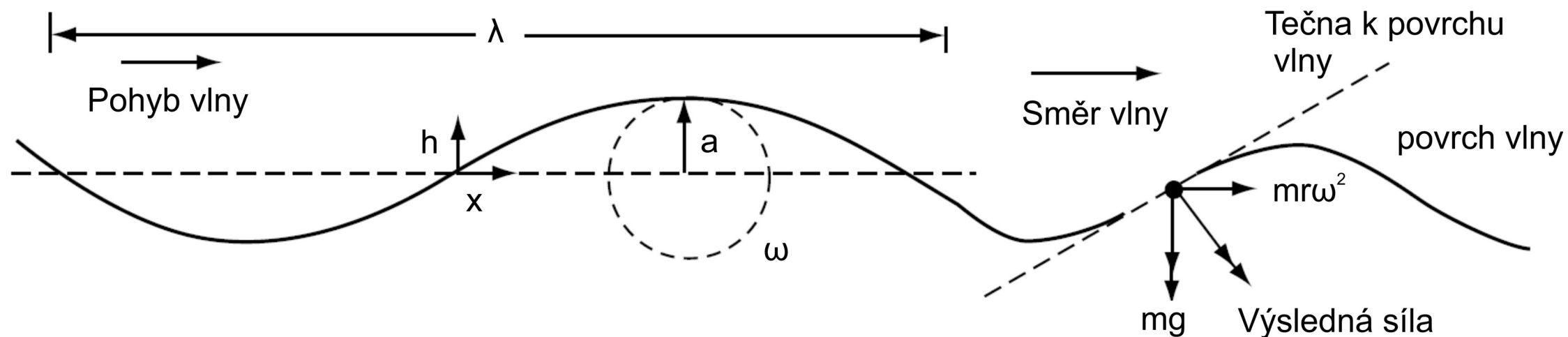
Skutečné zařízení zkonstruované kolem roku 1910 v Royanu nedaleko Bordeaux ve Francii, jehož autorem je M. Bochaux-Praceique použil oscilace vodní hladiny ve svislém vrtu ve skále pohánělo vzduchovou turbínu o výkonu 1 kW. Zařízení dodávalo veškerý výkon a světlo pro obytný dům.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Energie vln – princip



Autor: Jakub Ševčík – vlastní dílo

Energie vln – princip

Typickou oceánskou vlnu lze aproximovat sinusovým tvarem výšky a , jak je znázorněno na obrázku. Definujeme-li průměrnou výšku nad vodní hladinou a (m), vzdálenost mezi vrcholy jako vlnovou délku λ (m), rychlost, s jakou se vrcholy pohybují po hladině oceánu, jako rychlost vlnění u (m/s), dobu, za kterou po sobě jdoucí vrcholy projdou pevným bodem, jako periodu P (s) a frekvenci vlnění jako $\nu = 1/P$, můžeme určit důležité charakteristiky vlnění. Pomocí tohoto typu zjednodušeného a idealizovaného vlnového pohybu navrhli například Twidell a Weir postup pro odhad výkonu hlubokomořských vln, který vychází z teoretických základů položených v roce 1977 Coulsonem a Jeffreyem.

Charakteristické vlastnosti hlubokovodních vln jsou shrnuty následovně:

Energie vln – princip

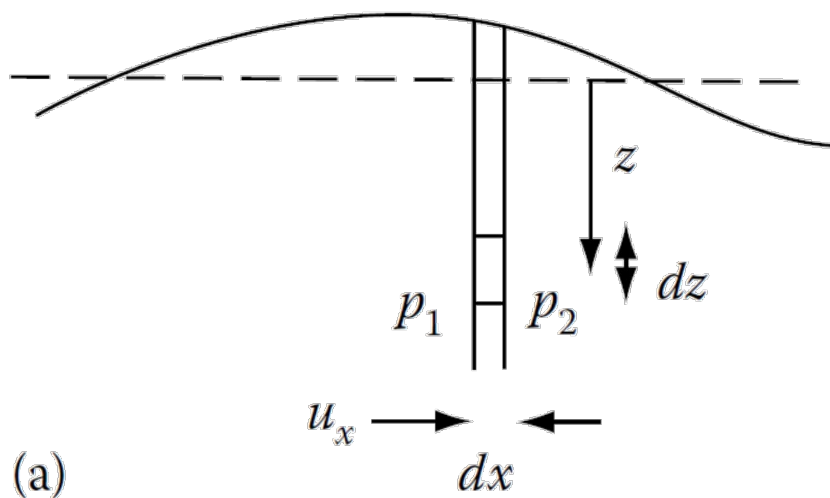
Vzhledem k tomu, že většina zařízení navržených pro získávání energie je určena pro hlubokovodní vlny, lze předpokládat, že dvě dominantní síly jsou výsledkem gravitace a kruhového pohybu. Průměrná vlna pro výrobu energie má vlnovou délku ~ 100 m, amplitudu ~ 3 m a chová se jako hlubokovodní vlna o hloubce větší než ~ 30 m s kruhovým pohybem vodních částic. Kružnice přibližují pohyb částice v hluboké vodní vlně. Tento kruhový pohyb má úhlovou rychlost ω (rad/s) a amplitudu a (m), která exponenciálně klesá s hloubkou D a stává se zanedbatelnou, když $D > (\lambda/2)$.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU

