

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

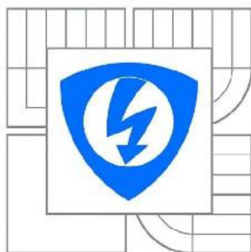
STUDIE VYUŽITÍ ENERGIE MOŘÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN FICEK

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Jan Ficek

ID: 155161

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Studie využití energie moří

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Studium vzniku energetického potenciálu velkých vodních ploch (proudy, příliv apod.).
2. Rešerše současného stavu využití energie velkých vodních ploch (moří).

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 28.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

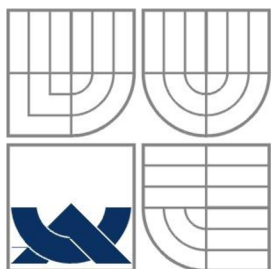
Bibliografická citace práce:

FICEK, J. *Studie využití energie moří*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne:

Podpis:



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

STUDIE VYUŽITÍ ENERGIE MOŘÍ

THE STUDY OF OCEAN ENERGY USE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN FICEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ RADIL, Ph.D.

BRNO 2015

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřená na studii energetického potenciálu moří a oceánů, a na rešerši současného stavu využití této energie na transformaci na energii elektrickou.

Klíčová slova

Slapové jevy; příliv; odliv; přehradní přílivová elektrárna; mořské a oceánské proudy; vlny; chemické a fyzikální vlastnosti vody; salinita; osmotická elektrárna; atmosféra; teplo; energie; OTEC elektrárna

Abstract

The present thesis is focused on the study of the energy potential of the seas and oceans, and research of the current state of the use of this energy transformation into electrical energy.

Key words

Tides of the sea; high tide; low tide; reservoir tidal power plant; marine and ocean currents; waves; chemical and physical properties of water; salinity; osmotic power plant; atmosphere; heat; energy; OTEC power plant

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Lukáši Radilovi, Ph.D. za odborné rady, cenné připomínky a celkově za vedení mé bakalářské práce správným směrem. Dále bych chtěl poděkovat rodině, kamarádům a těm nejbližším za podporu a motivaci.

Obsah

1 ÚVOD.....	14
2 DMUTÍ MOŘE A JEHO VYUŽITÍ.....	15
2.1 SLAPOVÉ JEVY	15
2.2 VZNIK SLAPOVÝCH JEVŮ	16
2.2.1 VLIV MĚSÍCE	16
2.2.2 VLIV SLUNCE.....	18
2.2.3 PŘÍLIVOVÉ CYKLY.....	19
2.2.4 DALŠÍ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PŘÍLIV A ODLIV	20
2.3 PŘÍLIVOVÉ PŘEHRADNÍ ELEKTRÁRNY.....	22
2.3.1 PRINCIP VÝROBY ELEKTRINY.....	22
3 MOŽNOST GENEROVÁNÍ ENERGIE Z MOŘSKÝCH PROUDŮ	26
3.1 MOŘSKÉ A OCEÁNSKÉ PROUDĚNÍ.....	26
3.2 POVRCHOVÉ PROUDY.....	26
3.2.1 CORIOLISŮV EFEKT	26
3.2.2 EKMANŮV POSUN.....	27
3.2.3 KOLOBĚH POVRCHOVÉ VODY	27
3.3 HLUBINNÉ PROUDY	28
3.4 VERTIKÁLNÍ PROUDĚNÍ	29
3.5 POBŘEŽNÍ PŘÍLIVOVÉ PROUDY	29
3.6 ELEKTRÁRNY VYUŽÍVAJÍCÍ MOŘSKÉ PROUDY.....	30
4 MOŘSKÉ VLNĚNÍ A MOŽNOSTI GENEROVÁNÍ ENERGIE.....	32
4.1 VLNY A POHYB VODY	32
4.2 TYPY VLN A JEVY NA MOŘÍCH.....	33
4.2.1 NUCENÉ VLNĚNÍ A VZNIK EOLICKÝCH VLN	33
4.2.2 VOLNÉ VLNĚNÍ.....	34
4.2.3 INTERFERENCE.....	34
4.2.4 REFRAKCE A ODRAZ.....	34
4.3 ENERGIE Z VLN.....	35
5 MOŽNOSTI GENEROVÁNÍ ENERGIE DÍKY FYZIKÁLNÍM A CHEMICKÝM VLASTNOSTEM MOŘSKÉ VODY.....	38
5.1 HUSTOTA MOŘSKÉ VODY	38
5.2 KYSELOST	40
5.3 SALINITA	40
5.4 VYUŽITÍ ROZDÍLNÉ SALINITY VODY – OSMOTICKÉ ELEKTRÁRNY.....	42
6 VZTAH ATMOSFÉRY A OCEÁNU.....	43
6.1 NEROVNOMĚRNÉ OHŘÍVÁNÍ ZEMĚ SLUNCEM.....	43

6.2	ATMOSFÉRA – FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI.....	45
6.3	POHYB VZDUCHU	46
6.4	KLIMATICKÉ ZÓNY NAD OCEÁNY	47
6.5	ELEKTRÁRNÝ OTEC – OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION SYSTEM.....	48
7	VYUŽITÍ SOUČASNÝCH ZNALOSTÍ ENERGIE VELKÝCH VODNÍCH PLOCH V ČESKÉ REPUBLICĚ.....	51
7.1	VYUŽITÍ KINETICKÉ A POTENCIÁLNÍ ENERGIE.....	51
7.2	VYUŽITÍ TEPELNÉ ENERGIE.....	51
8	ZÁVĚR.....	52

Seznam obrázků

<i>Obr. 2.1: Gravitační síly, kterými působí Měsíc na Zemi.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2.2: Výsledné síly v soustavě Země - Měsíc</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2.3: Solární a lunární den.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 2.4: Souvislost uspořádání těles v soustavě Země - Měsíc - Slunce a slapových jevů</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2.5: Největší odchylka dmutí od rovníku</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 2.6: Důsledky eliptičnosti oběžných drah.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 2.7: Přílivová přehradní elektrárna - při přílivu a odlivu.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 2.8: Časové diagramy generování energie</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 2.9: Mapa světa s vyznačenou intenzitou dmutí moře – červenou barvou jsou označena místa s rozdílem přílivu a odlivu větším než 4 m (převzato z [9]).....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3.1: Ekmanův posun a Ekmanova spirála</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 3.2: Světové povrchové oceánské proudy (převzato z [2]).....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 3.3: Idealizovaná schématická mapa termohalinní cirkulace (převzato z [2])</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 3.4: Pobřežní výstupné a sestupné proudy.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 3.5: Elektrárny využívající mořské proudy (převzato z [13])</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 3.6: SeaGen u Strangfordu v Severním Irsku (převzato z [12]).....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 4.1: Kruhový pohyb vln.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 4.2: Pobřežní oblasti, kde se vyskytují vlny s největší energií (převzato z [2]).....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 4.3: Elektrárna typu LIMPET (převzato z [2])</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 4.4: Pelamis Wave Power Converter (převzato z [2])</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 4.5: Wave Dragon energy converter</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 4.6: technologie CETO</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 5.1: Změna hustoty mořské vody v závislosti na její teplotě a salinitě.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 5.2: Závislost teploty a hustoty na hloubce pro nízké a vysoké zeměpisné šířky</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 5.3: Průměrné srpnové povrchové salinity oceánů (převzato z [2]).....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 5.4: Změna salinity v hloubce; Rozdíly v povrchové salinitě a teplotě oceánů v závislosti na zeměpisné šířce</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 5.5: Princip osmotické elektrárny</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 6.1: Sluneční záření přijaté na Zemi; Zisk tepla a ztráta tepla z oceánů.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 6.2: Střídání ročních období; Léto na severní a jižní polokouli</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 6.3: Teplotní profil atmosféry</i>	<i>45</i>

<i>Obr. 6.4: Atmosférická cirkulace a větrné pásy světa.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 6.5: Klimatické oblasti oceánu (převzato z [2]).....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 6.6: Princip OTEC elektrárny.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 6.7: Povrchové teploty světového oceánu: A) pro srpen, B) pro únor (převzato z [2]).....</i>	<i>49</i>

Seznam tabulek

<i>Tab. 2.1: Základní parametry a síly působící v soustavě Měsíc - Země – Slunce [7].....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 2.2: Seznam operujících přílivových elektráren v současné době [11].....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 2.3: Místa s největšími průměrnými rozsahy dmutí na Zemi [10].....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 4.1: Parametry plně rozvinutého nuceného vlnění při dané rychlosti větru [1].....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 6.1: Závislost množství pohlcené a odražené sluneční energie na úhlu dopadu paprsků na klidnou mořskou hladinu [1].....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 6.2: Složení suchého vzduchu [1].....</i>	<i>45</i>

Seznam symbolů a zkratk

Veličina	Název	Jednotka
F_g	Gravitační síla	N
κ	Gravitační konstanta	$\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
m	Hmotnost tělesa	kg
r	Vzdálenost středů dvou těles	m
F_{tid}	Slapová síla	N
M_Z	Hmotnost Země	kg
M_M	Hmotnost Měsíce	kg
R_Z	Poloměr Země	m
P_{wave}	Energie vlny	kW
ρ	Hustota vody	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
g	Gravitační zrychlení	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
H	Výška vlny	m
T	Perioda vlny	s
A	Plocha otáčení rotoru	m^2
v	Rychlost proudění vody	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
C_P	Koeficient turbíny	
P_P	Výstupní elektrický výkon elektrárny	W
LIMPET	Land Installed Marine Power Energy Transformer	
OTEC	Ocean Thermal Energy Conversion Systém	
CC-OTEC	Closed-Cycle OTEC	
OC-OTEC	Opened-Cycle OTEC	
ITCZ	Intertropical Convergence Zone	

1 ÚVOD

Předkládaná bakalářská práce se zabývá studii vzniku energetického potenciálu moří a oceánů a rešerší současného stavu využití této energie na transformaci na energii elektrickou.

Text práce je rozdělen do několika částí. Nejprve bude pojednáno o slapových jevech a vzniku mořských proudů a vln. Poté jsou zmíněny vlastnosti mořské vody a možnosti, jak s nimi energeticky nakládat. Další část pojednává o vztahu atmosféry a oceánu z hlediska tepla a dalších energií. Každá z těchto částí obsahuje podstatu vzniku a uchování energie v určité formě a poté stručný popis technologie, která tuto energii může využít k transformaci na energii elektrickou. Nakonec je uvedeno celkové shrnutí, klady a zápory tohoto typu energetiky.

Vodní toky jsou velmi důležitým zdrojem energie, která je využívána již stovky let po celém světě. V minulosti se u řek stavěly neobyčejná díla jako pily, hamry či mlýny, které umožnily rychlé a efektivní zpracování různých surovin, pomocí oběžného kola poháněného kinetickou energií vodního toku. Po rozmachu parních strojů a poté prvních elektrických zařízení se počet těchto vodních děl začal snižovat a naopak začaly přibývat první vodní elektrárny [3]. Dnes se již bez těchto elektráren neobejdeme a dokonce některé země jsou vyloženě závislé na vodní energetice. Jde o obnovitelný zdroj energie, který je v dnešní době velmi diskutovaným tématem po celém světě. K obnovitelným zdrojům dále patří elektrárny využívající energii geotermální, solární, biomasy a větru. Největší podíl na této energii má záření Slunce. Ovšem málokdo ví, že oceány a moře, pokrývající přibližně 70% Zemského povrchu, představují obrovský zdroj nevyužité čisté energie. Výroba elektřiny může probíhat částečně kdykoliv, protože nezávisí na energii přímo vyzařované ze Slunce, ale na energii uchované v atmosféře a oceánech [1][2][4]. Nejdůležitějšími zdroji energie na oceánech jsou:

- potenciální a kinetická energie vln
- potenciální a kinetická energie dmutí moře
- kinetická energie mořských proudů
- kinetická energie větru
- teplo uchované v oceánech

V našich zeměpisných podmínkách nemá tento typ energetiky prakticky žádné využití, avšak pro přímořské státy a hlavně menší ostrovní města to může být velmi přínosným zdrojem elektrické energie. Výhodou je předvídatelnost přílivu, odlivu a mořských proudů. Naopak vítr a sluneční záření je silně ovlivňováno proměnlivou oblačností [1][2].

2 DMUTÍ MOŘE A JEHO VYUŽITÍ

2.1 Slapové jevy

Jedná se o souhrnný název pro jev přílivu a odlivu, kdy přibližně dvakrát za den stoupne a klesne hladina moří oproti průměrné výšce hladiny. Perioda mezi dvěma přílivy je 12 hodin a 25 minut. To znamená, že tyto jevy nastanou o 50 minut později každý den, díky časovému posunu východu Měsíce. Z toho vyplývá spojitost s polohou Měsíce vůči Zemi, kdy gravitační síla Měsíce ovlivňuje velké masy vody na Zemském povrchu. Ty jsou ale také ovlivňovány gravitační silou Slunce, rotací Země a dalšími vlivy [6][7].

Znalost přílivu a odlivu je velmi důležitá pro pobřežní činnosti, jako kotvení lodí v přístavech, rybaření, navigace a rekreace. Téměř každý přístav vede záznamy o těchto jevech již několik století. První zmínka je z roku 450 před našim letopočtem ze Středozemního moře v knize od Hérodotose, ale fyzikálně byly slapové jevy popsány až fyzikem a matematikem Isaacem Newtonem. Ve své práci se věnoval silám působících v systému Země – Měsíc – Slunce [6]. Poté byl formulován pro nás zásadní Newtonův obecný gravitační zákon:

„Každá dvě tělesa se vzájemně přitahují stejně velkými gravitačními silami opačného směru. Velikost gravitační síly pro dvě stejnorodá tělesa tvaru koule je přímo úměrná součinu jejich hmotností a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti jejich středů [8].“

Platí vztah:

$$F_g = \kappa \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad 2.1$$

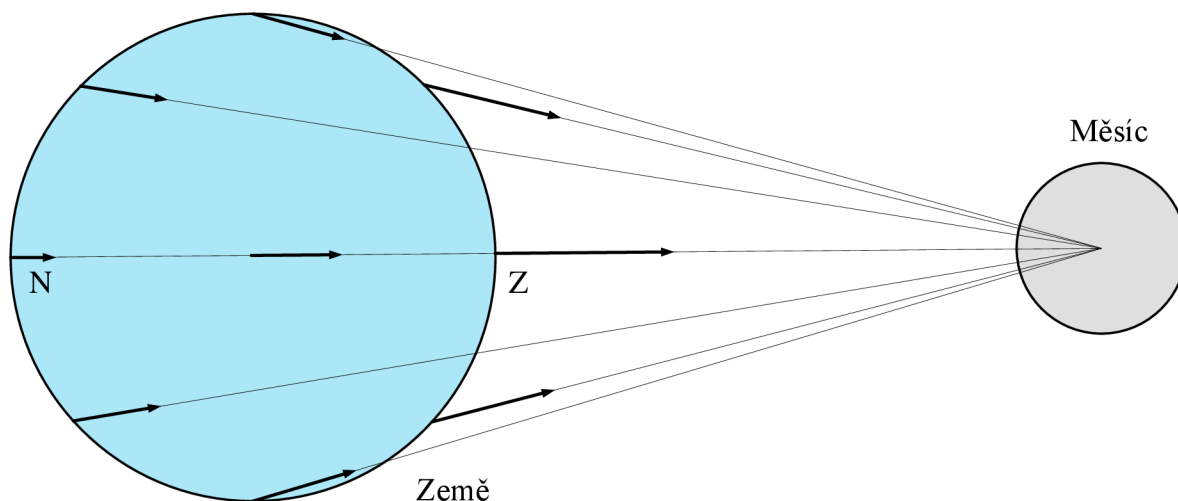
Kde:	κ	gravitační konstanta	$(\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2})$
	m_1	hmotnost jednoho tělesa	(kg)
	m_2	hmotnost druhého tělesa	(kg)
	r	vzdálenost středů dvou těles	(m)

Pokud vzroste hmotnost tělesa, zvětší se i gravitační síla, kterou působí. Proto Slunce vytváří silné gravitační pole. Na druhou stranu zvětšením vzdálenosti mezi tělesy se gravitační síla kvadrátem zmenší. Z toho vyplývá čím větší hmotnost těles a čím menší vzdálenost mezi nimi, tím je gravitační působení větší. Proto je Měsíc nejdůležitějším faktorem při vzniku slapových jevů. Vzájemné gravitační působení těles sluneční soustavy má vliv na oběžný pohyb planet, rotaci a jejich periodické tvarové deformace povrchu, které označují slapové jevy [1][2].

2.2 Vznik slapových jevů

2.2.1 Vliv Měsíce

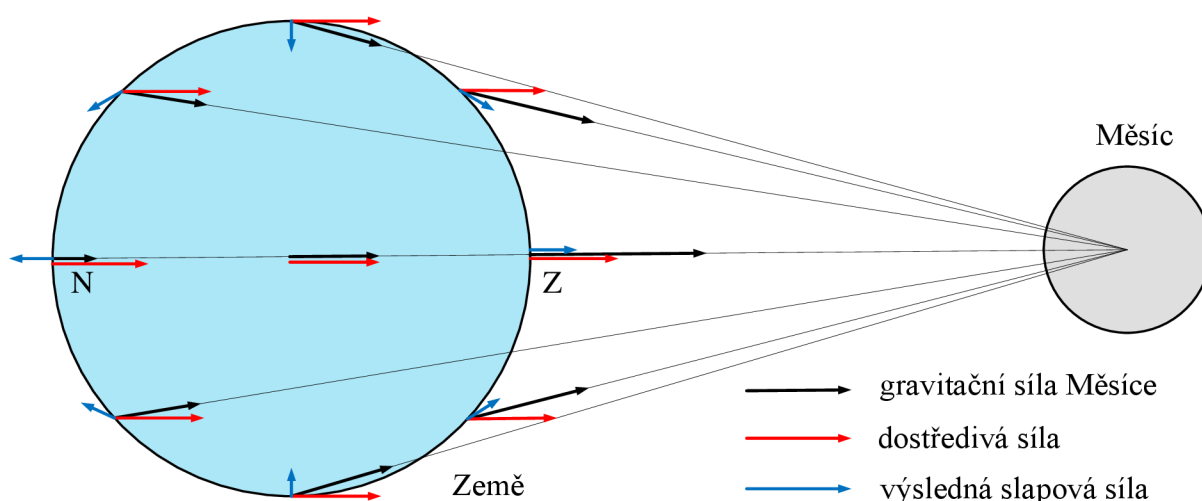
Z Obr. 2.1 je patrné, že gravitační působení Měsíce na různá místa na Zemi se mění v závislosti na jejich vzdálenostech. Největší gravitační síla je v bodě Z, který je nejbližší Měsíci. Tento bod se nazývá *zenit*, neboli *nadhlavník*. Nejmenší gravitační síla se nachází v bodě N, jehož poloha je na opačné straně Země a je nejdále od Měsíce. Tento bod se nazývá *nadir*, nebo také *podnožník*. Všechny body na Zemi svírají s pomyslnou úsečkou středů Země-Měsíc nenulový úhel, který vytváří malé rozdíly v gravitačním působení [1][2].



