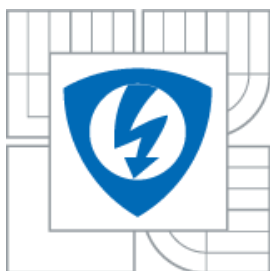




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NOVÉ PŘÍSTUPY VE VYUŽITÍ ENERGIE VODNÍCH VLN

NEW APPROACHES TO THE USE OF ENERGY OF WATER WAVES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

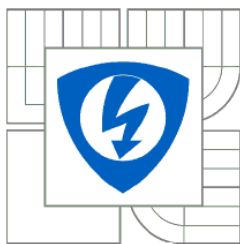
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VOJTĚCH NOVOTNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. LUKÁŠ RADIL, PH.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Vojtěch Novotný
Ročník: 3

ID: 154820
Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Nové přístupy ve využití energie vodních vln

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rešerše stávajících zařízení, využívající energie vln.
2. Patentní rešerše – určení a vytipování podobných zařízení.
3. Výkres nového zařízení využívající mořské vlny.
4. Zhodnocení navrženého řešení.

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:

NOVOTNÝ, V. *Nové přístupy ve využití energie vodních vln*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 58s. 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.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

Nové přístupy ve využití energie vodních vln

Vojtěch Novotný

vedoucí: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2015

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's Thesis

New Approaches to the Use of Energy of Water Waves

**by
Vojtěch Novotný**

**Supervisor: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.
Brno University of Technology, 2015**

Brno

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá tématem využití energie mořských vln. Popisuje především existující zařízení přeměňující tuto energii na elektřinu, jejich rozdělení a na jakém principu fungují. Práce také popisuje mořské vlny samotné. V další části autor popisuje a zpracovává modely vlastních navržených zařízení přeměňující energii mořských vln na elektrickou energii. Je provedena i patentová rešerše, zda vlastní navržená zařízení neexistují, nebo se nějakému zařízení příliš nepodobají.

KLÍČOVÁ SLOVA: vodní vlny; energie mořských vln; mořské elektrárny; přeměna energie; turbíny; výroba elektřiny; zařízení konvertující energii vln; obnovitelné zdroje

ABSTRACT

Bachelor's thesis deals with topic of utilization the energy of sea waves. Mainly describes existing devices transforming this energy into electricity, their division and on what principle they work. Thesis also contains description of sea waves. In the next part, the author designs and describes his own devices converting sea wave energy into electricity. If there is a similar device that is patented and exists author process a patent search to find out.

KEY WORDS: sea waves; energy; wave power plants; energy conversion; turbines; electricity production; marine energy; extracting devices

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD.....	13
2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ENERGIE MOŘSKÝCH VLN	14
2.1 TEORIE VZNIKU MOŘSKÝCH VLN.....	14
2.2 DYNAMIKA POHYBU VLN	15
2.3 MATEMATICKÝ POPIS VLN	17
2.3.1 TEORIE LINEÁRNÍCH VLN.....	17
2.3.2 NELINEÁRNÍ VLNY	20
2.4 PROBLÉMY PŘI VYUŽITÍ ENERGIE MOŘSKÝCH VLN	20
3 ELEKTRÁRNY NA MOŘSKÉ VLNY.....	21
3.1 OSCILUJÍCÍ VLNOVÉ KOMORY	21
3.1.1 OCEANLINX	21
3.1.2 LIMPET.....	22
3.1.3 PICO PLANT.....	23
3.1.4 OSPREY	24
3.1.5 MIGHTY WHALE	24
3.2 ÚTLUMOVÉ ELEKTRÁRNY	25
3.2.1 PELAMIS.....	25
3.2.2 WAVE STAR	26
3.2.3 SALTER DUCK.....	28
3.2.4 ANACONDA	28
3.3 VLNY PŘELÉVAJÍCÍ ZAŘÍZENÍ	29
3.3.1 TAPCHAN	29
3.3.2 WAVE DRAGON	30
3.3.3 SSG.....	31
3.4 VLNOVÉ ABSORBÁTORY	31
3.4.1 SEAREV	31
3.4.2 OPT POWER.....	32
3.4.3 AQUABUOY.....	34
3.4.4 ARCHIMEDES BUOY	34
3.4.5 UPPSALA	35
3.4.6 WAVEBOB.....	36
3.4.7 WAVEROLLER.....	37
3.4.8 BIOWAVE.....	37
3.4.9 PENDULUM.....	38
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ	39
4.1 TRYCHTÝŘOVITÁ TURBÍNA	39
4.2 ZAŘÍZENÍ ZACHYTÁVAJÍCÍ PŘEPADÁVAJÍCÍ VLNY	41
4.3 TYČOVÝ ABSORBÁTOR.....	43