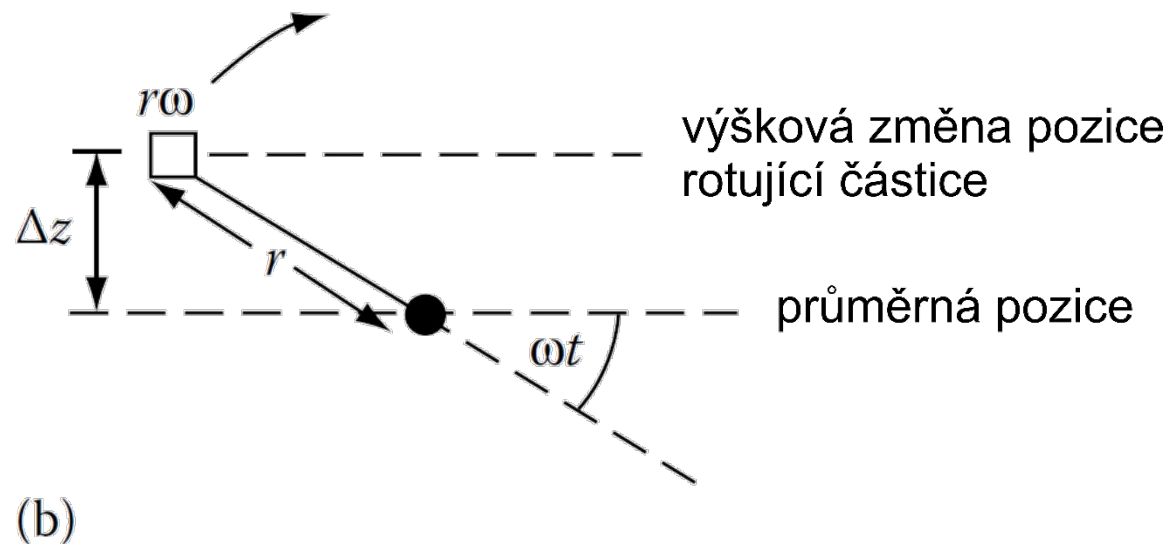


Energie vln – princip



(a)

$$r = ae^{kz}$$



(b)

Energie vln – princip

- Pro výpočet výkonu, který lze získat z hlubokovodních vln, zjednodušíme exaktní matematické zpracování. Ukazuje se, že pro povrchovou vlnu o amplitudě a a vlnovém čísle k je poloměr pohybu částic pod hladinou r roven $r = a \exp(kz)$.
- Obrázek: Lokální kolísání tlaku v hluboké vodní vlně: (a) tlak ve vlně a (b) lokální posun vodní částice.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Energie vln – princip

$$P^1 = \int_{z=-\infty}^{z=0} (p_1 - p_2) u_x dz$$

$$p_1 - p_2 = \rho g \Delta z$$

$$\rho g a e^{kz} \sin \omega t$$

P

T

$$P' = \left(\frac{\rho g a^2 \omega}{2} \right) \left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{g T}{2\pi} \right) = \frac{\rho g a^2 T}{8\pi}$$

λ

$$P' = \left(\frac{\rho g a^2}{8\pi} \right) \left(\frac{2\pi \lambda}{g} \right)^{1/2}$$