Obr. 2.1: Gravitační síly, kterými působí Měsíc na Zemi

Gravitační síly nejsou jediné síly působící na Zemi. Aby se planety pohybovaly po svých eliptických drahách kolem Slunce, musí na ně Slunce působit silou dostředivou a „tlačit“ planety směrem k sobě. Kdyby tyto síly zanikly, planety by se rozletěly po přímé dráze, tečné k původní dráze [1][2][6].

Soustava Země-Měsíc rotuje kolem společného těžiště, které je umístěno uvnitř Země přibližně 1600 km pod povrchem. To znamená, že na každý bod Země působí dostředivé síly ve směru ke společnému těžišti, znázorněné na Obr. 2.2 červeně. Dostředivé síly zajišťované gravitační přitažlivostí udržují stejně velké částice na stejných drahách v soustavě Země-Měsíc, rotující kolem společného těžiště. Všechny tyto síly mají stejnou velikost a stejný směr, oproti gravitačním silám [1][2][6].



Obr. 2.2: Výsledné síly v soustavě Země - Měsíc

Vektorovým součtem těchto sil vznikají výsledné síly, označované jako slapové. Největší slapové síly se nacházejí v oblastech ležících na 45° zeměpisné šířky vzhledem k rovníku mezi nadírem a zenitem [1][2][6].

Z výsledných slapových sil je patrné, že masy oceánů a moří jsou tlačeny do dvou „vyboulení“. Tento pohyb se nazývá přílivová vlna - jedna směřuje k zenitu orientována směrem k Měsíci a druhá směřuje k nadíru orientována na odvrácenou stranu planety. Výsledné slapové síly se rovnají, a proto i obě dmutí budou stejně velká a nazýváme je *lunární* dmutí. Slapové síly kolmé na spojnici Země a Měsíce směřují dovnitř a dosahují přibližně poloviny velikosti slapové síly v zenitu [1][2].

2.2.2 Vliv Slunce

Slunce rovněž ovlivňuje příliv a odliv na Zemi, ale ne tak dramaticky jako Měsíc. Z důvodu mnohem větší vzdálenosti vznikají menší *solární* dmutí, jedno orientováno směrem ke Slunci a druhé na odvrácené straně planety. Solární dmutí dosahují přibližně poloviny velikosti lunárního dmutí [6].

Pro porovnání jsou v Tab. 2.1 shrnuty základní parametry soustavy Země - Měsíc - Slunce. Dosazením do rovnice Newtonova obecného gravitačního zákona získáme výpočty pro gravitační síly. V soustavě Země – Slunce jsou gravitační síly o 2 řády větší, než gravitační síly soustavy Země – Měsíc. Nejedná se však o slapové síly, které jsou výslednicí vektorového součtu gravitačních a dostředivých sil.

Tab. 2.1: Základní parametry a síly působící v soustavě Měsíc - Země – Slunce [7]

PARAMETRY SOUSTAVY MĚSÍC - ZEMĚ - SLUNCE			
	MĚSÍC	ZEMĚ	SLUNCE
Hmotnost (kg)	$7,35 \cdot 10^{22}$	$5,97 \cdot 10^{24}$	$1,989 \cdot 10^{30}$
Rovňkový poloměr (km)	1738,1	6378,1	696342
Střední hustota (kg/m^3)	3350	5 515	1400
Sklon rovníku k ekliptice ($^\circ$)	1,54	23,45	7,25
Minimální vzdálenost od Země (km)	363104	-	147100000
Střední vzdálenost od Země (km)	384399	-	149600000
Maximální vzdálenost od Země (km)	405696	-	152100000
GRAVITAČNÍ SÍLA MEZI ZEMÍ A DANÝM TĚLESEM			
Minimální velikost gravitační síly (N)	$1,78 \cdot 10^{20}$	-	$3,43 \cdot 10^{22}$
Střední velikost gravitační síly (N)	$1,98 \cdot 10^{20}$	-	$3,54 \cdot 10^{22}$
Maximální velikost gravitační síly (N)	$2,22 \cdot 10^{20}$	-	$3,66 \cdot 10^{22}$
SLAPOVÁ SÍLA NA ZEMI ZPŮSOBENÁ DANÝM TĚLESEM			
Minimální velikost slapové síly (N)	$5,59 \cdot 10^{18}$	-	$2,87 \cdot 10^{18}$
Střední velikost slapové síly (N)	$6,58 \cdot 10^{18}$	-	$3,02 \cdot 10^{18}$
Maximální velikost slapové síly (N)	$7,80 \cdot 10^{18}$	-	$3,18 \cdot 10^{18}$

Maximální velikost gravitační síly v soustavě Země – Slunce nastává v okamžiku, kdy se Země nachází v periheliu. V soustavě Země – Měsíc, maximální velikost gravitační síly nastává tehdy, když se Měsíc nachází v perigeu. To samé platí pro velikosti slapových sil.

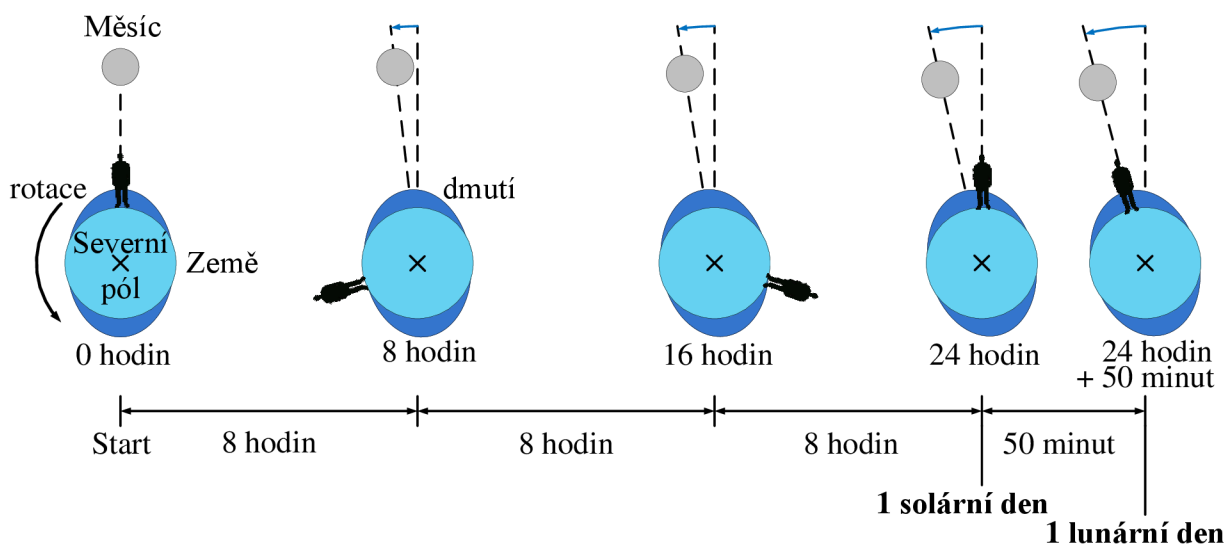
Samostatně lze slapové síly [25] vyjádřit vztahem:

$$F_{tid} = \frac{2 \cdot \kappa \cdot M_Z \cdot M_M \cdot R_Z}{r^3} \quad 2.2$$

Kde:	κ	gravitační konstanta	$(\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2})$
	M_Z	hmotnost Země	(kg)
	M_M	hmotnost Měsíce	(kg)
	R_Z	poloměr Země	(m)
	r	vzdálenost středů Země a Měsíce	(m)

2.2.3 Přílivové cykly

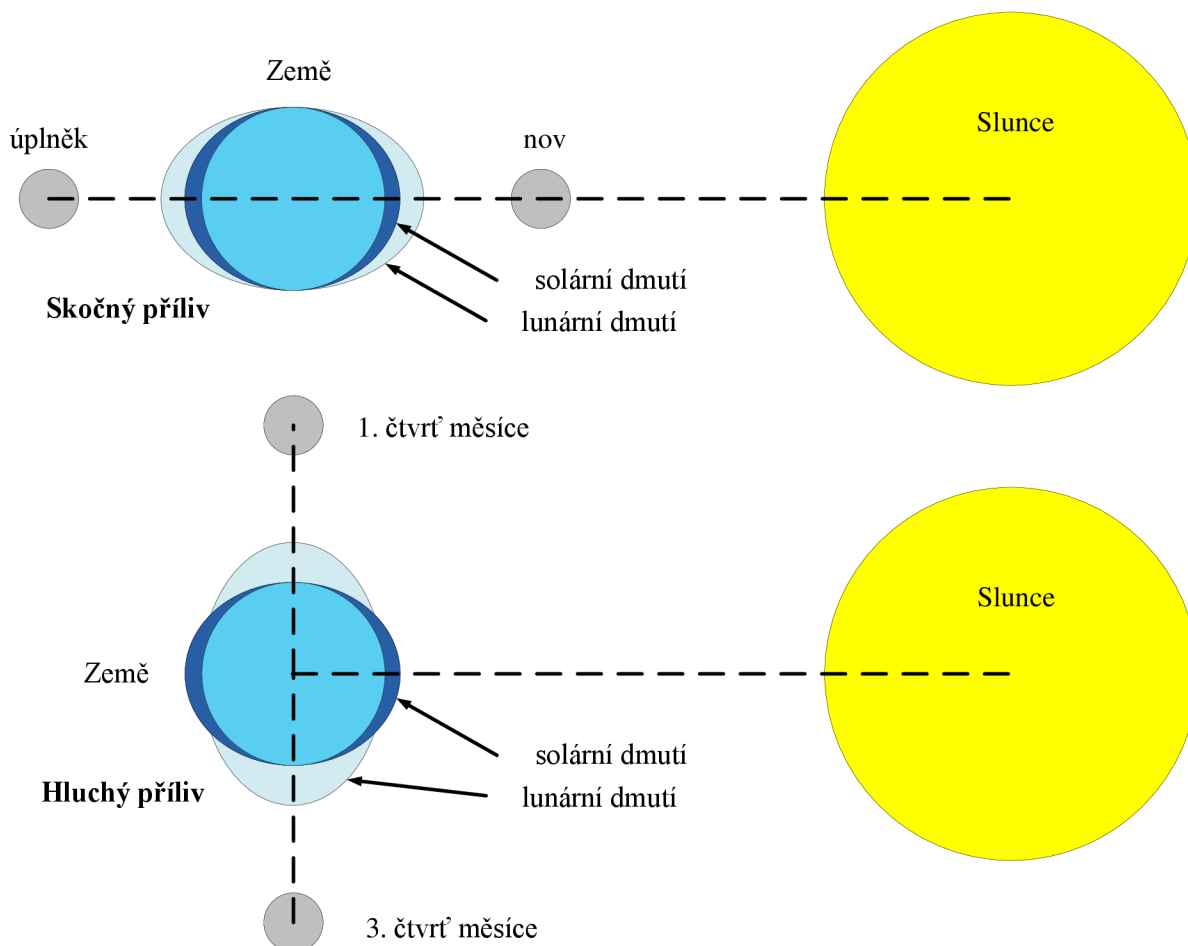
Příliv se na většině míst na Zemi střídá s periodou 12 hodin a 25 minut, z důvodu délky lunárního dne, nikoliv solárního. Solární den trvá 24 hodin a je to doba, za kterou Slunce projde dvakrát místním poledníkem. Lunární den trvá 24 hodin 50 minut a je to doba, která uběhne mezi dvěma okamžiky, kdy se Měsíc nachází v nejvyšším bodě své dráhy. Při jednom otočení Země se Měsíc posune o $12,2^\circ$ východním směrem, proto se Země musí otáčet ještě 50 minut, aby se Měsíc dostal do výchozího bodu, viz Obr. 2.3. Díky tomuto jevu nastává každý den maximum přílivu o 50 minut později, než tomu tak bylo předchozí den [1][2][6].



Obr. 2.3: Solární a lunární den

Měsíční přílivový cyklus trvá 29,5 dne. Je to doba, za kterou Měsíc jednou oběhne Zemi a nazývá se lunární měsíc. Jestliže se Měsíc nachází na přímce, procházející Sluncem a Zemí, tedy je v *novu* nebo *úplňku*, dochází k interferenci slapových sil. Příliv dosahuje v této konfiguraci maximálních hodnot a nazývá se *skočný příliv*. Pokud se Měsíc nachází v první nebo třetí čtvrti,

tedy svírá se spojnicí Slunce – Země pravý úhel, dochází k destruktivní interferenci slapových sil. V této konfiguraci má příliv minimální hodnotu a nazývá se *hluchý příliv* [1][2][6]. Souvislost uspořádání těles v této soustavě se slapovými jevy je znázorněna na Obr. 2.4.

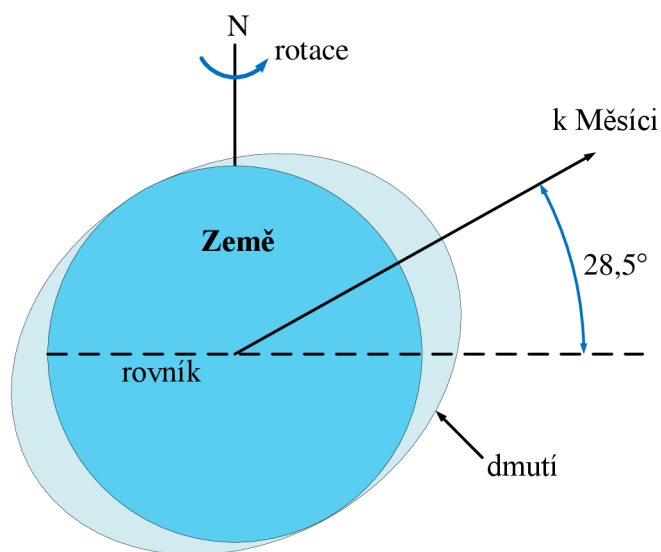


Obr. 2.4: Souvislost uspořádání těles v soustavě Země - Měsíc - Slunce a slapových jevů

2.2.4 Další faktory ovlivňující příliv a odliv

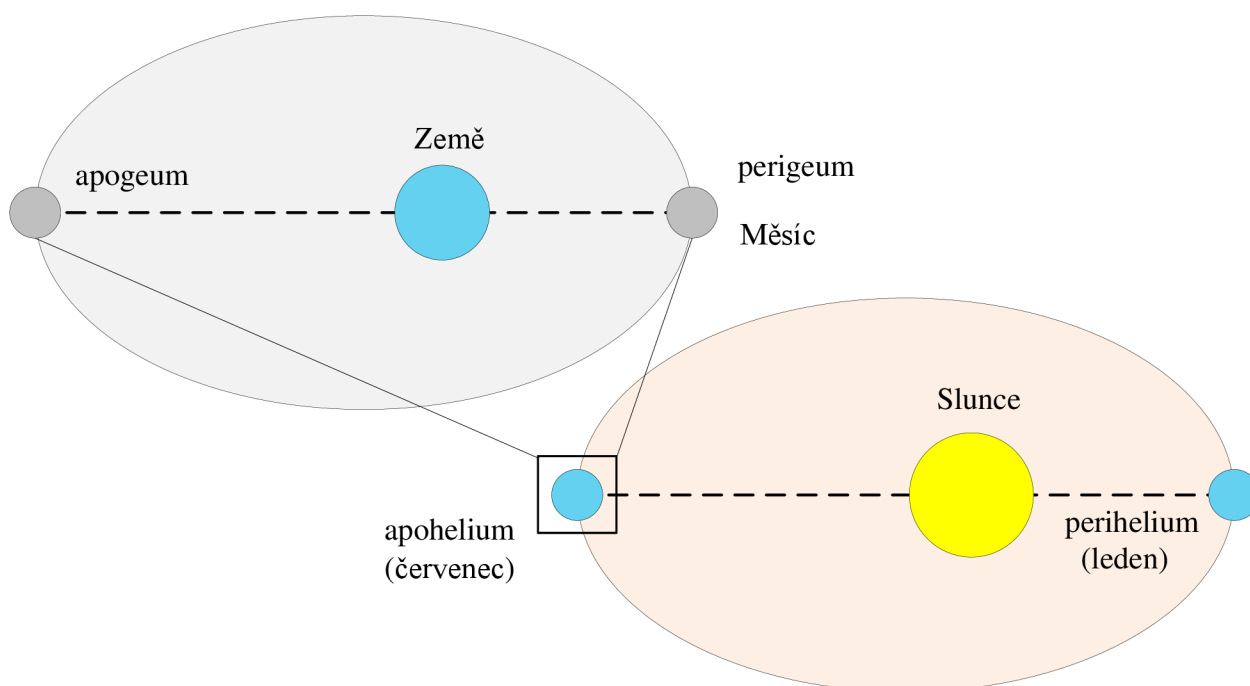
Mezi další faktory, ovlivňující příliv a odliv patří:

- **Sklon drah Slunce a Měsíce** – Měsíc a Slunce se nepohybují stále nad Zemským rovníkem. Úhlová vzdálenost mezi nimi se nazývá *deklinace* a rovina proložená elipsovitou drahou Země kolem Slunce se jmenuje *ekliptika*. Zemská osa svírá s kolmicí na rovinu ekliptiky úhel o velikosti $23,5^\circ$. Je to maximální odchylka odklonu Slunce od Zemského rovníku, která má i za příčinu střídání ročních období na Zemi. Oběžná dráha Měsíce kolem Země je skloněná o 5° od roviny ekliptiky, to znamená maximální odchylku Měsíce od roviny zemského rovníku až $28,5^\circ$. Z toho vyplývá vznik maximálního dmutí v oblasti mezi $28,5^\circ$ jižní šířky a $28,5^\circ$ severní šířky, jak je vyobrazeno na Obr. 2.5 [1].



Obr. 2.5: Největší odchylka dmutí od rovníku

- **Vliv eliptičnosti oběžných drah** – Země se pohybuje kolem Slunce po eliptické dráze (Obr. 2.6), vzdálenost se v průběhu roku mění o 2,5 %. Země je Slunci nejbliže v bodu zvaném *perihelium* (vznikají nejvyšší přílivy) a nejdále v bodu oběžné dráhy *apoheliu*. Vzdálenost Země – Měsíc se v průběhu roku mění až o 8 % - Měsíc se nachází nejbliže Zemi v bodě zvaném *perigeum* (maximální výšky přílivu) a nejdále v bodě *apogeum*. Shoduje-li se doba skočného přílivu s průchodem Měsíce *perigeem*, vznikne obzvláště mohutný příliv zvaný *xigeický* [1].



Obr. 2.6: Důsledky eliptičnosti oběžných drah

2.3 Přílivové přehradní elektrárny

První přílivové mlýny byly postaveny již za doby románské, kdy lidé začali využívat energie přílivu a odlivu pro transformaci na energii mechanickou. Princip chodu těchto mlýnů je shodný s principem dnešních elektráren, využívajících slapové jevy. Většinou byly stavěny u mořského pobřeží v úzkém zálivu, nebo v místě ústí menší řeky. Zde byla postavena hráz, která zadržovala vodu díky přirozenému stoupání a klesání hladiny moře, která se poté při odlivu vypouštěla přes oběžné lopátkové kolo [3][5].