5 PATENTOVÁ REŠERŠE.....	51
5.1 PATENTOVÁ REŠERŠE TRYCHTÝŘOVÉ TURBÍNY.....	51
5.2 PATENTOVÁ REŠERŠE ZAŘÍZENÍ ZACHYTÁVAJÍCÍ PŘEPADÁVAJÍCÍ VLNY	51
5.3 PATENTOVÁ REŠERŠE TYČOVÉHO ABSORBÁTORU	51
6 ZÁVĚR.....	53
6.1 VÝZNAM A VYUŽITÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	54
6.2 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU	54
POUŽITÁ LITERATURA	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Průběh vlny po orbitální dráze [57]</i>	15
<i>Obr. 2: Teoretický zvětšený průběh vlny Tsunami dorážející ke břehu [51]</i>	16
<i>Obr. 3: skutečný průběh vlny po dosažení břehu [20]</i>	16
<i>Obr. 4: Průběh interference vln v rovině [1]</i>	17
<i>Obr. 5: Popis lineární vlny</i>	18
<i>Obr. 6: Elektrárna Ocean Linx 1. generace, celkový náhled [31]</i>	21
<i>Obr. 7: Průřez elektrárnou [18]</i>	22
<i>Obr. 8: Fotografie čelní strany elektrárny Limpet [44]</i>	23
<i>Obr. 9: Průřez elektrárny Limpet [19]</i>	23
<i>Obr. 10: Elektrárna Osprey [46]</i>	24
<i>Obr. 11: Model elektrárny Mighty Whale [23]</i>	25
<i>Obr. 12: Fotografie druhé generace elektrárny Pelamis [29]</i>	26
<i>Obr. 13: Vyznačení pohybu napříč celou elektrárnou při průchodu vln [28]</i>	26
<i>Obr. 14: Elektrárna Wave Star [56]</i>	27
<i>Obr. 15: Fotografie vyzvedlé bóje [21]</i>	27
<i>Obr. 16: Model elektrárny Salter duck [39]</i>	28
<i>Obr. 17: Model farmy elektráren Anaconda [3]</i>	29
<i>Obr. 18: Model elektrárny Tapchan [50]</i>	30
<i>Obr. 19: Ukázka způsobu proudění vody v elektrárně Wave Dragon [32]</i>	30
<i>Obr. 20: Půdorysný náhled na elektrárnu Wave Dragon [32]</i>	31
<i>Obr. 21: Model elektrárny SSG [12]</i>	31
<i>Obr. 22: Náhled do elektrárny Searev [22]</i>	32
<i>Obr. 23: Fotografie celé elektrárny OPT [48]</i>	33
<i>Obr. 24: Fotografie elektrárny OPT na moři [24]</i>	33
<i>Obr. 25: AquaBuoy [19]</i>	34
<i>Obr. 26: Farma elektráren Archimedes Buoy [6]</i>	35
<i>Obr. 27: Grafická ilustrace elektrárny Uppsala [47]</i>	36
<i>Obr. 28: Schématický obrázek elektrárny WaveBob [53]</i>	36
<i>Obr. 29: Elektrárna WaveRoller [9]</i>	37
<i>Obr. 30: Model elektrárny BioWave [7]</i>	38
<i>Obr. 31: Koncept elektrárny pendulum [30]</i>	38
<i>Obr. 32: Trychtýřovitá turbína</i>	39

<i>Obr. 33: Zadní pohled na trychtýřovitou turbínu.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 34: Farma z trychtýřovitých turbín.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 35: Elektrárna na přepadávající vlny.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 36: Přední pohled na přepadávající elektrárnu.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 37: Bokorys přepadávající elektrárny</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 38: Pohyb vodních částic a těles ve vodě při průchodu vlny.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 39: Náčrt pohybu tyče s magnety přes cívky.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 40: Náčrt uzavření magnetického toku dvěma tyčemi</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 41: Druhá varianta umístění magnetů na konci tyče.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 42: Tyčový absorbátor 3D model</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 43: Tyčový absorbátor, model s vodou</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 44: Princip zařízení VIVACE [42].....</i>	<i>52</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Název	Jednotka
η	Vzdálenost od volné hladiny	m
H	Výška vlny	m
λ	Délka vlny	m
T	Perioda vlny	s
t	čas	s
g	Gravitační zrychlení	m.s^{-2}
f	Frekvence vlny	Hz
ω	Úhlová rychlost vlny	rad.s^{-1}
h	Výška (hloubka) hladiny	m
c	Rychlost šíření vlny	m.s^{-1}
ρ	Hustota vody, (mořská voda cca 1030)	kg.m^{-3}
E	Energie vlny	J.m^{-2}
c_g	Skupinová rychlost vlny	m.s^{-1}
P	Výkon vlny o šířce 1m	W