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Energie vln – princip

1. Pak výkon P_1 ve vlně v bodě x na jednotku šířky vlnoplochy, je dán vztahem: kde $(p_1 - p_2)$ je rozdíl tlaků, kterému je vystaven prvek výšky d_z ve vodorovném směru. Tento rozdíl tlaků je roven změně potenciální energie částic rotujících po kruhových drahách.
2. To znamená, že výkon vlny roste přímo-
úměrně s druhou mocninou amplitudy vlny a první mocninou periody.
Je tedy jasné, proč jsou pro inženýry oceánské vlny s dlouhou periodou a velkou amplitudou tak přitažlivé.
3. Nutno dodat, že vlny s dlouhou periodou lze stejně dobře charakterizovat jako vlny s dlouhou vlnovou délkou, přičemž zapsané v termínech vlnové délky a amplitudy vypadají takto:



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Energie vln – konvertory

Konvertory energie vln byly vyvinuty za účelem získávání energie z od pobřeží až do hlubších vod na moři. Tato zařízení jsou obecně kategorizována podle místa instalace a systému pomocného motoru (PTO).

Většina zařízení může být řazena do 6-ti základních konfigurací: Útlumové zařízení; bodové absorbéry (bójového typu); zařízení využívajících vlnových rázů; zařízení využívající oscilací vodního sloupce; náběhové konvertory; a ponořené konvertory pracující na základě tlakového rozdílu.

Energie vln – konvertory

Existuje celá řada způsobů, jak získat energii z vln: pneumaticky, hydraulicky a mechanicky. Tato zařízení jsou koncipována tak, aby převáděla pomalou rotační rychlost nebo vratný pohyb na vysokorychlostní rotační pohyb pro připojení ke konvenčnímu rotačnímu elektrickému generátoru. Lineární generátory jsou vhodné zejména pro fázi testování, a proto se v současnosti ve většině vyvinutých WECs (wave energy converters) nepoužívají. Konkrétně byly zkoumány různé typy lineárních generátorů pro WEC.

Tato zkoumání vedla k závěru, že generátory s permanentními magnety využívající příčný tok jsou dobrým kandidátem z hlediska vyššího výkonu a účinnosti. Použití indukčních generátorů předpokládá se součinností specifického mechanického PTO (pomocného pohonu), který indukuje dodatečné ztráty ovlivňující celkovou účinnost WEC.

Energie vln – rozložení

Severní a jižní část polokoule v oblastech mírného pásu disponují nejlepšími místy pro zachycení energie vln, a to převážně v zimním období, díky intenzivním převládajícím větrům vanoucím ze západu.

Přesněji jde o zvýšená vlnovou aktivitu nacházející se mezi 30tým a 60tým stupněm jak jižní, tak severní šířky.

Energie vln – WECs

Několik technologií vlnové energie bylo úspěšně testováno v podmínkách životního prostředí, což podporuje proveditelnost WEC v oblasti Středozemního moře. Kromě toho stojí za to podložit skutečnost, že již pět různých typů WEC bylo prověřeno bez větších problémů. To znamená, že vlnové podmínky umožňují extrakci energie vln různými technologiemi. Konkrétně **Wave Clapper**, který je jedním ze čtyř různých zařízení **bodových absorbérů**, které byly nasazeny, byl instalován ve dvou různých oblastech. Tři ze čtyř bodových absorbérů, Wave Clapper, SP WEC 3rd Gen a SP WEC 4th Gen, byla instalována na vlnolamech přístavů a čtvrtá, PB3 PowerBuoy, byla nasazena u pobřeží Ravenny. Vlnový výkon těchto bodových absorbérů se pohybuje mezi 3–36 kW, přičemž SP WEC 4th Gen je nejvýkonnějším bodovým absorbérem, který byl nasazen v celém Středomoří. Kromě toho je počet instalovaných modulů "**Wave clapper**" mnohem vyšší než u ostatních bodových absorbérů. PB3 PowerBouy ma pouze jeden modul, SP WEC 3rd Gen dva a také dva připadají SP WEC 4th Gen. Z hlediska ostatních typů zkoumaných WEC v reálných podmínkách je za nejvýkonnější považován projekt integrovaného REWEC3 v přístavu Civitavecchia. REWEC3 patří mezi OWC (oscilující vodní sloupec) s instalovaným vlnovým výkonem 2500 kW, což je hodnota mnohem vyšší než u ostatních technologií. Následující výkonnější zařízení je ISWEC (100 kW) nasazené na ostrově Pantelleria. Byla nasazena dvě různá zařízení ISWEC: jedno má dvojnásobný výkon než druhé. Kromě toho je ISWEC jednou ze dvou technologií WEC ve Středozemním moři, která byla instalována na moři. Druhým WEC je PB3 PowerBouy, se 3 kW, což znamená mnohem nižší výkon.