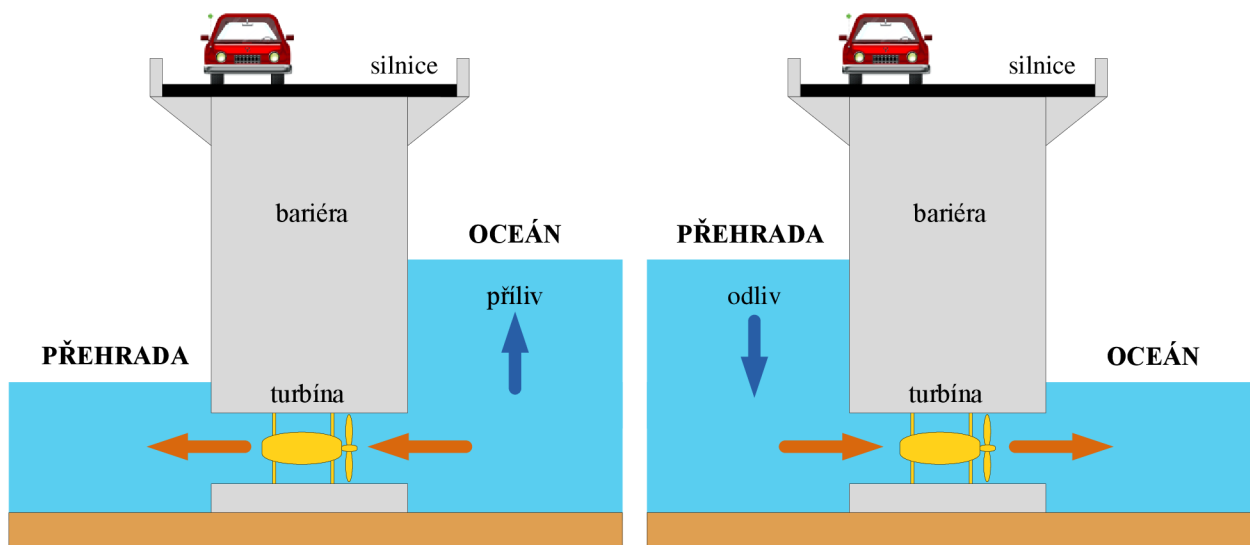
O přílivových elektrárnách se mluví již dlouhou dobu jako o významném zdroji elektrické energie. Avšak v dnešní době existuje jen 7 operujících elektráren tohoto typu (Tab. 2.2) [11]. Je to nejspíše z důvodu velké počáteční investice a nevratného zásahu do životního prostředí v dané oblasti. Potom se u obnovitelných zdrojů dává přednost jednodušším projektům s levnější počáteční investicí, či rekonstrukci a navýšení výkonu stávajících elektráren, které mezi obnovitelné zdroje nepatří.

Tab. 2.2: Seznam operujících přílivových elektráren v současné době [11]

Země	Název elektrárny	Výkon (MW)	Rok dokončení
Francie	Rance Tidal Power Station	240	1966
Rusko	Kislaya Guba Tidal Power Station	1,7	1968
Čína	Jiangxia Tidal Power Station	3,2	1980
Kanada	Annapolis Royal Generating Station	20	1984
Anglie	Strangford LoughSeaGen	1,2	2008
Jižní Korea	Uldolmok Tidal Power Station	1,5	2009
Jižní Korea	Sihwa Lake Tidal Power Station	254	2011

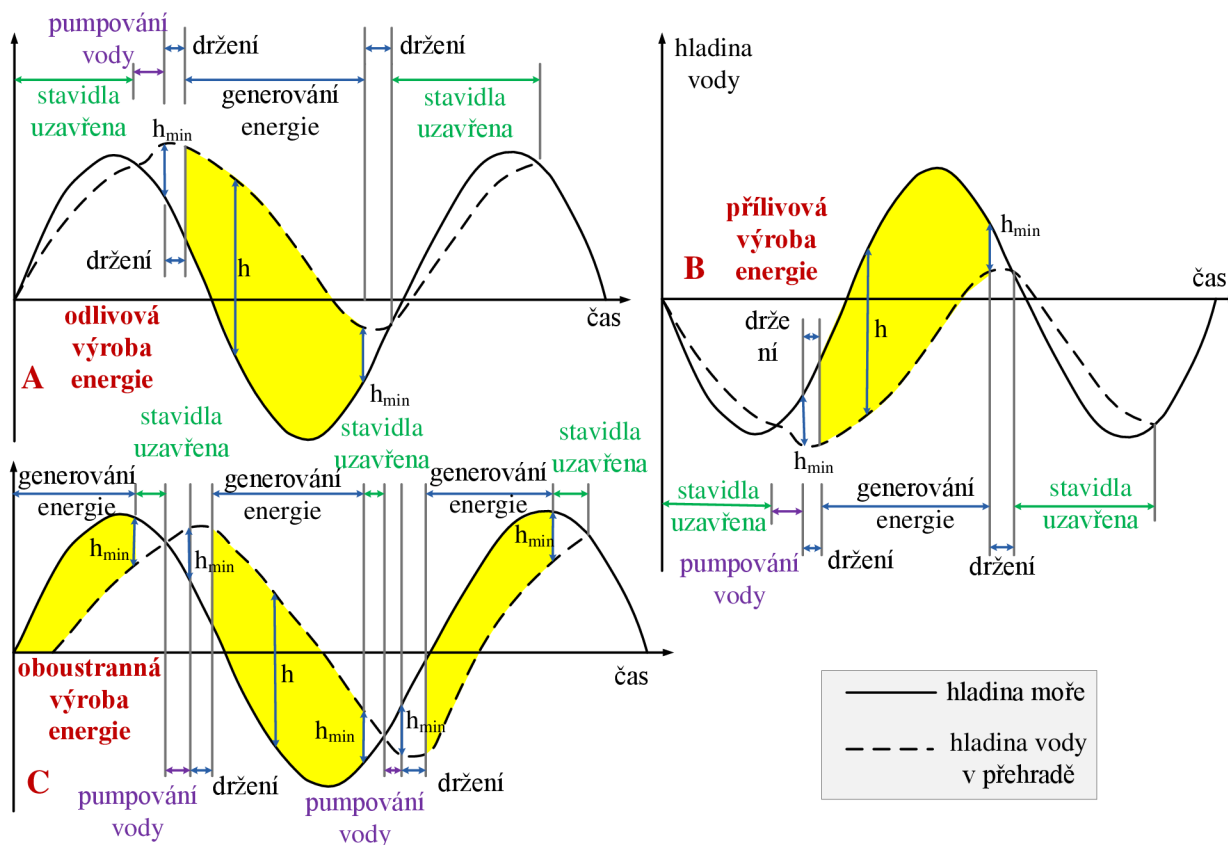
2.3.1 Princip výroby elektřiny

Princip chodu těchto elektráren spočívá ve vytvoření výškového rozdílu mořské hladiny, díky uměle vybudované bariéře mezi mořem a daným zálivem. V této bariéře se nacházejí otvory, ve kterých jsou umístěny turbíny s generátory. Přirozeným stoupáním a klesáním hladiny moře dochází k napouštění a vypouštění nádrže – voda se pohybuje skrz otvory s turbínami, které roztáčí a generuje tak elektrickou energii.



Obr. 2.7: Přilivová přehradní elektrárna - při přílivu a odlivu

Nevýhodou je periodicitu přílivu a odlivu, která umožňuje výrobu elektřiny jen určitou část dne. Navíc se slapové jevy řídí lunárním dnem, takže se dmutí moře s každým dnem časově posouvá a málokdy odpovídá období s největší poptávkou elektřiny. Aby přílivové elektrárny fungovaly co nejefektivněji, měly by umět generovat elektrickou energii při přílivu i odlivu, a pracovat v přečerpávacím režimu [1][2].



Obr. 2.8: Časové diagramy generování energie

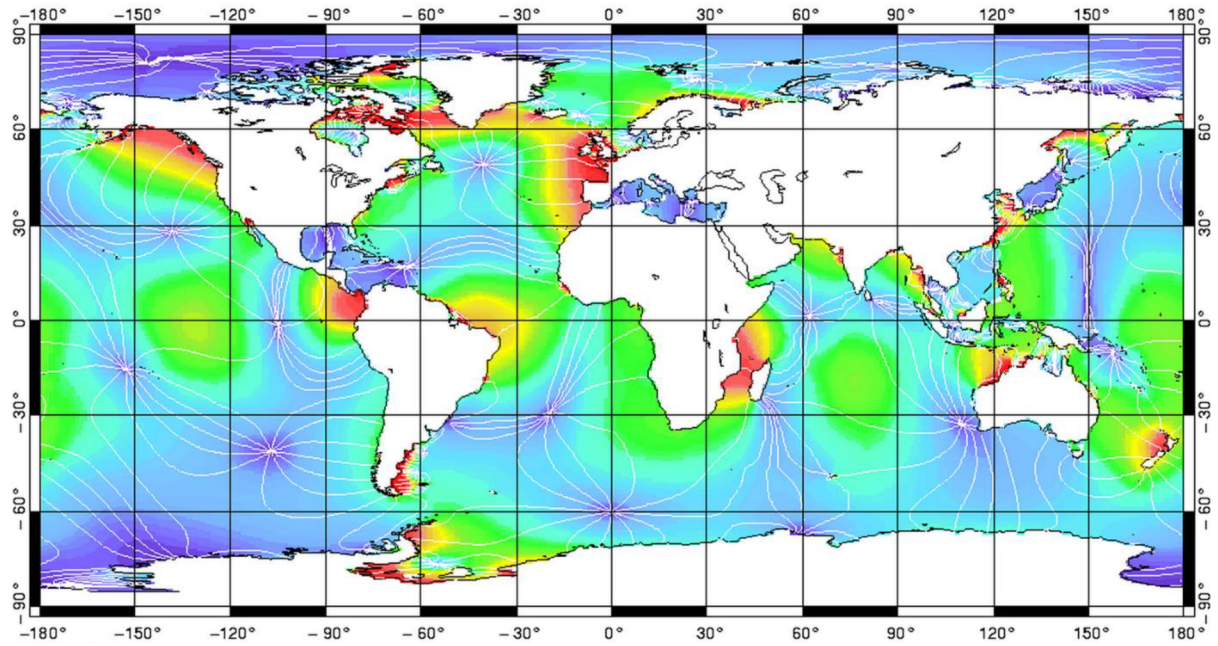
Na Obr. 2.8 jsou časové diagramy zobrazující systém generování energie při přílivu, odlivu a oboustrannou výrobu energie.

- **A – odlivová výroba energie** – cyklus začíná ve chvíli, kdy výška přílivu nabude největší hodnoty a hladina vody v nádrži je na svém maximu. V tu chvíli se uzavřou stavidla a voda se drží po takovou dobu, aby vznikl minimální výškový rozdíl hladin pro výrobu energie. Jestliže se přehrada nachází v ústí řeky, je plněna přitékající sladkou vodou z pevniny, a jestliže je přebytek elektrické energie v síti, dochází k čerpání mořské vody do přehrady pro zvýšení rozdílu hladin vody moře a nádrže. Poté se otevřou stavidla, voda odtéká skrz otvory s turbínami a nastává výroba elektrické energie. Po dosažení minimálního rozdílu hladin dochází k uzavření stavidel a držení vody po dobu začátku přílivu. Stavidla se uzavírají i z důvodu ochrany mořských živočichů v nádrži. Ve chvíli, kdy se výška hladiny moře díky přílivu zvýší na úroveň výšky hladiny v nádrži, stavidla se otevřou, nádrž se naplňuje a celý cyklus se opakuje znovu od začátku.
- **B – přílivová výroba energie** – jde o stejný princip výroby energie, jako u odlivové výroby energie, akorát využívá proudění opačným směrem – při přílivu směrem do přehrady.
- **C – oboustranná výroba energie** – jedná se o kombinaci odlivové a přílivové výroby energie, která nejefektivněji využívá postavené přehradní elektrárny.

Tab. 2.3: Místa s největšími průměrnými rozsahy dmutí na Zemi [10]

Země	Místo	Rozsah dmutí (m)
Kanada	záliv Fundy	16,2
Francie	přístav v Ganville	14,7
Anglie	ústí řeky Severn	14,5
Francie	ústí řeky La Rance	13,5
Rusko	Penzhinskaya	13,4
Argentina	Puerto Rio Gallegos	13,3
Rusko	záliv Mezen	10,0

Nejdůležitějším faktorem je však výběr správného místa pro výstavbu elektrárny. Na Obr. 2.9 jsou červeně vyznačena místa s dmutím moře nad 4 metry a v Tab. 2.3 je výběr míst na světě s maximálním rozdílem hladin moře při slapových jevech. Extrémním případem je záliv Fundy v kanadském Novém Skotsku, který je 258 km dlouhý. Dva metry vysoké přílivové vlny vstupují do ústí zálivu, putují zužujícím se zálivem a postupně interferují. To způsobuje velký nárůst hladiny, který na konci zálivu může být až 17 m. V estuáru řeky Annapolis je od roku 1984 funkční elektrárna o výkonu 20 MW, avšak výškový rozdíl hladiny moře v této části zálivu Fundy činí 8,7 m. Kdyby zde byla postavena elektrárna využívající maximální rozdíl hladin v zálivu, voda by zde mohla proudit nepřetržitě a její průtok by byl přibližně 117 krát větší než u elektrárny La Rance [1].



Obr. 2.9: Mapa světa s vyznačenou intenzitou dmutí moře – červenou barvou jsou označena místa s rozdílem přílivu a odlivu větším než 4 m (převzato z [9])

3 MOŽNOST GENEROVÁNÍ ENERGIE Z MOŘSKÝCH PROUDŮ

3.1 Mořské a oceánské proudění

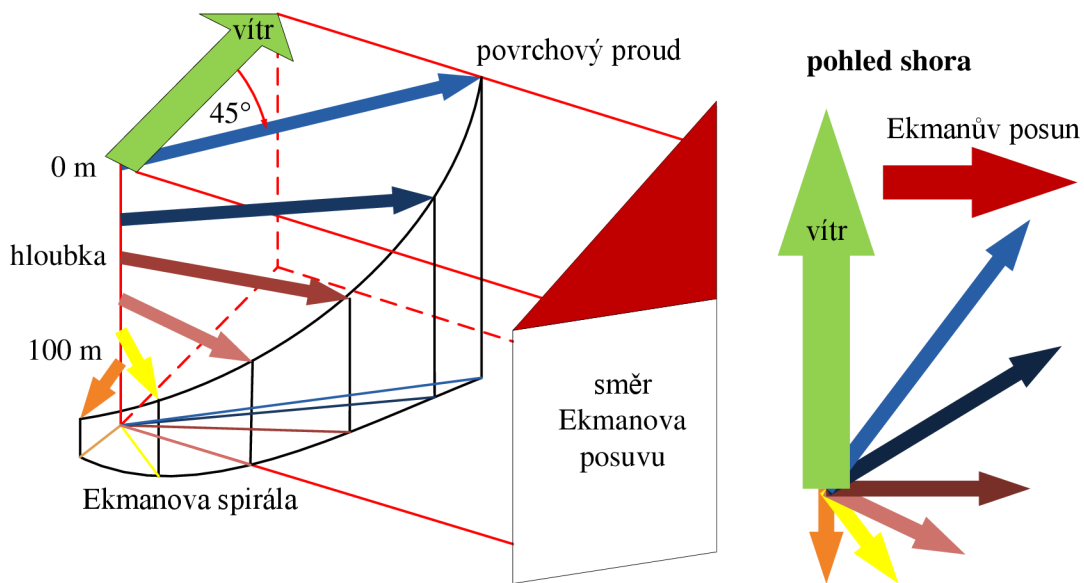
Oceánské proudy jsou masy oceánské vody, které tečou z jednoho místa na druhé. Mohou být různé velikosti, rychlosti, teploty a mohou se vyskytovat buď na povrchu oceánu, nebo ve velkých hloubkách. Obrovské proudové systémy přenášejí teplo z teplejších míst planety na studenější místa stejně jako hlavní pasáty větru. Globální cirkulaci vzduchu jsou přenášeny dvě třetiny celkového tepla od rovníku směrem k pólům, zbývající třetinu přenášejí povrchové oceánské proudy. Zdrojem tepelné energie je sluneční záření, které má nad rovníkem největší intenzitu. Povrchové oceánské proudy ovlivňují velice silně klima pobřežních oblastí kontinentů. Například díky Golfskému proudu je teplota v severní Evropě o 9 °C vyšší. Z historického hlediska byly povrchové oceánské proudy důležité pro cestování. V dnešní době se vyvíjejí metody pro generování elektřiny z kinetické a tepelné energie mořských proudů, a proto je důležitá jejich znalost [1][2].

3.2 Povrchové proudy

Nad oceány proudí vítr, který vyvolává tření a tímto vzniká i pohyb vodní masy. Vodní hladině jsou přitom předány jen 2 % energie větru, který nad ní vane. Povrchové proudění se projevuje pouze ve vrstvách vody mezi hladinou a *pyknoklinou* do hloubky maximálně 1000 m a týká se tedy jen přibližně deseti procent vody v oceánech. Směr proudění vody by měl kopírovat hlavní větrné pásy světa, avšak existencí kontinentů jsou jejich směry deformovány a tvoří proudové koloběhy. Ke směru proudění dále přispívá gravitace, tření a Coriolisův efekt [1][2].

3.2.1 Coriolisův efekt

Coriolisova síla působí vždy kolmo ke směru tělesa, neovlivňuje rychlost, ale pouze směr. Tato síla je důsledkem vlivu rotace Země a způsobuje, že oceánské proudy opisují zakřivené dráhy. Na severní polokouli se stáčí směrem vpravo od původní dráhy a na jižní polokouli směrem vlevo. Neplatí to ale pro subpolární proudové koloběhy. Nejvíce jsou proudy ovlivňovány ve vyšších zeměpisných šířkách, protože na pólech je Coriolisova síla největší, zatímco na rovníku je nulová [1][2].



Obr. 3.1: Ekmanův posun a Ekmanova spirála

3.2.2 Ekmanův posun

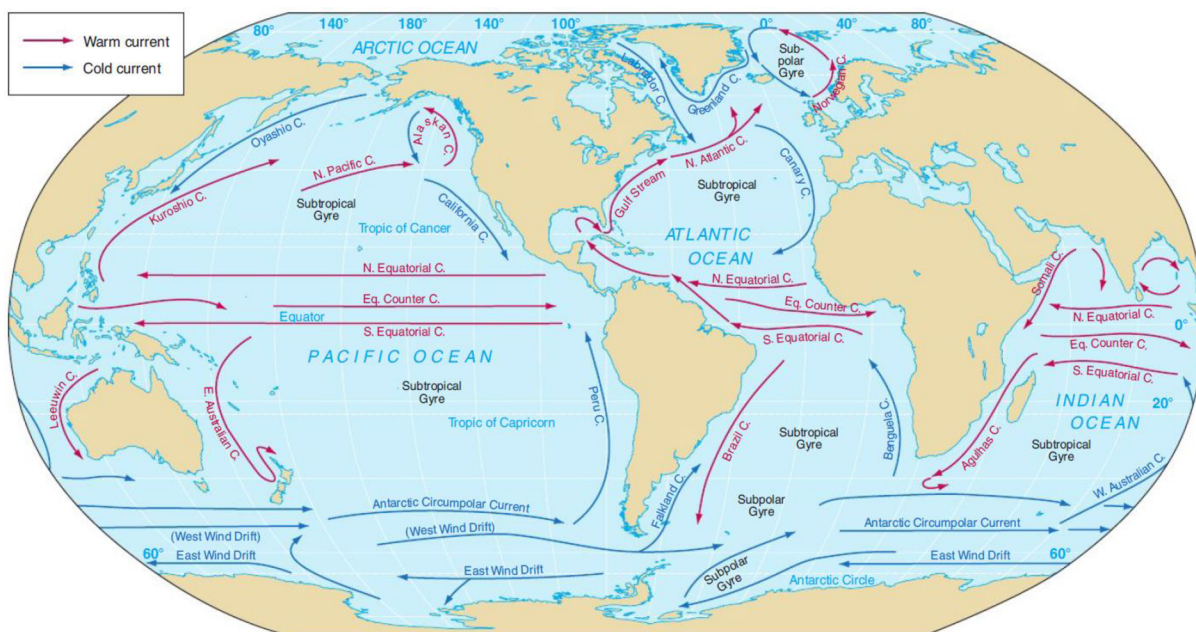
Ekmanův posun je výsledný pohyb mořské vody vůči větru na základě Ekmanovy spirály. Ekmanova spirála popisuje rychlost a směr toku povrchových vod v různých hloubkách, které jsou ovlivněny vanoucím větrem nad hladinou moře a účinkem Coriolisova efektu. Nejsvrchnější povrchová voda se pohybuje na severní polokouli ve směru odchýleném o 45° doprava od směru větru. Nejsvrchnější vrstva předává energii směrem dolů pomocí vodního sloupce a uvádí tyto vrstvy do pohybu. Energie postupem do větší hloubky klesá a Coriolisův efekt zvyšuje své zakřivení až do hloubky, kde se vypořádá veškerá energie a už se zde nevyskytuje žádný pohyb vody. V určité hloubce se proud vody může pohybovat proti směru větru. Obr. 3.1 ukazuje tvar Ekmanovy spirály a směr Ekmanova posunu. Délka každé šipky je úměrná rychlosti dané vrstvy vody. Výslednicí rychlostí ve všech vrstvách je pohyb vody, který je kolmý na směr větru [1][2].