1 ÚVOD

V současné době je v energetice velká tendence přecházet z klasických neobnovitelných zdrojů elektrické energie na zdroje obnovitelné. Je to z důvodu trvalé neudržitelnosti současného stavu. Fosilní paliva, která jsou v současnosti stále převážným zdrojem energie, se časem vypotřebují, protože rychlost jejich těžby mnohonásobně převyšuje rychlost jejich regenerace. Také vypouští do ovzduší obrovské množství imisí, jako například oxid uhličitý, který zhoršuje kvalitu ovzduší a způsobuje skleníkový efekt.

Taková transformace energetiky bude z inženýrského hlediska velmi náročná, protože u obnovitelných zdrojů všeobecně platí, že se obtížně řídí. Nemůžeme poručit Slunci, aby svítilo, nebo větru, aby foukal zrovna v době, kdy to potřebujeme a předpověď počasí bývá často nespolehlivá. Pokud se tak zrovna stane, často vznikají v síti stavy, kdy je vyrobené energie nadbytek a prudce klesá její cena. Toto způsobuje nestabilitu elektrizační soustavy, jak s pohledu ekonomického, tak i technického. Na rozdíl od klasických elektráren na neobnovitelné zdroje energie, které se velmi dobře regulují a vytvářejí soustavu, která je stabilní.

Existuje, ale jeden obnovitelný zdroj, který naopak stabilní je a to je energie vodstva. Existuje ještě biomasa, ta je sice obnovitelná, ale z důvodu spalín se nejedná o čistou energii. Jedna z takových forem vodní energie, která se dá dobře využít, jejíž potenciál je využit minimálně a nabízí mnoho prostoru pro rozvoj, je energie moří a oceánů. I zde se nachází více druhů energií, které spadají pod tuto oblast a dají se využít k výrobě elektřiny, například: slapové jevy jako příliv a odliv, mořské proudy a mořské vlny.

Tato práce se bude zabývat tím posledním, konkrétně energií mořských vln. Popíše, jakým způsobem vlny vznikají a jakou mají dynamiku pohybu. Velká část práce se bude věnovat zařízením, které se ve světě využívají na přeměnu energie vln na energii elektrickou. Dále bude navržen vlastní způsob jak tuto energii zachytit. Budou popsány a vytvořeny modely těchto samostatně navržených elektráren a porovnájí se s patentovou databází, jestli podobná zařízení náhodou již nejsou vymyšlena a patentována nebo zdali už existují.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ENERGIE MOŘSKÝCH VLN

Hlavním zdrojem energie pro produkci mořských vln je vítr. Je to z důsledku velké změny tlaků vzduchu nad hladinou. Oproti větru, nebo i slunečnímu záření, které je vlastně zdrojem, je energie mořských vln z předešlých dvou zdrojů nejkonzentrovější.

Celosvětový potenciál energie mořských vln, které dosáhnou pobřeží napříč celou zeměkoulí je odhadován v řádu 1 TW. Toto je sice jenom malá část energie ve srovnání energií větru, nebo slunce na zemi, ale na rozdíl od nich má energie vln největší koncentraci výkonu na metr čtvereční [15]. V současné době existují řady elektráren využívajících energii mořských vln, různých výkonů i velikostí. Každý typ má odlišné vlastnosti a je schopen lépe využívat energii jiných druhů vlnění. Přesto se energie vln nevyužívá zdaleka tak, jak by mohla. Na druhou stranu je pravda, že poslední dobou se objevuje trend tuto energii využívat a elektrárny na mořské vlny se staví na různých místech po celém světě.

Úroveň energie jakou mají vlny v určité oblasti, se obvykle udává jako výkon vlny na určitou délku. Jednotka bývá ($\text{kW} \cdot \text{m}^{-1}$). Typické hodnoty v dobré přímořské oblasti se pohybují průměrně během roku mezi ($20\text{--}70$) $\text{kW} \cdot \text{m}^{-1}$. Větší sezónní výkyvy jsou z obecného hlediska spíše na severní polokouli než na jižní. Díky tomu jsou oblasti jako jižní pobřeží Austrálie, Afriky nebo Ameriky považovány jako obzvláště atraktivní pro zavádění elektráren na mořské vlny [14].