Energie přílivu a odlivu

Pojmy **příliv a odliv**, souborně nazývanými **slapové jevy**, označujeme periodické zdvihání a klesání mořské hladiny oproti průměrné poloze hladiny ve světových oceánech.

Při zdvihání a klesání hladiny se linie břehu zvolna posouvá směrem k pevnině a od pevniny. Účinky přílivu poznají u moře již malé děti, když jim moře zničí hrady z písku, vybudované během odlivu na pláži. Příliv a odliv jsou natolik důležité jevy, že se o jejich průběhu již několik set let vedou podrobné záznamy v téměř každém přístavu. V jazycích přímořských států lze nalézt mnoho příkladů, kde slova označující tento děj přešla do každodenního jazyka. U nás se přeje „dobrý vítr do plachet“ nebo se o někom říká, že „jde proti větru“, Angličané místo toho přejí „dobrý příliv“ (*good tidings*) a nebo tvrdí, že dotyčný se dere proti přílivu (*goes against the tide*).

Energie přílivu a odlivu – slapové jevy

Přílivová energie má dlouhou historii. Ve středověku se v Evropě používaly malé přílivové mlýny k mletí obilí, ale v poslední době se v mnoha částech světa navrhuje využití přílivové energie ve velkém měřítku k výrobě elektřiny. Přílivovou energii lze využívat stavbou velkých zábran - v podstatě dlouhých nízkých hrází.

Když nastává příliv, může být zachycen pomocí přílivových nádrží, které se nacházejí za těmito hrázemi. Při odlivu může být voda za přehradou vypouštěna pomocí turbíny, která se do jisté míry podobá vodní elektrárně. Je však důležité odlišit přílivovou energii od vodní energie. Ta první je výsledkem působení gravitační síly Měsíce a Slunce na oceány, zatímco ta druhá je odvozena z hydrologického klimatického cyklu poháněného sluneční energií.

Energie přílivu a odlivu - historie

Lidé sledují příliv a odliv nepochybně již od dob, kdy začali osidlovat pobřežní oblasti kontinentu. Nejstarší písemné záznamy o tomto jevu pochází od Herodota, který svá pozorování konal ve Středozemním moři v roce 450 před naším letopočtem. I dávní mořeplavci věděli o existenci nějakého vztahu mezi přílivem a odlivem a cyklem Měsíce, neboť oba jevy se opakují podobným cyklickým způsobem. Správné vysvětlení těchto jevů však podal až **Isaac Newton** (1642-1727), když formuloval obecný gravitační zákon.

Ačkoliv může být studium slapových jevů velmi složité, v podstatě se jedná o velmi dlouhé a pravidelné vlny na mělčinách. Jejich vlnové délky čítají tisíce kilometrů a jejich výšky mohou dosáhnout až patnácti metrů. Slapové jevy jsou způsobeny gravitační přitažlivostí Slunce a Měsíce působící na každou částičku mořské vody, od hladiny až po oceánské dno.

Energie přílivu a odlivu - síly

Newtonova práce popisující síly, které v systému Země – Měsíc – Slunce působí, vedla k prvnímu pochopení projevů přílivu a odlivu. Je dobře známo, že gravitace udržuje Slunce, Měsíc a planety pohromadě. Většina z nás ve škole slyšela, že „Měsíc obíhá kolem Země“, ale skutečnost není zase tak jednoduchá. Dvě tělesa spíše rotují kolem společného těžiště (středu hmotnosti obou těles), jež se nachází uvnitř Země, asi 1600 kilometrů pod zemským povrchem, jako na obrázku.

Můžeme si to představit jako kladivo vržené do prostoru a rotující při letu kolem rovnovážného bodu, který se nachází blízko hlavy kladiva. Obě nebeská tělesa v systému Země – Měsíc se pohybují po drahách určených gravitací, v nichž setrvávají ve víceméně stejné vzdálenosti od sebe, a jejich vzájemný pohyb zabraňuje srážce. Gravitace rovněž přitahuje každou částičku vody k Měsíci i ke Slunci, čímž zapříčiňuje vznik přílivu a odlivu.