3.2.3 Koloběh povrchové vody

V oceánech se vyskytují dva druhy koloběhů povrchové vody:

- **subtropický proudový koloběh**, který je tvořen rovníkovými proudy, západními okrajovými proudy a východními okrajovými proudy. Obr. 3.2 ukazuje 5 subtropických proudových koloběhů: *Severoatlantský koloběh*, *Jihoatlantský koloběh*, *Severní tichomořský koloběh*, *Jižní tichomořský koloběh* a *koloběh Indického oceánu*.
- **subpolární proudový koloběh**, který rotuje opačným směrem a je mnohem menší než subtropický proudový koloběh. Nejlépe jsou vyvinuty v Atlantickém oceánu mezi Grónskem a Evropou a ve Weddelově moři u Antarktidy.

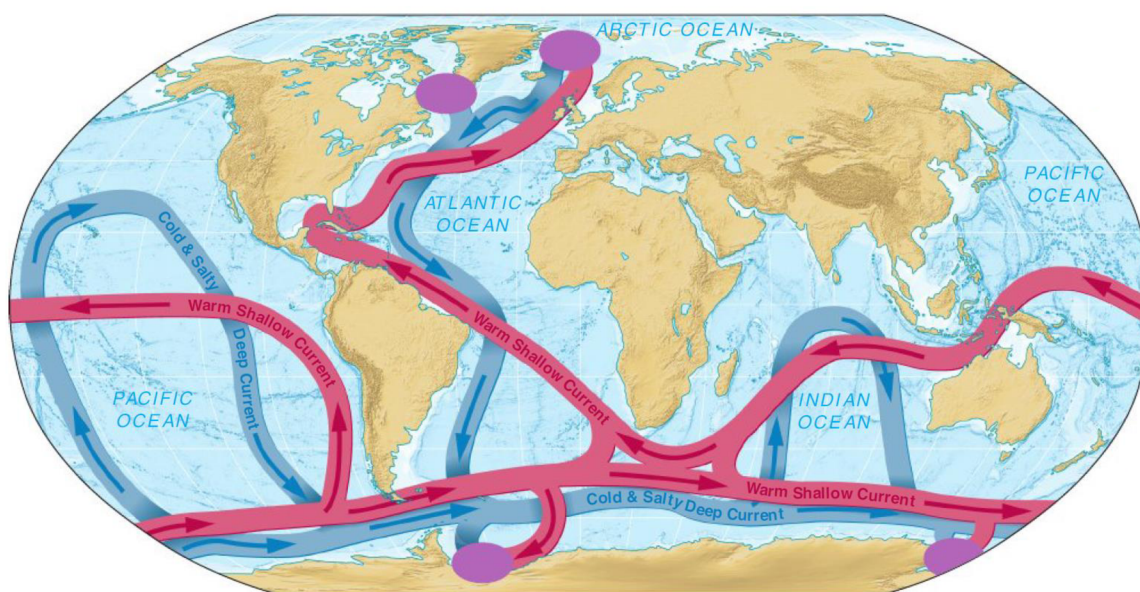
Rotace Země způsobuje takzvané západní zesílení, které formuje všechny západní okrajové proudy subtropických koloběhů do úzkých, rychlých a hlubokých proudů [1][2].



Obr. 3.2: Světové povrchové oceánské proudy (převzato z [2])

3.3 Hlubinné proudy

Hlubinné proudy se vyskytují v pásmu pod pyknoklinou a ovlivňují přibližně 90 % veškeré vody ve světovém oceánu. Jsou vyvolány rozdíly v hustotě mořské vody, která je ovlivňována teplotou a salinitou viz kapitola 5: Hustota mořské vody a viz Obr. 5.1. I malý rozdíl hustoty vody postačuje k tomu, aby voda o vyšší hustotě klesala směrem k oceánskému dnu a dále způsobila pohyby vody ve velkých hloubkách. Takovýto pohyb se nazývá *hlubokomořská cirkulace*, nebo také *termohalinní cirkulace*, která je zobrazena na Obr. 3.3. Fialově označené oblasti označují místa, kde dochází k významnému poklesu vody. Hlubinné proudy přemisťují velké objemy vody velmi pomalou rychlostí, která se pohybuje v rozmezí $10 - 20 \text{ km} \cdot \text{rok}^{-1}$ [1].



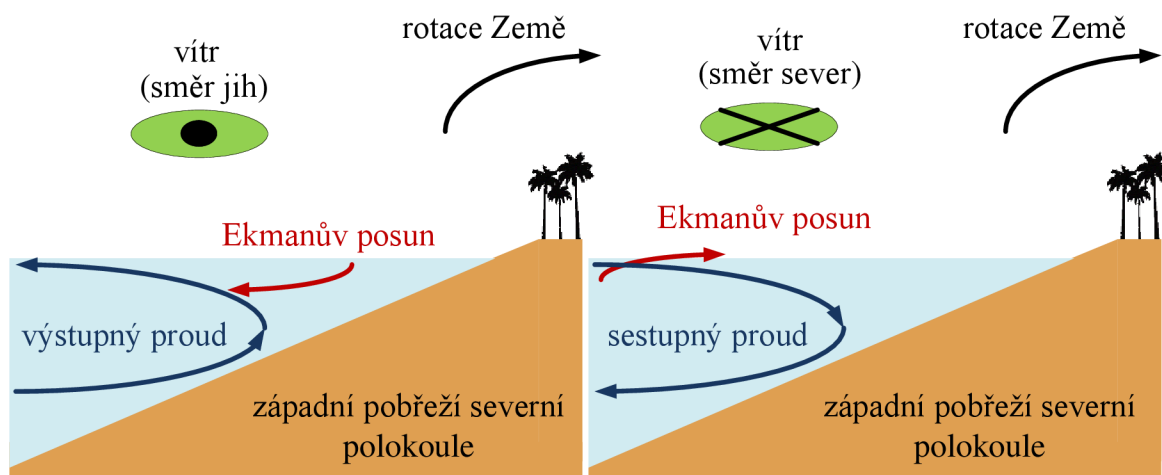
Obr. 3.3: Idealizovaná schématická mapa termohalinní cirkulace (převzato z [2])

3.4 Vertikální proudění

Mezi vertikální proudění patří *výstupný proud*, který nese z hlubin studenou mořskou vodu bohatou na rozpuštěné živiny směrem k hladině. V dané oblasti tyto výstupné proudy podporují růst mikroskopických řas a tím i zvyšují produktivitu. Vznikají nejčastěji proudovou *divergencí* (rozbíháním) na rovníku, kdy se část proudu, která teče severně od rovníku, stáčí díky Ekmanovu posunu doprava (směrem na sever) a část tekoucí jižně od rovníku doleva (směrem na jih). Tyto proudy se nazývají *rovníkové výstupní proudy* a nachází se zde největší loviště ryb na světě.

Druhým vertikálním proudem je *sestupný proud*. Ten nese povrchovou vodu s rozpuštěným kyslíkem do hlubších částí oceánu a tím podporuje život hlubokomořských živočichů. V dané oblasti je ale mnohem menší produktivita. Sestupné proudy vznikají proudovou konvergencí (sbíháním) – ve vyšších zeměpisných šířkách dojde ke střetnutí povrchových proudů, nahromadění vody a pomalý pokles do hloubky.

Výstupné a sestupné proudy se mohou objevovat i u pobřeží pevniny. Na Obr. 3.4 Je vyobrazena oblast podél západního pobřeží na severní polokouli s větry vanoucími rovnoběžně s pobřežím. Jestliže vítr vane ze severu, Ekmanův posun vychyluje vodu směrem doprava od pohybu větru a vzniká pobřežní výstupný proud. Ten má za následek ochlazování pobřeží a výstup živin z hloubky. Jestliže vítr vane z jihu, voda se pohybuje směrem k pobřeží, kde se hromadí a nemá jinou možnost, než proudit směrem dolů. Tento proud se nazývá pobřežní sestupný proud [1][2].



Obr. 3.4: Pobřežní výstupné a sestupné proudy

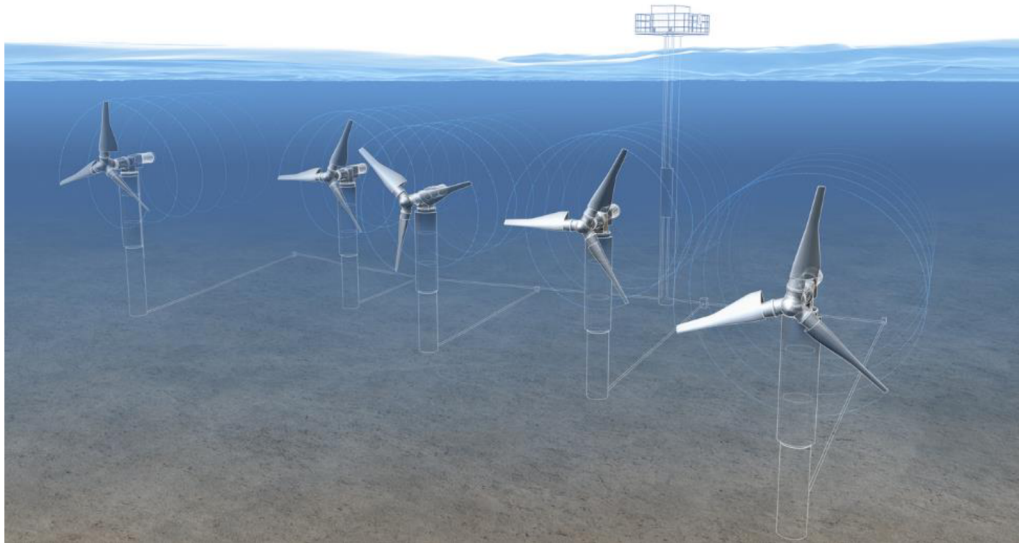
3.5 Pobřežní přílivové proudy

Jev dmutí moře doprovázejí přílivové a odlivové proudy, které jsou nazývány *výčasové proudy* a časově vznikají podle cyklu lunárního dne. Mohou dosahovat rychlosti až $44 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, což může negativně ovlivnit lodní dopravu, nebo také pozitivně podpořit výrobu elektrické energie. Výčasové proudy se objevují v zálivech, průlivech mezi pevninou a ostrovy, úzkých kanálech a v ústí řek. Projevují se tedy v blízkosti pevniny. Na otevřeném moři vznikají díky jevu dmutí moře tzv. *rotační slapové proudy*, které podléhají, stejně jako povrchové proudy v oceánu,

Coriolisovu efektu. Rotační slapové proudy jsou oproti výčasným proudům mnohem pomalejší ($1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) [1][2].

3.6 Elektrárny využívající mořské proudy

Pohyb mořských proudů byl vždy zvažován jako jeden ze zdrojů čisté obnovitelné energie, podobný větrným farmám (Obr. 3.5) s rozdílem, že tyto farmy by byly umístěny hluboko na mořském dně. Mořské proudy by také generovaly mnohem větší energii z důvodu 800 krát větší hustoty vody, oproti vzduchu. Lokalita s největším potenciálem se nachází na jiho-východním pobřeží Floridy, kde protéká Golský proud.



Obr. 3.5: Elektrárny využívající mořské proudy (převzato z [13])

Golský proud má v této oblasti šířku 60 – 75 km a pohybuje se do hloubky 1,5 km. Dosahuje rychlosti 3 – 10 km za hodinu, což ho dělá nejrychlejším proudem ve světovém oceánu. Podle výpočtů je z tohoto proudu možné vyrobit až 2000 MW elektrické energie. Avšak někteří ochránci přírody tvrdí, že větší počet instalovaných vodních elektráren by mohl Golský proud zpomalit, nebo úplně vychýlit z jeho původního směru. To by mohlo mít katastrofální důsledky v celém Atlantském oceánu a teplota v severní Evropě by razantně klesla [1][2].

Výstupní elektrický výkon elektrárny využívající mořské proudy [30] lze vyjádřit vztahem:

$$P_P = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} \cdot C_P \quad 3.1$$

Kde:	ρ	hustota vody	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
	A	plocha otáčení rotoru	(m^2)
	v	rychlost proudění vody	$(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
	C_P	koeficient turbíny	
	P_P	výstupní elektrický výkon elektrárny	(W)

Existuje mnoho prototypů o různých formách a způsobech provedení turbín, avšak první komerční elektrárnou využívající přílivové a povrchové mořské proudy je SeaGen. Jedna taková o výkonu 1,2 MW se nachází u Strangfordu v Severním Irsku, kde rychlost proudící vody dosahuje 9 km/hod. Jde o elektrárnu se dvěma 600 kW horizontálně orientovanými axiálními rotory o průměru 16 metrů umístěných 3 metry pod vodní hladinou. Podle daných podmínek může dodávat elektřinu do sítě až 20 hodin denně. V současné době jde o nejvýkonnější elektrárnu tohoto typu – do budoucna ale firma Siemens hodlá uvést do provozu výkonnější SeaGen-S s výstupním výkonem 2 MW. Toho bylo docíleno přepracováním rotoru a to na 3 čepele s celkovým průměrem 20 metrů. Hlavní výhodou je rovnoměrnější rozložení tlaku vody na čepele turbíny a tím i lepší spolehlivost [16].



Obr. 3.6: SeaGen u Strangfordu v Severním Irsku (převzato z [12])

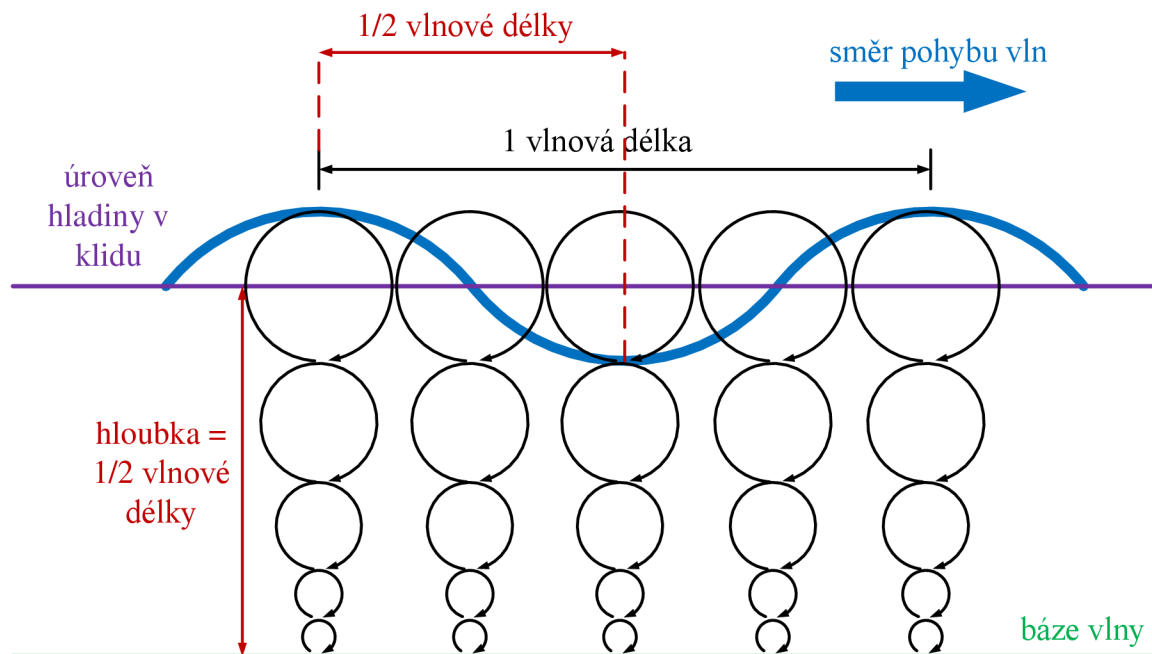
4 MOŘSKÉ VLNĚNÍ A MOŽNOSTI GENEROVÁNÍ ENERGIE

4.1 Vlny a pohyb vody

Na povrchu oceánů a moří se neustále pohybují vlny a to i za bezvětřných podmínek. Energie vln se uvolňuje pomalu, a proto putují z oblastí, kde vznikají díky větru a bouřím, do oblastí bez těchto stimulujících podmínek. Vlnění vzniká určitým podmětem, nebo vzruchem. Kámen vhozený na klidovou hladinu rybníka, vytvoří vlny šířící se z místa dopadu do všech směrů. Vlny jsou tedy způsobeny uvolněním energie, nejčastěji energií větru, ale také jinými způsoby. Příkladem jsou vnitřní vlny, rázové vlny, tsunami, slapové vlny a vlny vyvolané lidskou činností [1][2]. Vlny mohou vznikat podél různých rozhraní:

- podél rozhraní *voda – vzduch* se tvoří větrem vyvolané vlny, nebo také *eolické vlny* (*Aiolos* = řecký bůh větru), které jsou nejčastějším typem.
- podél rozhraní *dvou vzduchových vrstev* se vytváří atmosférické vlny, vytvořené pohybem různých vzdušných mas - nejčastěji pohybem studené fronty o vyšší hustotě nad zemí.
- podél rozhraní *dvou vrstev vody* o různých hustotách, kde mohou vznikat vnitřní vlny. Vnitřní vlny mají většinou mnohem větší vlnovou délku než vlny povrchové a jejich amplituda může činit až 100 m. Vznik je spojen s přílivem a odlivem, mořskými proudy o vyšší hustotě, dlouhodobým rovnoměrným působením větru nebo dokonce lodními motory.