Energie přílivu a odlivu – koncentrace energie

Jak bylo již řečeno, technologie přílivové energie se spoléhá na příliv a odliv dvakrát denně. K získávání energie z přílivu a odlivu se přes přítok do přílivové nádrže staví zábrany a uvnitř zábran jsou umístěny turbíny. Potenciální energie rozdílu hladin vody napříč zábranou v důsledku přílivu a odlivu se při průchodu rychle se pohybující vody turbínou přeměňuje na kinetickou energii. Rotační kinetická energie lopatek turbíny pak může být využita k pohonu generátoru na výrobu elektřiny.

Průměrný výkon přílivového systému je zhruba úměrný čtverci rozdílu vodní hladiny mezi přílivem a odlivem. Za minimum pro životaschopnou výrobu elektřiny se považuje příliv a odliv alespoň 5 m. Někdy lze výšku přílivu zvýšit pomocí efektu **koncentrace**, jak je schematicky znázorněno na obrázku.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Energie přílivu a odlivu – princip

- Chcete-li odhadnout množství výstupní energie z přílivové hráze, předpokládejme, že před hrází je nekonečný oceán, zatímco za ním obdélníková pánev vymezuje objem, do kterého voda teče. Objem má povrchovou plochu A a rozsah mezi přílivem a odlivem je H , jak je znázorněno na obrázku. Příliv proudí volně do nádrže, ale když příliv utichne, voda se v nádrži zadrží uzavřením stavidel na úrovni H nad hladinou oceánu.
- V případě obdélníkové nádrže bude těžiště hmoty vody ve výšce $H/2$ nad hladinou moře. Celkový objem v nádrži tak bude $A \cdot H$ a její hmotnost bude ρ_{AH} . Veškerá voda uložená v nádrži by nyní mohla protékat turbínou z vysoké na nízkou hladinu vody.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Energie přílivu a odlivu – princip

Max. potenciální
energie za příliv



$$E = \rho A H g \left(\frac{H}{2} \right)$$

Prům. potenciální
energie



$$P = \frac{\rho A H^2 g}{2t}$$



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Energie přílivu a odlivu – princip

- Maximální potenciální energie E dostupná na příliv, za předpokladu, že veškerá voda projde výškou $H/2$, je tedy vztah 1, kde g je gravitační zrychlení.
- Hlavní periody přílivu a odlivu jsou denní po přibližně 24 hodinách a polodenní po přibližně 12 hodinách 25 minutách.
- Pokud se nádrž při dalším přílivu opět naplní a cyklus se opakuje s periodou t , průměrná potenciální energie P , kterou lze získat odpovídá vztahu 2.

Energie přílivu a odlivu – silné stránky

- 1. Obnovitelný zdroj (nevyžaduje žádné palivo).
- 2. Provozní náklady jsou nízké. Počáteční náklady mohou být vysoké, ale provozní a mzdové náklady jsou extrémně nízké, pokud něco nefunguje správně.
- 3. Minimální vizuální dopad. Protože jsou téměř úplně ponořeny pod vodu, rostliny přílivové energie nepoškozují „výhledy na vodu“.
- 4. Žádné skleníkové plyny, emise nebo látky znečišťující oceány.
- 5. Mimořádně efektivní. Jak již bylo zmíněno, slapová energie přeměňuje přibližně 80 procent kinetické energie na elektřinu.
- 6. Dopady na životní prostředí jsou lokální.
- 7. Předvídatelný zdroj energie. Protože se příliv a odliv během dne neustále pohybují, přílivové plány poskytují konzistentní výkon.
- 8. Spolehlivé řešení, které vydrží déle než 100 let.

Energie přílivu a odlivu – úskalí

1. Může mít negativní vliv na migraci savců, ptáků a ryb
2. Vysoké pořizovací náklady
3. Vysoce specifické
4. Ovlivnění hladin okolních vod
5. Ovlivňuje salinitu a může narušit přílivové cykly
6. Snižuje kinetickou energii oceánů
7. Vznik špinavých, blátivých plání s odpadky v blízkosti pobřeží

Tepelná energie oceánů (OTEC)

Technologie OTEC – neboli ocean thermal energy conversion . Tak jako jiné tepelné motory, pracuje na bázi přirozeného teplotního rozdílu mezi povrchovou vodou (ohřívána přímými slunečními paprsky) a vodou hlubokooceánskou (typicky 500 – 1000 m), čili bez nutnosti spalování paliva. Vzhledem k tomu, že rozdíl teplot je důležitý, potřebujeme největší vertikální teplotní gradient, jaký můžeme najít (nejméně 20°C a ideálně spíše 30–40°C). V praxi to znamená místo, kde jsou povrchové vody tak horké, jak jen najdeme, a hluboké vody (možná 500–1000 m nebo 1000–3000 stop pod ní) jsou co nejchladnější. Nejlepší místo k nalezení takové kombinace je v tropech (mezi zeměpisnými šířkami asi 20° severní šířky a 20° jižní šířky).