Energie vln se přenáší pomocí periodického pohybu hmoty, kterým se šíří. Dané prostředí se však s přenášením energie nepohybuje, dochází ke kmitání částic do různých směrů a podle toho se rozlišuje kmitání na podélné, příčné a kruhové. U podélných vln kmitají částice ve stejném směru šíření vlnění a to „tam a zpět“. Je tedy typický jev stlačování a rozpínání, který se objevuje u těles všech skupenství, která jsou pružná při změně objemu. Příkladem podélného vlnění je šíření zvuku. U příčného vlnění se energie přenáší ve směru kolmém na kmitání částic a je typické pro pevná pružná tělesa, kde jsou částice dostatečně pevně spojeny, aby tento pohyb mohl vzniknout. Mořské vlny přenášejí energii hlavně podél rozhraní vody a vzduchu, to znamená kombinaci podélného a příčného vlnění za vzniku vlnění kruhového [1][2].



Obr. 4.1: Kruhový pohyb vln

Plující objekt ve vlnách se nepohybuje jen ve svislém směru nahoru – dolů, ale s každou další vlnou se posouvá v horizontálním směru dopředu a dozadu. Takový pohyb umožňuje energii posouvat vpřed, zatímco se částice vody pohybují po kruhových drahách a vrací se do přibližně původních poloh. Poloměr kruhové dráhy předmětu plujícího na vodní hladině je roven výšce vlny. Z Obr. 4.1 je patrné, že v určité hloubce se poloměr kruhové dráhy zmenší na takovou hodnotu, kdy je výsledný pohyb zanedbatelný. Tato hloubka se nazývá báze vlny a je rovna polovině vlnové délky měřené od úrovně klidové hladiny [1][2].

4.2 Typy vln a jevy na mořích

4.2.1 Nucené vlnění a vznik eolických vln

Vanoucí vítr způsobuje tlak a napětí na vodní hladině. Dochází k deformaci povrchu hladiny a vzniku malých kruhových vln o vlnové délce menších než 1,74 cm, které se v tomto stádiu nazývají *kapilární*. S rostoucím počtem kapilárních vln klade deformovaná hladina větší odpor větru a tím zachytává více energie. Vznikají symetrické *gravitační eolické vlny* o vlnových délkách větších než 1,74 cm. S rostoucí energií vln roste jejich vlnová délka, rychlost a výška a dostávají tvar trochoidy. Jestliže rychlost vlny dorovná rychlost větru, vlna se již nezvětší a dosáhla tak svého maximálního tvaru. Nucené vlnění tedy vzniká v oblastech přímého působení větru [1][2]. Faktory ovlivňující energii předanou vlnám jsou:

- rychlost větru
- doba, za kterou vítr vane jedním směrem
- vzdálenost, kterou vlna urazí za dobu, kdy vítr vane jedním směrem – *rozběh vlny*

Tab. 4.1: Parametry plně rozvinutého nuceného vlnění při dané rychlosti větru [1]

Rychlost větru (km/h)	Průměrná perioda (s)	Průměrná délka (m)	Průměrná výška (m)	Výška 10 % nejvyšších (m)
20	3,2	10,6	0,3	0,8
30	4,6	22,2	0,9	2,1
40	6,2	39,7	1,8	3,9
50	7,7	61,8	3,2	6,8
60	9,1	89,2	5,1	10,5
70	10,8	121,4	7,4	15,3
80	12,4	158,6	10,3	21,4
90	13,9	201,6	13,9	28,4

4.2.2 Volné vlnění

Vlny, které se dostaly mimo oblast vzniku, přecházejí do stavu volného vlnění. To je tvořeno stejnoměrnými, symetrickými vlnami, jejichž rychlost je větší než rychlost větru. Vlny s delšími vlnovými délkami se pohybují rychleji a dochází tedy k vlnové disperzi (rozptylu) – rozdělení vln podle vlnových délek. Vzdálenost, na které dojde k rozřídění z neuspořádaného nuceného vlnění do jednotného volného vlnění, se nazývá disperzní vzdálenost, která může být i několik set kilometrů [1][2].

4.2.3 Interference

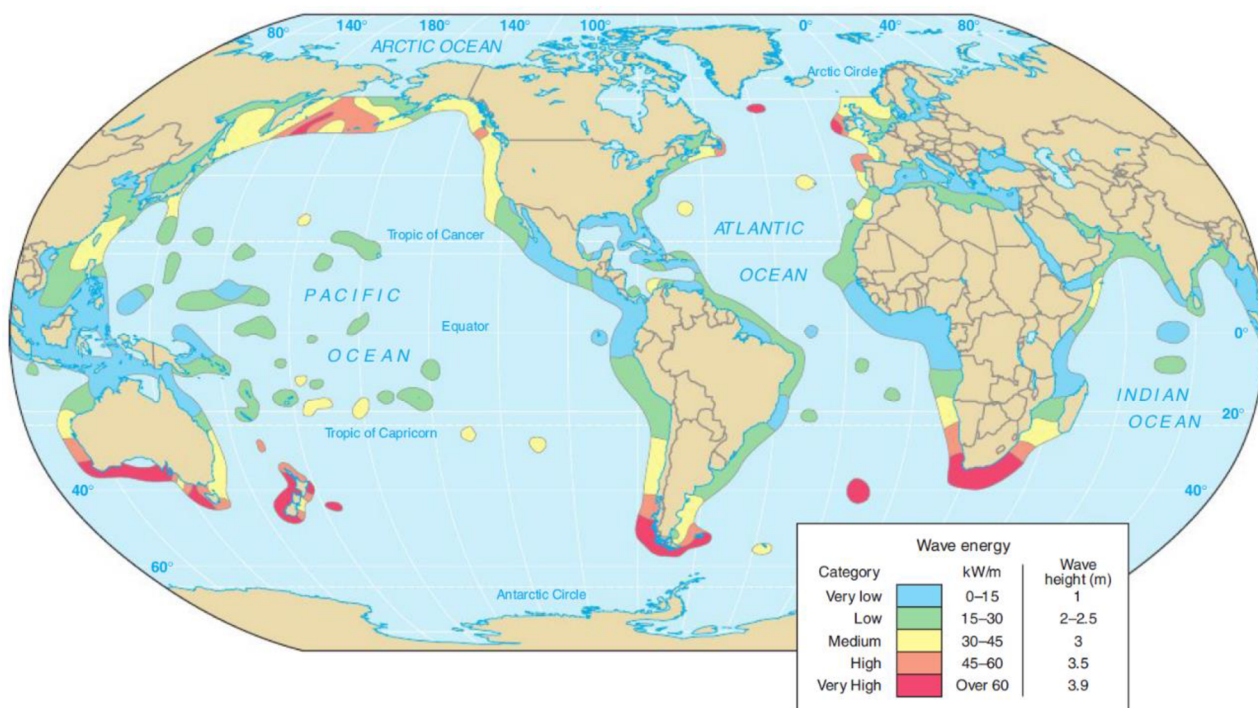
Setkají-li se dvě volná vlnění z různých oblastí, dochází ke skládání vln v závislosti na různých podmínkách. O konstruktivní interferenci se jedná v případě, že se setkají dvě řady vln o stejných vlnových délkách a se stejnou fází. Výsledkem je vlna se stejnou vlnovou délkou, ale dvojnásobnou výškou. Jestliže se setkají dvě řady vln s opačnou fází, dochází k destruktivní interferenci, což znamená, že se jejich energie vzájemně anulují. Nejčastějším případem je interference smíšená, kdy se setkávají řady vln s různými vlnovými délkami a výškami [1][2].

4.2.4 Refrakce a odraz

Jsou to jevy, které nastávají u volného vlnění, které se již nachází v pobřežní oblasti. Část vlny, která se blíží k pobřeží pod určitým úhlem a je nejbližší začne zpomalovat, zatímco vlny na větších hloubkách svojí rychlost nemění – dochází k ohybu vlny. To způsobuje sbíhání vln (soustředění energie) na výběžky pevniny do moře a rozbíhání vln v zálivech. Odraz může nastat o přístavní zdi či různé bariéry, kde může dojít k interferenci odražené a další přichodící vlny. To však záleží na úhlu odrazu – při kolmém odrazu se mohou setkat dvě vlny o stejných vlnových délkách a se stejnou rychlostí, za vzniku stojatých vln. Hřebeny vln nemění polohu a pohybují se pouze vertikálně v kmitnách [1][2].

4.3 Energie z vln

Vlny v sobě obsahují spoustu energie, kterou můžeme dále přeměňovat na jiné typy energie. Pro neefektivnější využití je třeba vybrat místa, kde dochází ke sbíhání a interferenci vln, jako jsou mysy a různé výběžky do moře (Obr. 4.2) [2]. Záleží však na typu elektrárny – některé mohou být umístěny dále od pobřeží či výběžku, nebo se nacházet na otevřeném moři. Zařízení generující elektrickou energii, či pumpující vodu díky mořským vlnám se může nacházet na plujících lodích.



Obr. 4.2: Pobřežní oblasti, kde se vyskytují vlny s největší energií (převzato z [2])

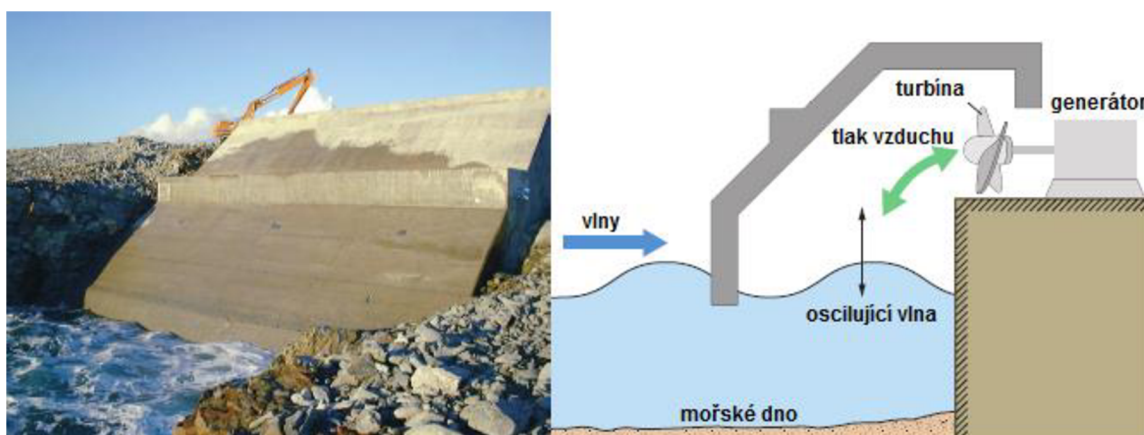
Samostatně lze energii vln [24] vyjádřit vztahem:

$$P_{wave} = \frac{\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T}{32 \cdot \pi} \quad 4.1$$

Kde:	ρ	hustota vody	($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
	g	gravitační zrychlení	($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
	H	výška vlny	(m)
	T	perioda vlny	(s)
	P_{wave}	energie vln	(kW)

V tomto odvětví energetiky se vyskytuje asi nejvíce možných prototypů zařízení. Tato práce uvede jen některé nejvýznamnější zařízení a typy elektráren:

- **elektrárna LIMPET** (Land Installed Marine Power Energy Transformer) – jedná se o pobřežní elektrárnu firmy Wavegen zásobující energií lokální ostrovy. Energie kmitavého pohybu vln je využita k transformaci na energii tlakovou vzduchové kapsy v betonovém krytu a pohání pneumatickou turbínu napojenou na generátor. Průměrná energie vln v této oblasti je $20 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$ – s délkou betonové konstrukce 21 m má elektrárna výstupní výkon 206 kW. Na stejném principu stlačování vzduchu pracují plovoucí jednotky, které jsou ukotveny ke dnu moře a napájejí ropné plošiny na otevřeném moři [20][24].



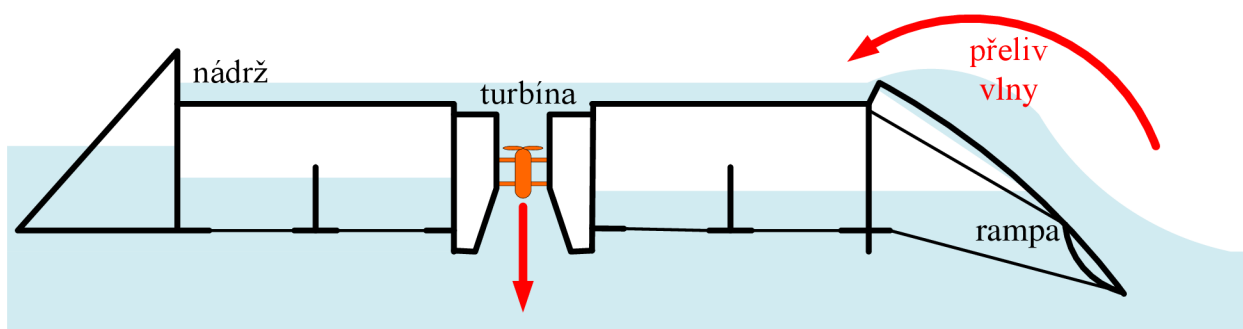
Obr. 4.3: Elektrárna typu LIMPET (převzato z [2])

- **článkované zařízení firmy Pelamis Wave Power** - jedná se o elektrárnu typu "mechanický had" pohybující se těsně pod hladinou moře. S pohybem vln se zařízení ohýbá a pohání hydraulické systémy, které uvádějí do chodu generátory. Zařízení byla odzkoušena u pobřeží Portugalska a Orkneji – první prototypy byly 120 m dlouhé a měly 3,5 m v průměru. Výstupní výkon byl 750 kW [21].



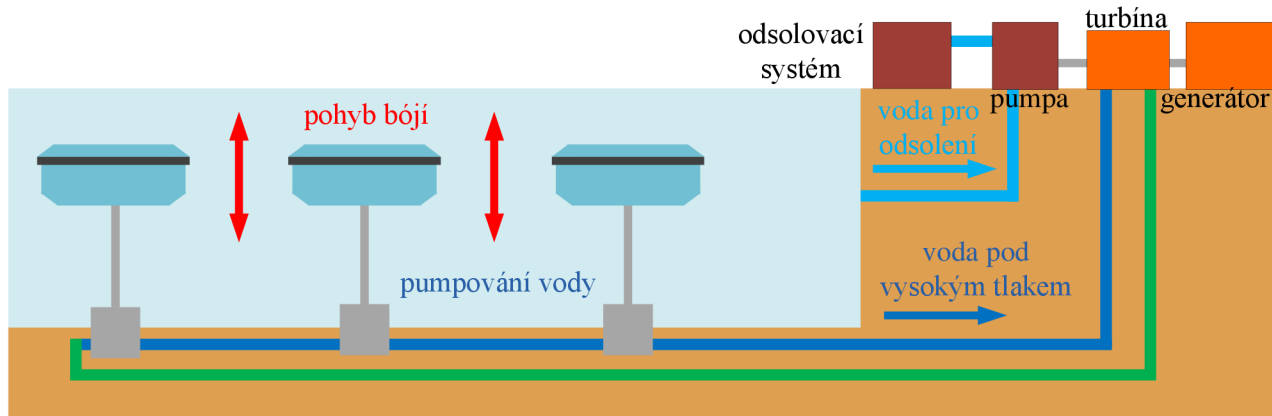
Obr. 4.4: Pelamis Wave Power Converter (převzato z [2])

- **elektrárna Wave Dragon** – jedná se o ukotvený plovoucí konvertor, který hromadí přelévající se vlny. V podstatě obsahuje dva vlnové reflektory, které soustřeďují vlny na rampu, za kterou se nachází velká přehrada – voda přeteče okraj přehrady a permanentně se hromadí v nádrži. Tlak vodního sloupce je použit pro pohon turbíny. Aktuální prototyp (2003) nacházející se v oblasti Nissum Bredning v Dánsku má výkon 20 kW – 7 x 2,3 kW generátory s permanentními magnety poháněné kaplanovými turbínami a objem přehrady je 55 m³. Usměrnění vln přes 3,6 m vysokou přehradu zajišťují reflektory o délce 28 m. Pro chod elektrárny o 11 MW by byla potřeba přehrada o 14000 m³, výšce 19 m a délce reflektorů 190 m. Celkem by bylo použito 54000 tun materiálu [23].



Obr. 4.5: Wave Dragon energy converter

- **technologie CETO** – jde o hydraulické zařízení na bázi velké bóje a pumpy. Díky vlnám se bóje pohybuje ve vertikálním směru a vytváří tak mechanickou energii. Ta se využívá k čerpání a pumpování mořské vody pod tlakem přímo do turbíny, která se nachází na pevnině. Spolu s turbínou se v daném komplexu nachází i zařízení na odsolování vody. Po deseti letech vývoje společnost Carnegie Wave Energy instalovala u pobřeží Austrálie tři energetická a odsolovací zařízení CETO 5 o výkonu 240 kW. Bóje mají v průměru 20 m a jsou umístěna 20 – 40 metrů pod hladinou moře, chráněna před prudkými vlnami při bouřích. V roce 2016 je chystána výstavba 3 MW projektu CETO 6 [32].



Obr. 4.6: technologie CETO

5 MOŽNOSTI GENEROVÁNÍ ENERGIE DÍKY FYZIKÁLNÍM A CHEMICKÝM VLASTNOSTEM MOŘSKÉ VODY

Voda je nejrozšířenější a nejdůležitější látkou na Zemi – je to hlavní stavební látka všech organismů, na jejichž chemických vlastnostech jsou závislé všechny formy života. Molekula vody se skládá ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku (H_2O) a vyskytuje se ve třech skupenstvích – kapalném, pevném (led a sníh) a plynném (vodní pára). Charakteristická je měrná tepelná kapacita, která je mnohonásobně větší, než u většiny běžných látek, a proto se výrazně podílí na celkové tepelné bilanci Země [1]. Voda v oceánech tvoří přibližně 97% celkového množství vody a obsahuje tyto prvky:

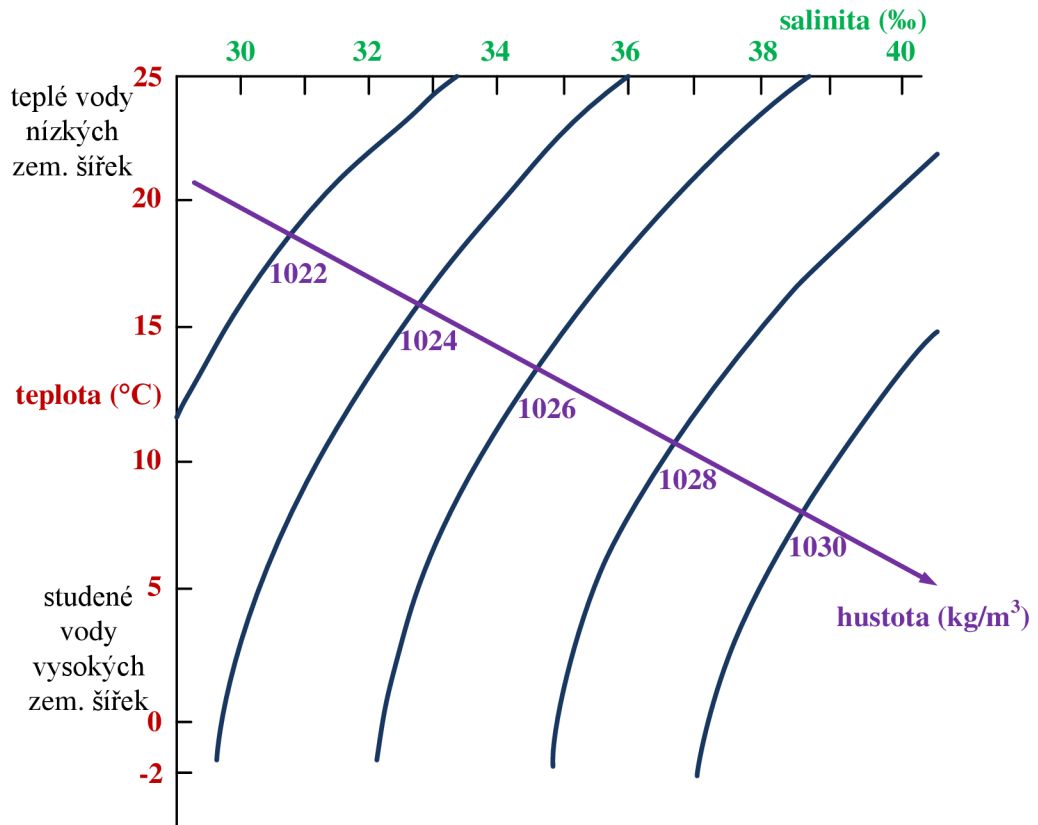
- hlavní prvky a ionty: sodík, chloridy, síra, hořčík, vápník, draslík
- vedlejší prvky: oxid uhličitý, bróm, dusík, kyslík, křemík, uhličitany, hydrogenuhličitany
- stopové prvky: sloučeniny fosforu, jód, železo, mangan a ostatní [1].