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tepelná energie oceánů (OTEC) – historie

- 1881: Francouzský fyzik Jacques d'Arsonval navrhuje technologii pro získávání tepelné energie z oceánů. Mimo jiné vynálezce galvanometru s pohyblivou cívkou a termočláňkového ampérmetru.
- 1926: Francouzský inženýr a vynálezce Georges Claude, student Jacquese d'Arsonvala, zkonstruoval první OTEC na Kubě. Je známý svou ranou prací o průmyslovém zkapalňování vzduchu a vynálezem a komercializací neonového osvětlení.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Tepelná energie oceánů (OTEC) – Základní rozdělení

- Podle technologie - existují v dva různé druhy zařízení OTEC, a to pracující s uzavřeným cyklem a otevřeným cyklem.
- Obrázek znázorňuje čtyři typy oceánských termálních elektráren, které byly navrženy: pobřežní (nebo mělkovodní), šelfové, plovoucí a kotvící typy rostlin vzhledem k profilu dna kontinent/oceán. Největší počet potenciálních míst existuje pro plovoucí zařízení se zavěšeným potrubím pro studenou vodu (CWP). Šelfové a pozemní typy jsou výhodné z hlediska snížení nákladů na dopravu elektřiny a vody a také u nich není třeba řešit problematiku spojenou se změnami dynamiky oceánu.

Tepelná energie oceánů (OTEC) – CC-OTEC

V OTEC s uzavřeným cyklem je dlouhá uzavřená smyčka potrubí naplněná kapalinou, například amoniakem, která má velmi nízký bod varu (-33°C). Amoniak nikdy neopustí potrubí: jednoduše obíhá znovu a znovu kolem smyčky, odebírá teplo z oceánu, předává ho elektrárně OTEC a vrací se jako ochlazená kapalina, aby shromáždil další.

1 Amoniak (nebo jiná nízkovroucí tekutina přenášející teplo) proudí kolem uzavřené smyčky v srdci systému. To je modrý obvod uprostřed této ilustrace. Horká voda vstupuje do zcela samostatného potrubí blízko hladiny oceánu a je vedena směrem k centrální smyčce obsahující amoniak.

2 Horká voda a amoniak proudí kolem sebe ve výměníku tepla, takže horká voda předává část své energie amoniaku, čímž dochází k jeho varu a odpařování.

3 Odpařený amoniak proudí turbínou a roztáčí ji.

4 Turbína roztáčí generátor a přeměňuje energii na elektřinu.

5 Elektřina je vedena na břeh kabelem.

6 Po opuštění turbíny se amoniak vzdal velké části své energie, ale pro opětovné použití je třeba jej plně zchladit. Pokud by se amoniak takto neochlazoval, nemohl by příště nabrat tolik tepla.

7 Jak se amoniak chladí? Ve třetím potrubí je studená voda čerpána z hlubin oceánu.

8 Studená voda a amoniak se setkávají v druhém tepelném výměníku, který ochlazuje amoniak zpět na původní teplotu připravený k opětovnému průchodu cyklem.

9 Studená voda z hlubin oceánu, nyní mírně ohřátá, a teplá voda z povrchu oceánu, nyní mírně ochlazená se setkávají a odchází společně.

Tepelná energie oceánů (OTEC) – OC-OTEC

- V OTEC s otevřeným cyklem se k výrobě tepla používá samotná mořská voda bez jakékoli jiné pracovní tekutiny. Na povrchu oceánu se horká mořská voda proměňuje na páru snížením jejího tlaku (nezapomeňte, že kapalinu lze změnit skupenstvím na plyn buď zvýšením teploty nebo snížením tlaku). Pára pohání turbínu a vyrábí elektřinu (jako u OTEC s uzavřeným cyklem), než se zkondenzuje zpět na vodu pomocí studené vody přiváděné z hlubin oceánu.
- Jedním z velmi zajímavých vedlejších produktů této metody je, že ohřev a kondenzace mořské vody ji zbavuje solí a dalších nečistot, takže voda, která opouští OC-OTEC, je čistá a bez solí. To znamená, že zařízení OTEC s otevřeným cyklem mohou fungovat jako odsolovací zařízení, která čistí vodu buď pro účely zásobování pitnou vodou, nebo pro zavlažování plodin. V horkých tropických zemích s nedostatkem sladké vody, tak mohou do jisté míry kompenzovat tento problém.
- Protože se čistá, pitná voda získává na výstupu z chladiče, pokud je zamýšlen OC-OTEC na produkci pitné vody, vystavují se chladiče v podstatě na hladině, jak to vidíte na obrázku (pro snazší dopravu čisté vody). Pokud však využití OC-OTEC není zamýšlen pro účely čištění vody, využívá se tzv. **Kontaktního chlazení**, což znamená, že jsou chladiče vystavovány ve větší hloubce.

Tepelná energie oceánů (OTEC) – OC-OTEC

- V OTEC s otevřeným cyklem se k výrobě tepla používá samotná mořská voda bez jakékoli jiné pracovní tekutiny. Na povrchu oceánu se horká mořská voda proměňuje na páru snížením jejího tlaku (nezapomeňte, že kapalinu lze změnit skupenstvím na plyn buď zvýšením teploty nebo snížením tlaku). Pára pohání turbínu a vyrábí elektřinu (jako u OTEC s uzavřeným cyklem), než se zkondenzuje zpět na vodu pomocí studené vody přiváděné z hlubin oceánu.
- Jedním z velmi zajímavých vedlejších produktů této metody je, že ohřev a kondenzace mořské vody ji zbavuje solí a dalších nečistot, takže voda, která opouští OC-OTEC, je čistá a bez solí. To znamená, že zařízení OTEC s otevřeným cyklem mohou fungovat jako odsolovací zařízení, která čistí vodu buď pro účely zásobování pitnou vodou, nebo pro zavlažování plodin. V horkých tropických zemích s nedostatkem sladké vody, tak mohou do jisté míry kompenzovat tento problém.
- Protože se čistá, pitná voda získává na výstupu z chladiče, pokud je zamýšlen OC-OTEC na produkci pitné vody, vystavují se chladiče v podstatě na hladině, jak to vidíte na obrázku (pro snazší dopravu čisté vody). Pokud však využití OC-OTEC není zamýšlen pro účely čištění vody, využívá se tzv. **Kontaktního chlazení**, což znamená, že jsou chladiče vystavovány ve větší hloubce.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Tepelná energie oceánů (OTEC) – princip

Účinnost Carnotova cyklu \longrightarrow

$$\eta_c = \frac{T_h - T_c}{T_h} = \frac{\Delta T_0}{T_h}$$

Maximální tepelný příkon \longrightarrow

$$P_0 = \rho c Q \Delta T_0$$

Čerpací (parazitní) výkon \longrightarrow

$$P_{pump} = \rho Q g \Delta H$$

Tepelná energie oceánů (OTEC) – princip

Vztah 1. Hlavní nevýhodou systému OTEC je, že celková tepelná účinnost zařízení je nízká, a proto jsou k výrobě dostatečného výkonu zapotřebí velká čerpadla mořské vody a velké výměníky tepla. Maximální účinnost jakéhokoli typu tepelné elektrárny odpovídá účinnosti Carnotova cyklu, η_c , která se pro typickou elektrárnu OTEC rovná:

Kde: T_h - absolutní teplota teplé vody (okolo 298 K)

T_c - absolutní teplota studené vody (okolo 278 K)

Carnotova účinnost je tedy pouze asi 6,7 %. Tato ideální účinnost neumožňuje parazitní ztráty ani teplotní rozdíly mezi mořskou vodou a pracovní kapalinou potřebné pro vypařování a kondenzaci. Hrubým pravidlem je, že asi 25 % ΔT_0 je třeba ponechat na odpařování a 25 % na kondenzační proces, takže pro výkonovou turbínu zbývá jen asi polovina celkového teplotního rozdílu. Pro 80% celkovou účinnost turbínového generátoru by tedy byla účinnost hrubého výkonu pouze asi 3%. Parazitní zátěž zabírá dalších asi 30 % celkové tepelné účinnosti, takže čistá účinnost dodávky energie je pouze asi 2–3 %.