5.1 Hustota mořské vody

Hustota látky je definována jako hmotnost látky na jednotku objemu a je v podstatě závislá na tom, jak jsou molekuly dané látky na sobě těsně navázány. Základní jednotkou je kilogram na metr krychlový ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), nebo se používá jednotka gram na centimetr krychlový ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Mořská voda obsahuje různá množství rozpuštěných látek, a proto má přibližně o 3 % vyšší hustotu, než voda čistá. Při teplotě 4 °C se hustota mořské vody pohybuje v rozmezí 1,022 a 1,030 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ [1][2].

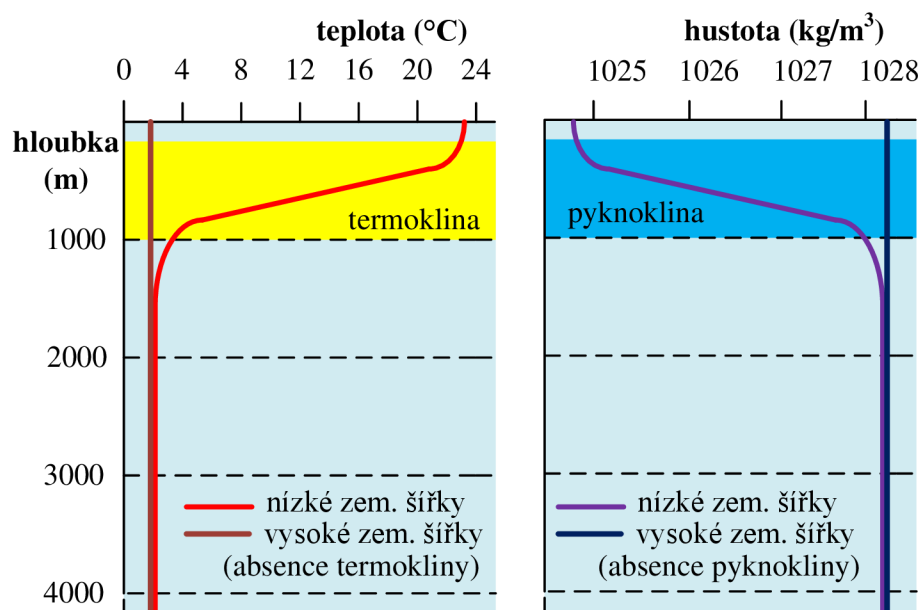
Faktory ovlivňující hustotu vody:

- Teplota: s rostoucí teplotou vody její hustota klesá, díky tepelné expanzi. Bodu mrazu dosahuje mořská voda při -1,9 °C a bodu varu při 100,6 °C. Teplota ovlivňuje hustotu vody nejvíce ze všech faktorů.
- Salinita: se zvyšující se salinitou stoupá i hustota, z důvodu většího množství rozpuštěných látek.
- Tlak: s rostoucím tlakem roste i hustota vody, díky stlačování. Avšak tento faktor ovlivňuje hustotu vody minimálně a projevuje se až v extrémních hloubkách, kde může navýšit hustotu až o 5% oproti povrchové vodě [1][2].



Obr. 5.1: Změna hustoty mořské vody v závislosti na její teplotě a salinitě

Nejvyšší hustotu má oceánská voda o nízké teplotě a vysoké salinitě. Z Obr. 5.1 Je patrné, že kolísání hustoty je podmíněno změnami teploty, které jsou nejvýraznější v nižších zeměpisných šířkách, než v zeměpisných šířkách vyšších. V polárních oblastech jsou teploty v průběhu roku téměř konstantní, a proto je zde hustota ovlivňována jen mírně a to salinitou [1][2]. Rozdíly hustoty a teploty v oceánech jsou vyobrazeny na Obr. 5.2.



Obr. 5.2: Závislost teploty a hustoty na hloubce pro nízké a vysoké zeměpisné šířky

Na Obr. 5.2 se objevuje rozdělení oceánských vrstev podle teploty a hustoty na dané hloubce:

- pyknoklina (*pycno* = hustota, *cline* = spád) je vrstva oceánské vody s rapidní změnou hustoty.
- termoklina (*thermo* = teplota, *cline* = spád) je vrstva s výraznou změnou teploty.

Tyto vrstvy se nacházejí v hloubce 300 – 1000 m a představují fyzicky oddělenou skočnou vrstvu mezi svrchní vrstvou a hlubinnou vodou. Masy vody ve svrchní vrstvě jsou velice dobře promíchávány povrchovými proudy, vlněním a dmutím, takže tato vrstva představuje téměř homogenní prostředí. Teplotní rozdíl mezi těmito vrstvami může být použit k výrobě elektrické energie [1][2].

5.2 Kyselost

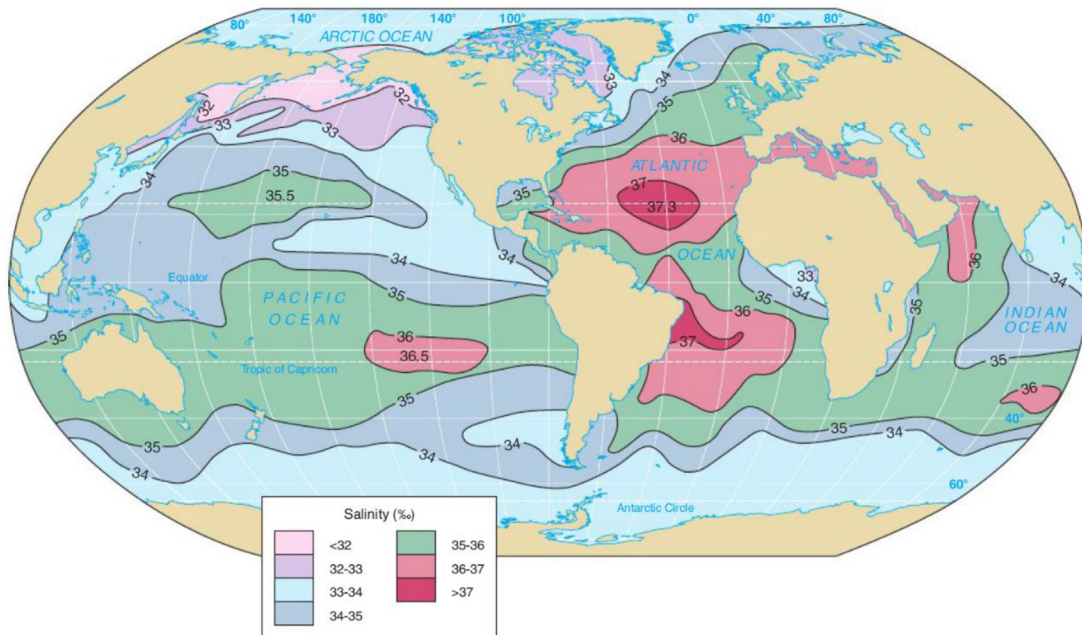
Mořská voda dosahuje mírně zásaditého pH o hodnotě 8,1, oproti neutrální čisté vodě, která má na stupnici pH rovné 7. Mírná zásaditost je ovlivňována chemickými procesy uhličitany a dalšími rozpuštěnými látkami v oceánech, které udržují konstantní hodnotu pH [1][2].

5.3 Salinita

Salinita je ovlivněna množstvím chemických látek rozpuštěných ve vodě a množstvím molekul vody v jejím objemu. Mořská voda dosahuje salinity až 37 ‰.

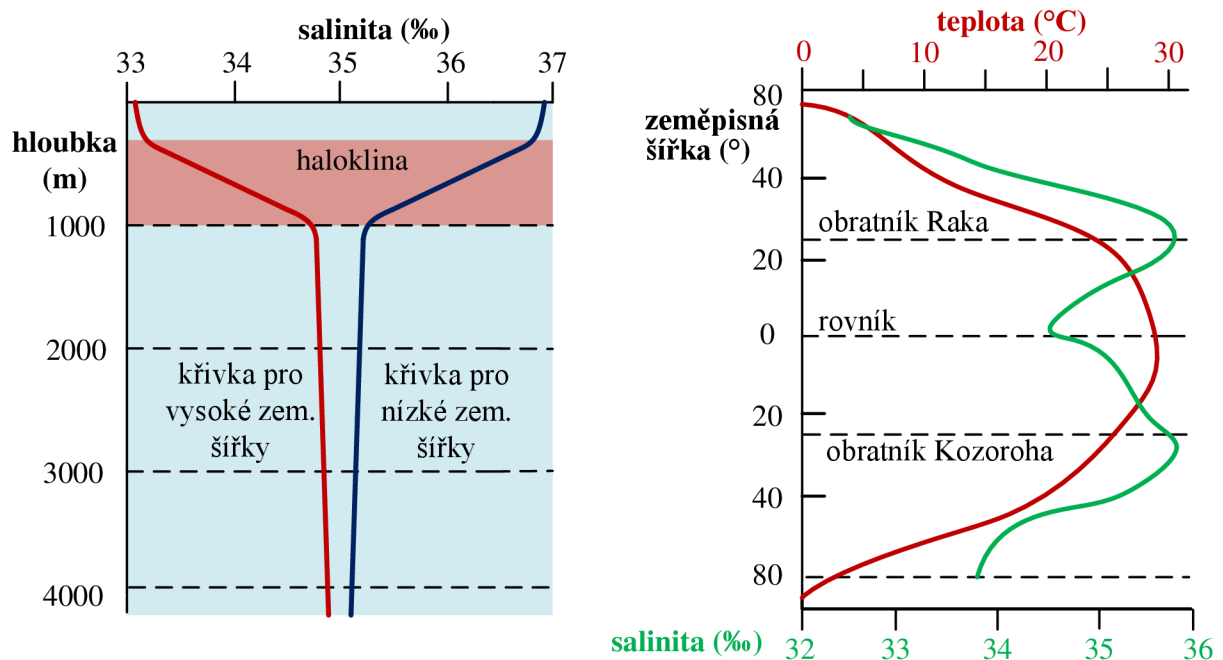
Jeden z procesů, který salinitu mořské vody snižuje, jsou atmosférické srážky, kdy sladká voda dopadá do oceánu v podobě deště, sněhu či krup. Tento proces probíhá ze tří čtvrtin nad oceánem a z jedné čtvrtiny nad kontinenty. Tato sladká voda se dostává do oceánů nepřímo říčními přítoky a salinitu snižuje. I když voda cestou rozpouští pevninské minerály, ani zdaleka neobsahuje takovou koncentraci látek, jako mořská voda. Dalším procesem je tání ledovců a mořského ledu. Pevninské ledovce jsou tvořeny sladkou vodou, stejně jako mořský led, který ale také obsahuje nepatrné množství soli [1][2].

Zvyšování salinity mořské vody probíhá snižováním počtu molekul vody. Jeden z procesů salinitu zvyšujících je zamrzání mořské vody. Při zamrzání je sladká voda odebírána spolu s třiceti procenty rozpuštěných látek, záleží však na salinitě a rychlosti krystalizace ledu. Evaporace neboli výpar je další proces, který zvyšuje salinitu mořské vody. Ke vzniku vodní páry dochází na aktivním povrchu mořské hladiny samovolně a zejména v horkých klimatech. Voda s vysokou salinitou má vysokou hustotu, a proto klesá do větší hloubky v oceánu [1][2].



Obr. 5.3: Průměrné srpnové povrchové salinity oceánů (převzato z [2])

Z Obr. 5.3 a Obr. 5.4 je patrné, že nejvyšší hodnoty povrchové salinity jsou v okolí obratníků Raka a Kozoroha. Způsobuje to globální cirkulace vzduchu, projevující se sestupem suchého a teplého vzduchu, což má za následek vysokou evaporaci. Nejnížší hodnoty povrchové salinity se vyskytují ve vysokých zeměpisných šířkách, kde je hojné množství atmosférických srážek, říčních přítoků a výskytu tajících ledovců. Tyto rozdíly platí do hloubky přibližně 1000 m, kde se nachází nejvíce procesů salinitu ovlivňujících. Hranice mezi dvěma vrstvami oceánské vody velmi rozdílné salinity se nazývá *haloklina* (*halo* = sůl, *cline* = spád) a nachází se v hloubce 300 – 1000 m. Ve větších hloubkách je salinita konstantní a udržuje si hodnotu 35 ‰ [1][2].



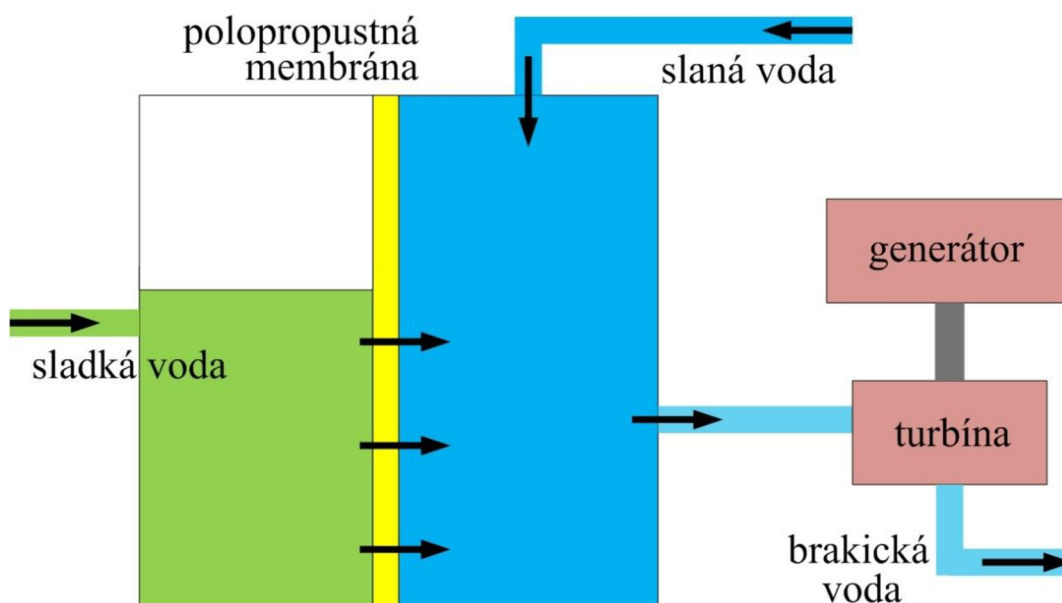
Obr. 5.4: Změna salinity v hloubce; Rozdíly v povrchové salinitě a teplotě oceánů v závislosti na zeměpisné šířce

5.4 Využití rozdílné salinity vody – Osmotické elektrárny

Princip je založen na fyzikálním jevu osmóza – jednosměrný pohyb kapaliny přes polopropustnou membránu za účelem vyrovnání koncentrace látek v kapalině – nejčastěji sladká a slaná voda. Jedná se o spontánní jev, který nevyžaduje pro pohyb kapaliny žádnou energii.

Z řeky se odčerpává sladká voda, která se nachází v jedné nádrži a z moře voda slaná, která je ve druhé. Obě nádrže jsou propojeny speciální polopropustnou membránou, která způsobuje jednosměrné proudění sladké vody do nádrže s vodou slanou. Ve druhé nádrži roste tlak vody, který je využit pro pohánění turbíny. Tyto elektrárny se mohou nacházet pouze v oblastech s ústící řekou do moře a jsou limitovány již zastavěnými oblastmi a efektivností membrány. Elektrárna s výkonem 25 MW by potřebovala membránu o ploše 5000000 čtverečních metrů. Proto je důležitý výzkum v této oblasti, aby se co nejvíce zvýšila efektivnost polopropustné membrány. Produkce elektrické energie je šetrná k životnímu prostředí, stabilní a závislá pouze na přítoku vody, nikoliv na počasí. Čerpání vody spotřebuje pětinu celkového výstupního výkonu elektrárny, a proto se do budoucna uvažují elektrárny postavené pod vodní hladinou, kde by čerpání vody bylo účinnější [19].

První osmotické zařízení o výkonu 4 kW se nachází v městě Tofte v Norsku a je provozováno společností Statkraft od roku 2009. Jedná se spíše o prototyp, který je určen pro testování a výzkum v tomto odvětví energetiky a vývoji membrán. Je zde použita polyimidová membrána, která je schopna vyprodukovat $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Celkově se v objektu nachází 66 tlakovodních nádob s 2000 m^2 srulované membrány uvnitř. Do budoucna se společnost Statkraft chystá uvest do provozu větší zařízení tohoto typu [19][22].



Obr. 5.5: Princip osmotické elektrárny

6 VZTAH ATMOSFÉRY A OCEÁNU

Tepelná energie ze Slunce je zodpovědná za pohyb vody v oceánu a za pohyb atmosféry nad ním i kontinenty. Oceán a atmosféra tvoří jednu ucelenou soustavu provázanou jevy, které způsobují výměny energií. Vše je propojeno systémem zpětných vazeb – co se stane v atmosféře, způsobí změny v oceánu. Cirkulace zemské atmosféry způsobuje povrchové proudění, naopak některé tyto jevy mohou ovlivnit počasí. Jestliže chceme porozumět atmosféře a oceánům, měli bychom zkoumat jejich vztahy a interakce. Důležitá je periodičnost změn podmínek, která je zodpovědná za opakující se extrémní počasí, jako hojnost srážek či období sucha [1].