Vztah 2. Teplá povrchová voda se v kotli používá k odpařování pracovní tekutiny; účelné teplo uvolněné mořskou vodou odpovídá maximálnímu tepelnému příkonu, P_0 , pro cyklus:

Kde: ρ - hustota mořské vody, kg/m³

c - měrná tepelná kapacita, J/kg.K

Q - průtok, m³/s

Vztah 3. Jakýkoli systém přeměny tepelné energie v oceánech čelí obrovské výzvě výroby čisté energie s teplotním rozdílem okolo 20 °C. Vzhledem k tomu, že Carnotova účinnost takové elektrárny je pouze 6 % nebo 7 %, musí každý úspěšný systém přeměny energie oceánu využít co největší část teplotního potenciálu a zároveň snížit parazitní ztráty na minimum. Mezi nejzásadnější parazitní jevy v oceánských termálních systémech patří **čerpací výkon potřebný k přivedení studené vody z hloubky asi 1000 m na povrch (P_{pump})**, výkon potřebný k odstranění nekondenzovatelných plynů v systému s otevřeným cyklem a degradace dostupné tepelné vody. energie poklesem teploty v důsledku znečištění a koroze na teplosměnných plochách systému s uzavřeným cyklem.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Tepelná energie oceánů (OTEC) – silné stránky

1. OTEC zní nesmírně atraktivně: je to čistá, zelená, obnovitelná energie, která nezahrnuje spalování fosilních paliv, produkci velkého množství skleníkových plynů nebo uvolňování toxického znečištění ovzduší.
2. Jak jsme již uvažovali, OTEC s otevřeným cyklem může hrát užitečnou roli při poskytování čisté, použitelné vody z oceánské vody.
3. OTEC lze také použít k výrobě paliv, jako je vodík; elektřinu, kterou generuje, lze použít k pohonu elektrolýzního zařízení, které by rozdělilo mořskou vodu na vodík a kyslík, které by mohly být plněny do lahví nebo potrubím na břeh a poté použity k pohonu takových věcí, jako jsou palivové články v elektrických autech.
4. Odpadní chladicí voda používaná v závodě OTEC může být také použita pro akvakulturu (pěstování ryb a jiných mořských potravin, jako jsou řasy za kontrolovaných podmínek), chlazení a klimatizaci.

Tepelná energie oceánů (OTEC) – úskalí

- 1 Největší problém s OTEC je, že má relativně nízkou účinnost. Fyzikální zákony (v tomto případě Carnotův cyklus) říkají, že každý praktický tepelný motor samozřejmě pracuje s účinností menší než 100 procent (perpetuum mobile); většina z nich pracuje hluboko pod touto úrovní – a elektrárny OTEC, které využívají relativně malý teplotní rozdíl mezi jejich horkými a studenými kapalinami (20°C), mají ze všech nejnižší účinnost: obvykle jen několik procent. Samo o sobě na nízké účinnosti příliš nezáleží, protože energie v oceánské vodě je zcela zdarma: pokud zachytíme jen malou část toho, co tam je, není to velký problém.
- 2 Nízká účinnost má však i další důsledky. Závody OTEC musí velmi tvrdě pracovat (čerpat obrovské množství vody), aby vyrobily i malé množství elektřiny, což přináší dva problémy. Za prvé to znamená, že značné množství vyrobené elektřiny (obvykle asi třetina) musí být použito k provozu systému (čerpání vody dovnitř a ven).
- 3 Za druhé to znamená, že elektrárny OTEC musí být postaveny v relativně velkém měřítku, což z nich činí nákladné investice.
- 4 Rozsáhlé pobřežní elektrárny OTEC by mohly mít značný dopad na životní prostředí na pobřeží, která jsou často domovem křehkých, již ohrožených ekosystémů, jako jsou mangrovy a korálové útesy.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Literární zdroje

1. Kutscher, C. F., Milford, J. B., & Kreith, F. (2019). *Principles of Sustainable Energy Systems*. CRC Press.
2. Twidell, J., & Weir, A. D. (2006). *Renewable Energy Resources*. Taylor & Francis.
3. MacKay, D. (2016). *Sustainable energy – without the hot air*. Unspecified.
4. Coulson, C. A., & Jeffrey, A. (1977). *Waves: A Mathemat. approach to the common types of wave motion*. Longman.