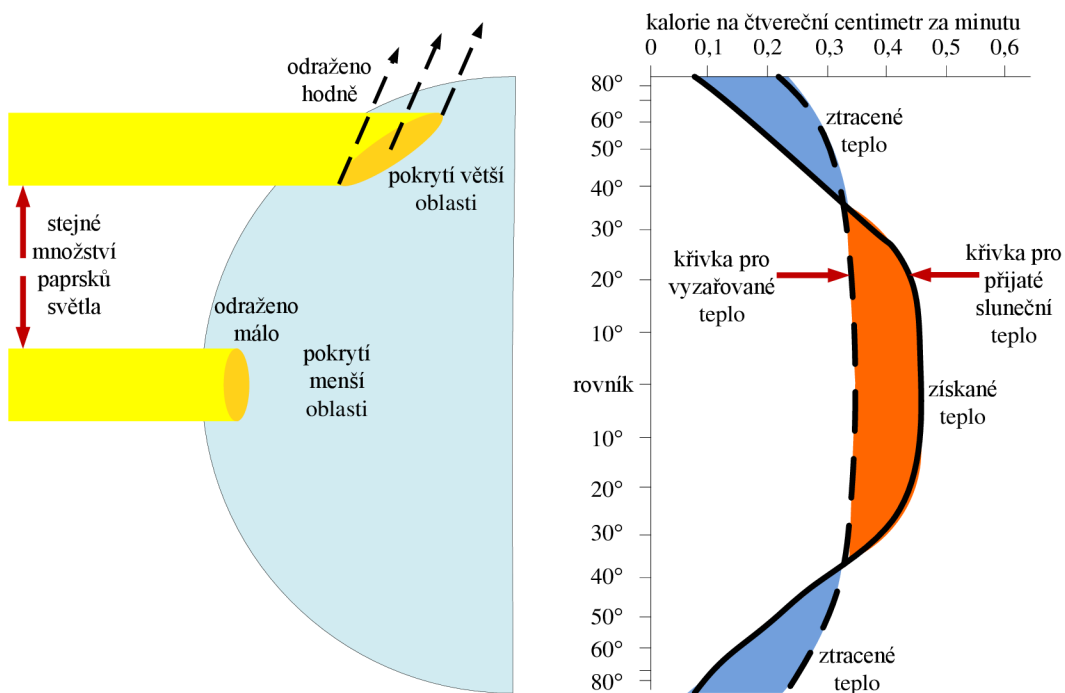
6.1 Nerovnoměrné ohřívání Země Sluncem

Přivrácená strana Země ke Slunci (denní strana) přijímá obrovské množství intenzivní sluneční energie, která pohání globální systém proudění v atmosféře i oceánu. Nerovnoměrné ohřívání je způsobené kulatým tvarem Země – množství a intenzita záření závisí na zeměpisné šířce a dalších faktorech:

- V tropech (nízké zeměpisné šířky) sluneční záření dopadá pod velkým úhlem – dané množství záření je soustředěno na relativně malou plochu. V polárních oblastech (vyšší zeměpisné šířky) sluneční záření dopadá pod malým úhlem a stejné množství záření pokrývá větší území. Situace je znázorněna na Obr. 6.1.
- Zemská atmosféra pohlcuje část záření. To znamená, že ve vyšších zeměpisných šířkách dopadne na povrch Země méně energie, než v nižších zeměpisných šířkách, z důvodu delší dráhy slunečních paprsků.
- Albedo – míra odrazivosti povrchu tělesa. Jedná se o podíl odraženého záření a množství dopadajícího záření. Ve vyšších zeměpisných šířkách je zpátky do vesmíru odraženo více záření, protože led a sníh mají větší albedo, než vegetace či půda. Celkově je průměrné planetární albedo Země cca 30 % a zahrnuje odraz od mraků, rozptyl a zpětné záření v atmosféře, odraz od pevniny a oceánů.
- Míru odrazu či pohlcení záření na povrchu oceánu určuje úhel, pod kterým záření dopadá. Pokud záření dopadá kolmo na nerozvlněnou hladinu, odrazí se jen 2 %. Pokud však záření dopadá pod úhlem 5°, odrazí se zpět do atmosféry až 40 % (Tab. 6.1) [1].

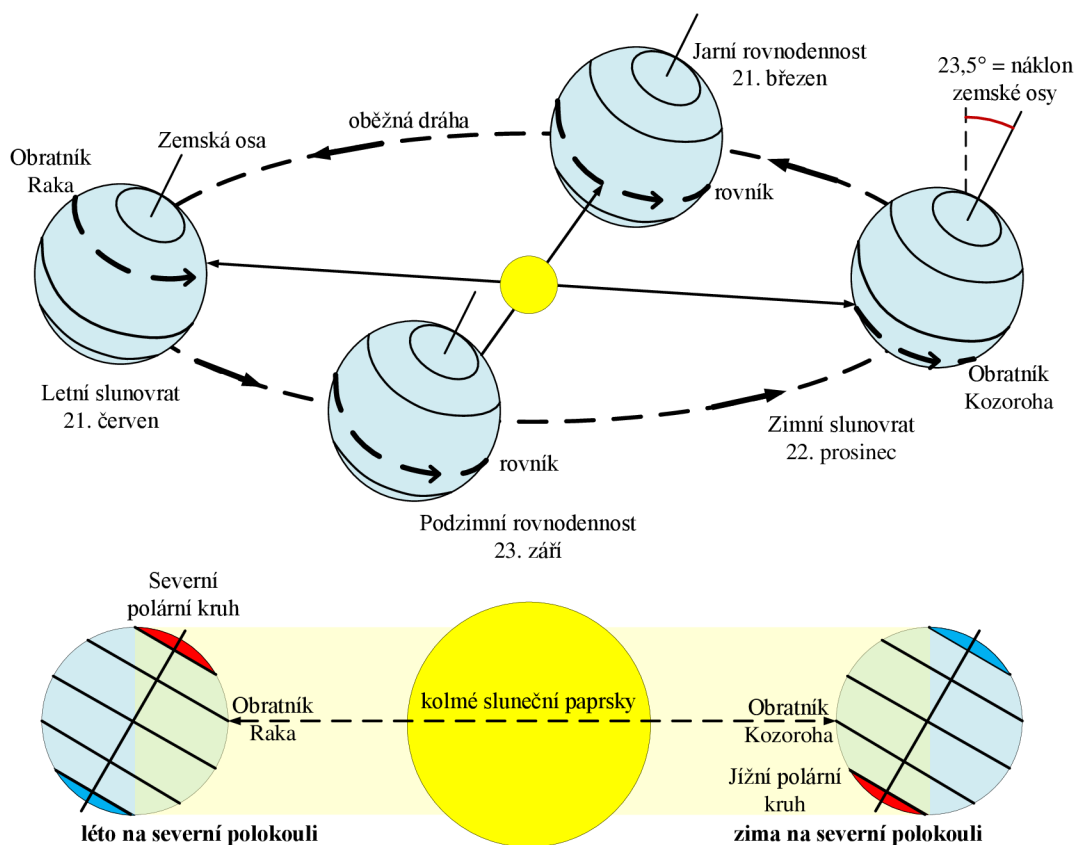
Tab. 6.1: Závislost množství pohlcené a odražené sluneční energie na úhlu dopadu paprsků na klidnou mořskou hladinu [1]

Výška slunce nad obzorem	90°	60°	30°	15°	5°
Odražené záření (%)	2	3	6	20	40
Pohlčené záření (%)	98	97	94	80	60



Obr. 6.1: Sluneční záření přijaté na Zemi; Zisk tepla a ztráta tepla z oceánů

Množství sluneční energie přijaté zemským povrchem se také mění během dne, protože Země rotuje kolem své osy – mění se výška slunce nad obzorem, a tím úhel dopadu slunečních paprsků. Množství sluneční energie se rovněž mění během roku vlivem střídání ročních období.



Obr. 6.2: Střídání ročních období; Léto na severní a jižní polokouli

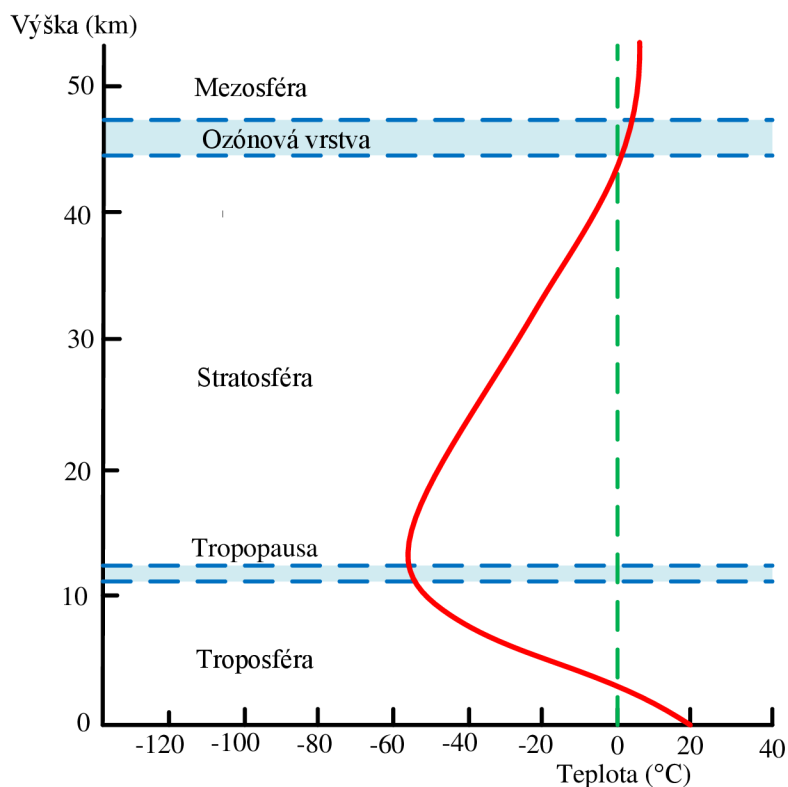
6.2 Atmosféra – fyzikální vlastnosti

- **Složení atmosféry** – dusík a kyslík jsou dominantními plyny dokonale suchého a čistého vzduchu. Ostatní plyny jsou obsaženy v malém množství, ale i nepatrný podíl plynů v atmosféře může způsobit zadržování významného množství tepla. Mezi ostatní plyny dále patří vodík, helium, neon, radon, xenon a ozon. Kromě tzv. čisté atmosféry se zde vyskytuje voda a aerosoli [1].

Tab. 6.2: Složení suchého vzduchu [1]

Plyn	Koncentrace (%)
Dusík (N ₂)	78,1
Kyslík (O ₂)	20,9
Argon (Ar)	0,9
Oxid uhličitý (CO ₂)	0,036
Všechny ostatní	Stopové množství

- **Teplota atmosféry** - Obr. 6.3 zobrazuje teplotní profil atmosféry. Nejnižší část s hranicí okolo 11 km je troposféra – místo, kde vzniká veškeré počasí. S rostoucí výškou v troposféře klesá teplota a po překonání tropopauzy opět roste [1]. Ve stratosféře se nachází významná ozónová vrstva, která absorbuje ultrafialovou část slunečního záření. Šířka troposféry je závislá na ročním období – nejširší je v létě a neuzší v zimě. Dále je šířka ovlivněna polohou nad Zemí – nad rovníkem je šířka 17 – 18 km a nad póly 8 – 9 km [27].

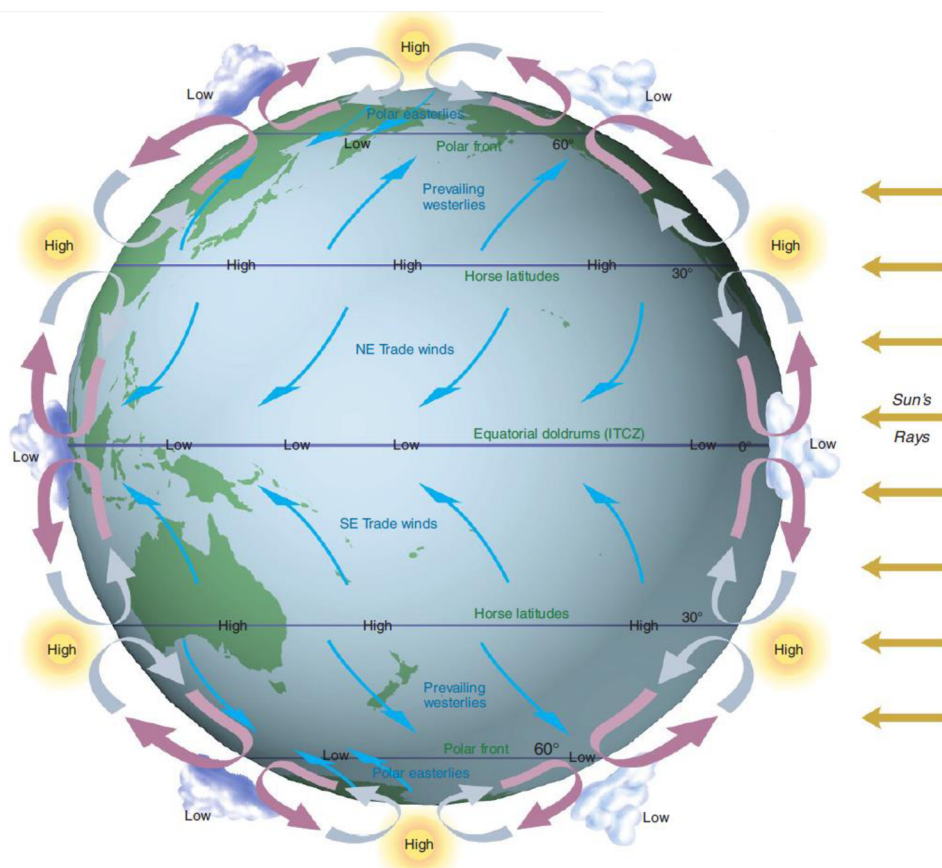


Obr. 6.3: Teplotní profil atmosféry

- **Hustota atmosféry** – s rostoucí výškou dramaticky klesá a průměrně dosahuje $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. 99 % hmotnosti atmosféry se nachází do výšky 30 km nad zemským povrchem. Hustota souvisí s obsahem vodních par ve vzduchu – molekuly vody jsou lehčí než molekuly plynů tvořící většinu vzduchu, a proto vlhký vzduch má nižší hustotu než vzduch suchý. Dále je hustota ovlivněna teplotou vzduchu – teplý vzduch má nižší hustotu (stoupá) a naopak chladný vzduch má hustotu vyšší [1].
- **Tlak** – atmosférický tlak má normální hodnotu 101325 Pa a s rostoucí výškou klesá. Závisí na hmotnosti sloupce vzduchu nad daným místem a změny tlaku jsou spojeny s pohybem vzduchu [1].

6.3 Pohyb vzduchu

Vzduch se pohybuje z oblasti vysokého tlaku (póly) do oblasti nízkého tlaku (rovník). Pohyb však není přímý – je ovlivněný rotací Země a tedy Coriolisovým efektem – na severní polokouli se pohybující vzduch stáčí doprava. Výsledkem je proudění vzduchu kolem buněk nízkého tlaku proti směru hodinových ručiček, který se nazývá cyklonální proudění. Naopak proudění vzduchu okolo středu tlakové výše ve směru hodinových ručiček se nazývá anticyklonální proudění. Oblast nízkého tlaku nad rovníkem je důsledkem vyšší teploty, a tedy stoupáním vzduchu, který se postupně ochlazuje a nad třicátým stupněm zeměpisné šířky vytváří tlakovou výši. Takto uzavřená smyčka se nazývá cirkulační buňka. Kdyby se Země neotáčela kolem své osy, vanoucí chladný vítr by se od pólu dostal po přímé dráze nad rovník, kde by se ohřál, vystoupal a vrátil se zpět k pólu. Reálné proudění je na Obr. 6.4 [1].



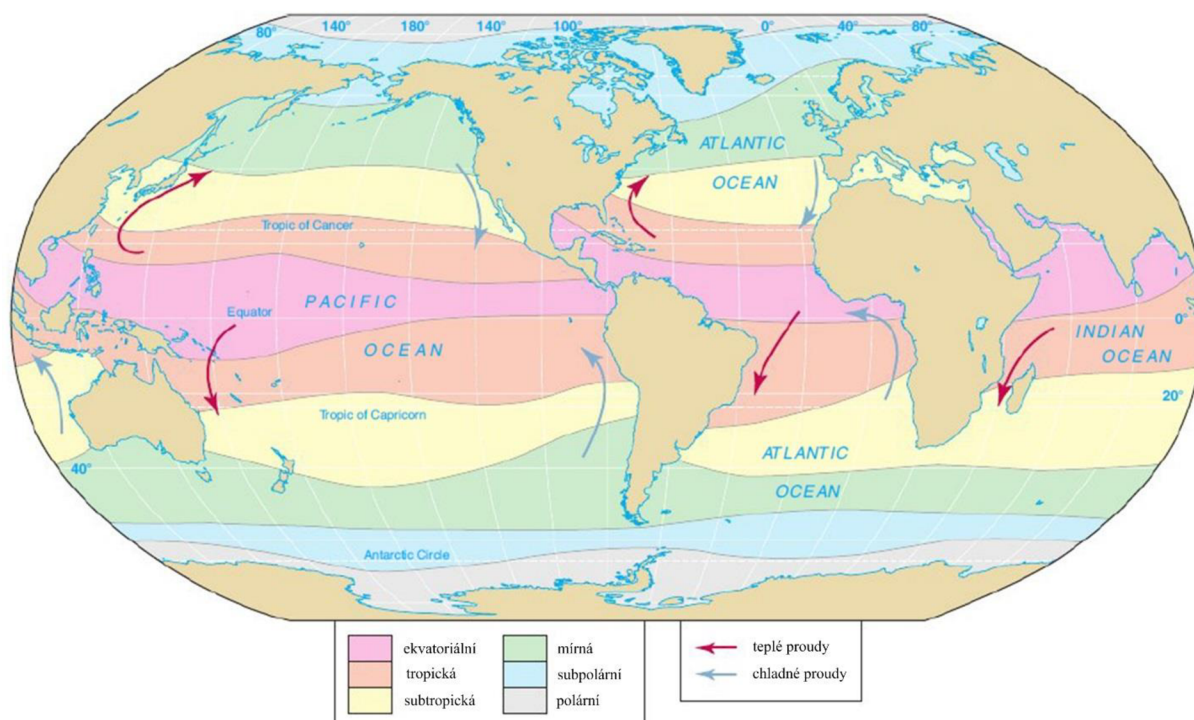
Obr. 6.4: Atmosférická cirkulace a větrné pásy světa

Nejnižší část cirkulačních buněk vytváří hlavní větrné pásy světa – pásy převládajícího proudění. V oblasti na okrajích subtropických tlakových výší (subtropické pásmo vysokého tlaku vzduchu, nebo také „koňské šířky“) vznikají severovýchodní a jihovýchodní pasáty vanoucí směrem k rovníku (tropická zóna konvergence – ITCZ, nebo také pásmo rovníkových tíšín). Na opačné straně subtropických tlakových výší vzniká pás převládajícího západního proudění směřující do vyšších zeměpisných šířek a odtud výše se nachází polární východní větrný pás, viz Obr. 6.4 [1].

6.4 Klimatické zóny nad oceány

Stejně jako oblasti pevniny lze oblasti nad oceány rozdělit na zóny s daným klimatem, které mají relativně stálé hranice. Oceánské klimatické oblasti jsou definovány hlavně zeměpisnou šířkou, ale jejich poloha je ovlivňována větrnými pásy a mořskými proudy. Rozdělení je následující:

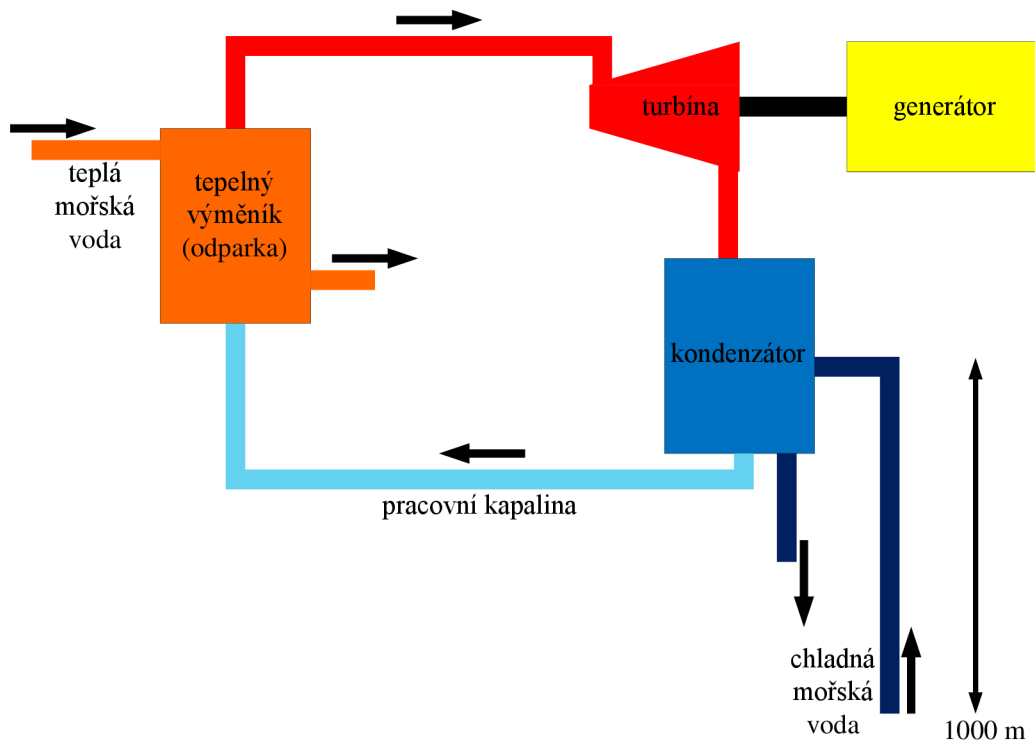
- Ekvatoriální (rovníkové) oblasti – teplá povrchová voda a vzduch nasycen vodní parou, četnost srážek – relativně nízká salinita
- Tropické oblasti – charakteristické silnými pasáty pohánějící rovníkové proudy, relativně málo srážek
- Subtropické oblasti – málo srážek, velká intenzita vypařování vody - velká salinita
- Mírné oblasti – silné západní větry, vydatné srážky
- Subpolární oblasti – hojné srážky, v zimě plovoucí kry ledu
- Polární oblasti – Severní a Jižní ledový oceán pokrytý po většinu roku ledem [1]



Obr. 6.5: Klimatické oblasti oceánu (převzato z [2])

6.5 Elektrárny OTEC – Ocean Thermal Energy Conversion System

Jedná se o elektrárny využívající rozdíl teplot v oceánu a mořích. Teplu udržované ve svrchní vrstvě oceánu představuje jeden ze zdrojů energie s největším potenciálem. Mezi obratníkem Raka a Kozorooha zabírá plocha oceánu přibližně 90 % zemského povrchu, a právě v těchto tropických oblastech je teplota vody ve svrchní vrstvě nejvyšší. Ke vzniku teplotního spádu pro výrobu elektřiny je důležitý odběr chladnější vody ze spodnější vrstvy oceánu pod hranicí termokliny [1][2].



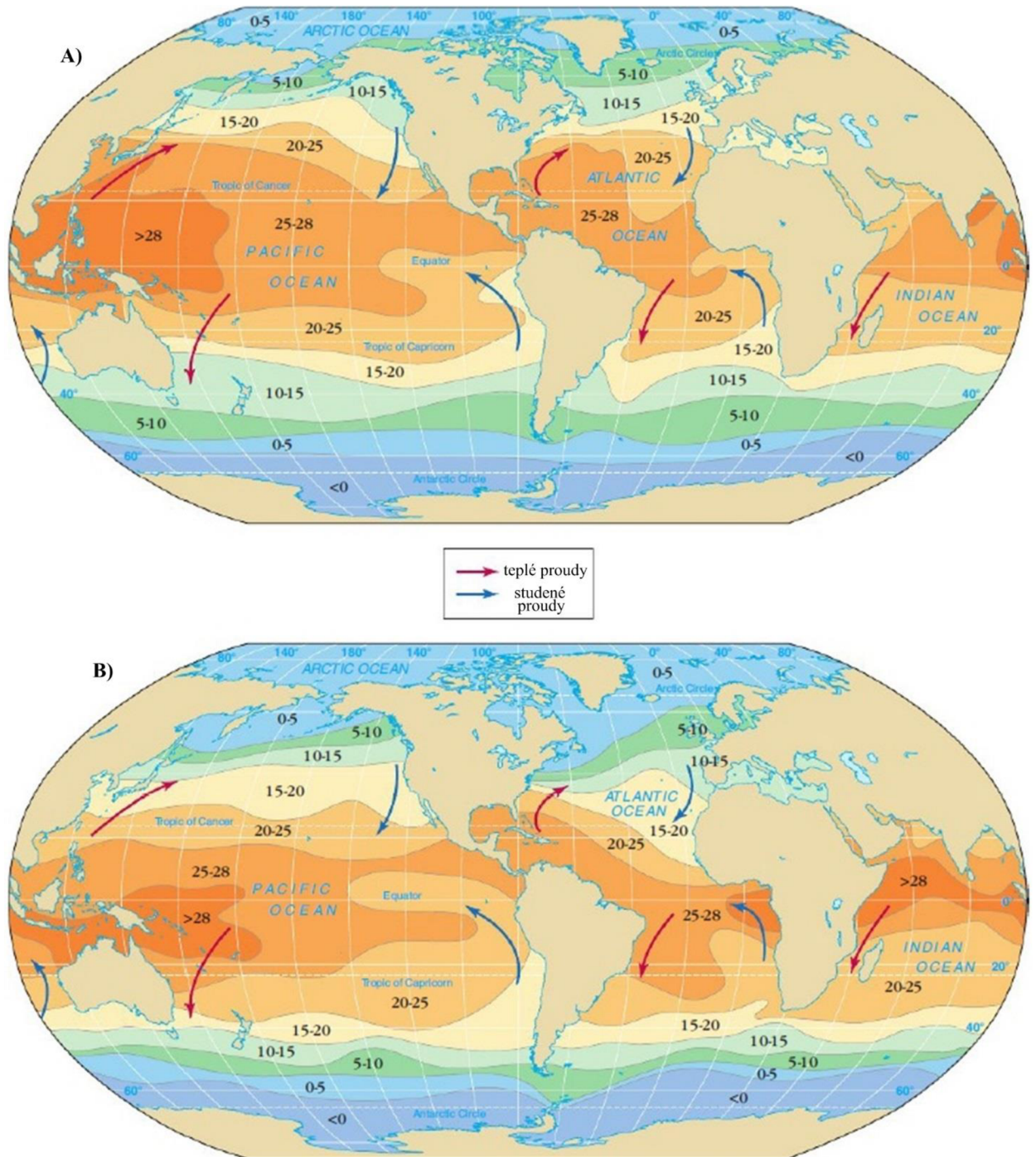
Obr. 6.6: Princip OTEC elektrárny

Teplá povrchová mořská voda zahřívá pracovní médium až k bodu varu, vzniklá pára pohání turbínu a generátor tak může vyrábět elektřinu. Princip je stejný jako u uhelných a jaderných elektráren. Hlavní rozdíl je ve zdroji tepla a umístění. Elektrárny OTEC se dělí na tyto typy:

- CC-OTEC (Closed-Cycle) – uzavřený cyklus využívající kapalinu s nízkým bodem varu – nejčastěji roztok amoniaku ve vodě.
- OC-OTEC (Opened-Cycle) – otevřený cyklus využívající mořskou vodu jako pracovní médium při tlacích blízkých vakuu [17].

OTEC má více využití – kromě výroby energie a produkce pitné vody, může díky elektrolýze destilované vody získávat velké množství vodíku, nebo z vody separovat lithium, uran a další prvky, které se objevují jen ve stopovém množství. Vodík je dalším ekologickým zdrojem energie, který může nahradit fosilní paliva v automobilech [17].

První OTEC zařízení o výkonu 22 kW bylo instalováno v roce 1930 u pobřeží Kuby, a hned 5 let poté další zkušební zařízení tohoto typu bylo zprovozněno u pobřeží Brazílie. Avšak obě zařízení byla poškozena vlivem počasí a nikdy neprodukovala elektřinu do sítě. Další zařízení bylo uvedeno do provozu v roce 1979 u pobřeží Hawaie, které úspěšně vyrábělo elektřinu do sítě. Nejvýkonnější zařízení instalované v roce 1999 mělo výstupní elektrický výkon 250 kW. Existuje mnoho projektů OTEC elektráren o výkonech v řádu megawatt, ale z důvodu finanční náročnosti nebyly nikdy realizovány [31].



Obr. 6.7: Povrchové teploty světového oceánu: A) pro srpen, B) pro únor (převzato z [2])

Na Obr. 6.7 jsou zobrazeny povrchové teploty světového oceánu v daném období. Je zřejmé, že zařízení OTEC jsou navrhována do lokalit kolem rovníku a obratníků Raka a Kozoroha, kde jsou teploty oceánu nejvyšší. Avšak v těchto tropických oblastech se nachází málo míst, kde hloubka oceánu přesahuje 1000 metrů v blízkosti pár kilometrů u pobřeží. Největším problémem ale je finanční náročnost realizace. I přes zájem soukromých firem, a dokonce vlád některých zemí nejsou tyto elektrárny provozovány [31].

7 VYUŽITÍ SOUČASNÝCH ZNALOSTÍ ENERGIE VELKÝCH VODNÍCH PLOCH V ČESKÉ REPUBLICE

V České Republice se nacházejí velké vodní plochy, které jsou určitě také ovlivňovány již v předchozích kapitolách uvedenými vlivy, a tudíž by bylo možné využít dané energie k přeměně na energii elektrickou. Avšak výstupní elektrické výkony zařízení by byly jen v řádech kilowattů, protože i energie daných vlivů jsou velice malé.

7.1 Využití kinetické a potenciální energie

Jde o využití převážně vln a proudů – slapové jevy se sice projevují, ale v našich podmínkách by byla realizace nesmyslná. Rozlohou největší přehradou v ČR je Lipno I s 4910 ha a maximální hloubkou 22 m [28]. Při větším větru a bouřích mohou vlny dosáhnout až 1 m a více. Pro nás je však důležitá výška vln taková, aby dané zařízení mohlo být v provozu nepřetržitě, čemuž na Lipně odpovídají vlny v řádu jednotek až desítek centimetru. Pro navýšení vln by byly použity refraktory, které by soustředily vlny na jedno místo, kde by se využil jejich maximální potenciál. V tomto místě je možné umístit plovoucí bóji s pumpovacím zařízením - bóje by kmitala ve vertikálním směru a pumpa by tlačila vodu potrubím přímo na turbínu (technologie CETO). Další možností po usměrnění vln je rampa a nádrž s turbínami viz technologie Wave Dragon. Co se vodních proudů týče, musela by se najít místa s největší rychlostí proudění vody a přijatelnou hloubkou. Zde by byl umístěn horizontálně, nebo vertikálně orientovaný rotor s generátorem. Jednalo by se však jen o vzorové a výzkumné zařízení využívající čisté energie velkých vodních ploch, nikoliv o klasickou vodní elektrárnu stavěnou přímo v příznivé lokalitě pro generování elektrické energie v řádu megawatt.

7.2 Využití tepelné energie

Šlo by o možnost realizace technologie OTEC. Nejhlubší přehradou v ČR je vodní nádrž Dalešice s hloubkou až 85 m [28], ale záleží na provozu přečerpávací vodní elektrárny – některé zdroje uvádějí hloubku u hráze „jen“ 70 m. Podle měření se průměrný rozdíl teploty vody v hloubce a při hladině vody v přehradě pohybuje v chladných měsících okolo 3 °C a v teplých měsících okolo 12 °C [29]. Hodnoty byly porovnány i s přehradou Orlík (hloubka 74 m) a Vír (hloubka 65 m), přičemž teplotní rozdíly se pohybovaly přibližně stejně. To znamená, že v letních měsících, kdy jsou rozdíly teploty vody nejvyšší, by bylo možné provozovat malé OTEC zařízení s uzavřeným cyklem. V zimních měsících by ale zařízení nebylo schopné vykonávat svojí funkci. Další možností by bylo použití tepelného čerpadla voda-voda, nebo voda-vzduch. Zařízení by mohlo fungovat po celý rok, ale využívalo by pouze teplo k vytápění – nedocházelo by k přeměně tepelné energie na energii elektrickou.

8 ZÁVĚR

Oceány na zemském povrchu budou neustále v pohybu, stejně jako atmosféra pohybující se nad nimi. Vše je propojeno systémem zpětných vazeb - výměna energií je způsobena jednotlivými jevy v oceánu. Primárním zdrojem je však tepelná energie Slunce, jeho gravitační působení a gravitační působení Měsíce. To nám dává jistotu obrovského potenciálu čisté energie, která se nachází na 70 % zemského povrchu.

Elektrárny využívající energii moří a oceánů mohou být umístěny téměř kdekoli na těchto vodních plochách a budou produkovat elektrickou energii v závislosti na daných podmínkách a na použitém typu elektrárny. Hlavním kladem je, že nevznikají žádné odpady a emise při provozu, na rozdíl od uhelných elektráren (radioaktivní odpad u jaderných elektráren). Ve světě se usiluje o výstavbu obnovitelných zdrojů energie ve větším měřítku, hlavně kvůli snížení emisí oxidu uhličitého a dalších látek vypouštěných do ovzduší. K záporům bych mohl uvést fakt, že výstavbou větších zařízení, nebo přehrad pro využití mořské energie v blízkosti pobřeží se zasahuje do mořského ekosystému a dochází k nevratné změně dané lokality. To se ale netýká zařízení instalovaných dále od pobřeží, nebo na otevřeném oceánu – rozloha je obrovská, a při použití správných technologií nedochází k interakci s živou přírodou.

S postupným zvyšováním spotřeby elektrické energie a vyčerpáváním fosilních paliv bude o tento zdroj energie stále větší zájem a předpokládám, že se překonají obavy z nevratného zásahu do přírodního prostředí a náročnosti projektů a začnou se budovat větší projekty, které by pokryly budoucí spotřebu elektrické energie.

Použitá literatura

- [1] THURMAN, Harold V a Alan P TRUJILLO. Oceánografie: [tajemný svět moří a oceánů]. Vyd. 1. Překlad Adam Petrusek. Praha: Computer Press, 2005, viii, 479 s. ISBN 80-251-0353-6.
- [2] TRUJILLO, Alan P a Harold V THURMAN. Essentials of oceanography. 10th ed. Boston: Prentice Hall, c2011, xxv, 551 p. ISBN 03-217-0224-7.
- [3] KOZLER, David. Elektroskanzen Čechův mlýn ve Šlovicích: DĚJINY MLYNÁŘSKÉHO ŘEMESLA. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: <http://www.elektroskanzen-slovice.cz/dejiny-mlynarskeho-remesla.htm>
- [4] EnergyWeb: Encyklopedie energie - první elektrárny. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=5.5.2
- [5] Tidal Electric: Tidal Electric Technology. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: <http://www.tidalelectric.com/technology/#tidal-electric-technology-summary>
- [6] Strany potápěčské: Slapové jevy: příliv a odliv. ŠRAIER. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: <http://www.stranypotapecske.cz/teorie/priliv-odliv.asp>
- [7] Astronomia - Planety: Země - Slapové jevy. JÍRA, Josef. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: <http://planety.astro.cz/zeme/1961-slapove-jevy>
- [8] Encyklopedie fyziky: Formulace Newtonova gravitačního zákona. REICHL, Jaroslav. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/55-formulace-newtonova-gravitacniho-zakona>
- [9] Satellite Altimetry Data: SUN AND MOON SHAPE TIDES ON EARTH. [online]. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: <http://www.aviso.oceanobs.com/en/news/idm/2000/oct-2000-sun-and-moon-shape-tides-on-earth/index.html>
- [10] Gcktechnology: Tidal energy. GORLOV, A. M. [online]. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: <http://www.gcktechnology.com/GCK/Images/ms0032%20final.pdf>
- [11] Wikipedia: List of tidal power stations. [online]. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tidal_power_stations
- [12] Seageneration: SeaGen tidal energy convertor. [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.seageneration.co.uk>
- [13] Marine Current Turbines: Siemens welcomes latest boost to tidal technology. [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.marineturbines.com/News/2014/07/08/siemens-welcomes-latest-boost-tidal-technology>

- [14] HOLBA, Marek. Tzbinfo: Získávání energie z oceánů: technologie OTEC. [online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2514-ziskavani-energie-z-oceanu-technologie-otec>
- [15] Delft University of Technology: OTEC Research & Initiatives. [online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.otec.tudelft.nl>
- [16] Proelektrotechniky: SeaGen-S: inovovaná turbína Siemens pro přílivovou elektrárnu. [online]. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/obnovitelne-zdroje/47.php>
- [17] Tzbinfo: Získávání energie z oceánů: technologie OTEC. [online]. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2514-ziskavani-energie-z-oceanu-technologie-otec>
- [18] Ellenmacarthurfoundation: osmotic power plant. [online]. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: http://www.ellenmacarthurfoundation.org/uploads/new_lightbox_cb65fb23ce7559b71443691c030a057587359ff9.jpg.jpg
- [19] Inovace: Energie z mořské vody. [online]. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: <http://www.inovace.cz/novinky/205-energie-z-morske-vody>
- [20] Vosaspsekrizik: Energie mořských vln. [online]. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: <http://www.vosaspsekrizik.cz/cs/download/studium/sps/elektroenergetika/energie-morskych-vln.pdf>
- [21] 3pol: Energie mořských vln – netradiční obnovitelný zdroj energie. [online]. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: <http://3pol.cz/1118-energie-morskych-vln-netradicni-obnovitelny-zdroj-energie>
- [22] Power-technology: Statkraft Osmotic Power Plant, Norway. [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.power-technology.com/projects/statkraft-osmotic/>
- [23] Wave Dragon: Basic principles. [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=7
- [24] Stanford University: Wave power. [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/bonifacio1/>
- [25] KUTNER, Marc Leslie. Astronomy: a physical perspective. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2003, xviii, 582 p. ISBN 05-215-2927-1.
- [26] Wyre Tidal Energy: Tidal Barrage - The different modes [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.wyretidalenergy.com/tidal-barrage/the-different-modes>
- [27] Astronomia: Atmosféra Země [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/planety/zeme/1943-atmosfera-zeme>
- [28] Oddělení geografických informačních systémů a kartografie: Struktura DIBAVOD [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/index.php?id=27>

-
- [29] Strany potápěčské: Dalešická přehrada - hráz [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.stranypotapecske.cz/lokalita/lokaldet.asp?lok=1086>
- [30] Wikipedia: Tidal stream generator - energy calculations [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_stream_generator
- [31] Energy.gov: Ocean Thermal Energy Conversion Basics [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://energy.gov/eere/energybasics/articles/ocean-thermal-energy-conversion-basics>
- [32] Carnegie Wave Energy: CETO Commercial Scale Unit [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.carnegiwave.com/ceto-technology/ceto-overview.html>