2.1 Teorie vzniku mořských vln

Všechny vlny vznikají narušením vodní hladiny a šíří se radiálně dále, dokud z nějakého důvodu nezaniknou. Jako příklad můžeme zvolit kámen vržený do vody. Zajímavé je, že voda po dopadu kamene vytvoří více, než jen jednu vlnu. Je to z důvodu pulsování hladiny kolem bodu klidu, z něhož ho náraz kamene vyvedl, a tyto pulsace následně vysílají další vlny, dokud díky odporu nevymizí. Je to podobný případ jako například u pružiny, která se třeba nárazem nějakého předmětu také vyvedla z rovnováhy a při návratu do své původní polohy provede pár kmitů kolem svého stabilního bodu.

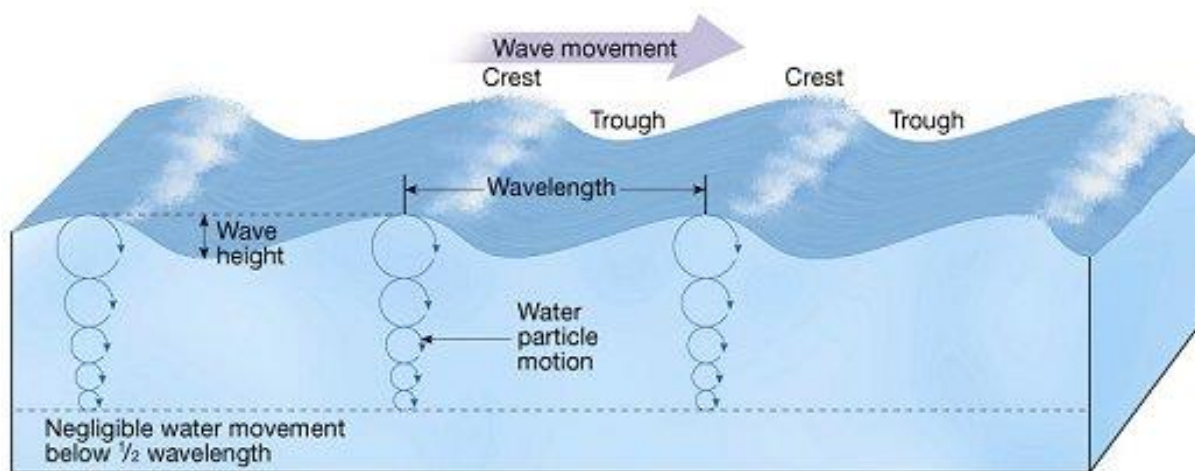
Ve skutečnosti existuje na mořích velmi málo vln, které by byly vytvořeny dopadem kamene, ale stejným způsobem generují vlny i pohyby živočichů ve vodě, zvláště těch velkých, nebo také průjezd lodí, který lze znatelně znát při pobřeží, pokud loď projela nepříliš daleko. Nicméně se jedná o pouhý zlomek z celého množství vln, které byly způsobeny člověkem, živočichem nebo dopadem těles. Většina vln se generuje na rozhraní různých tekutin. Tekutinou je mimochodem i vzduch.

Na rozhraní mezi vodní hladinou a vzduchem vznikají vlny nejčastěji, jsou způsobené právě změnou tlaků vzduchu, kterou mi nazýváme vítr, protože způsobují proudění vzduchu z jednoho místa na druhé. Důkazem nám mohou být bouře, protože při nich se generují mnohem větší vlny a naopak v bezvětří jsou vlny nejmenší.

Vlny také vznikají na rozhraní mezi vodou a vodou s jinou hustotou. Vrchní část oceánu má jinou teplotu, salinitu a tudíž i hustotu jako voda, která se nachází hlouběji a vlny vzniklé na tomto rozhraní bývají mnohem větší. První je potřeba v této spodní vodě způsobit rozruch, který může způsobit například zemětřesení, podmořské erupce, nebo pohyb litosférických desek a dalších uvolňování energii na dně oceánského dna. Následkem toho vznikají vlny Tsunami nebo další obrovské vlny.

2.2 Dynamika pohybu vln

Mořské vlny jsou důsledkem šíření se energie. Mořská voda se s vlnou nešíří, ale šíří se rozruch částic, které se rozkmitají na místě, kde se nachází. Samotná voda ve vlně neputuje. Zajímavostí je, že částice vody se po průchodu vlny pohybují po orbitálních drahách [41]. Idealizovaný průběh pohybu vodních částic po takové dráze můžeme vidět na Obr. 1. Zhruba v hloubce jedné poloviny délky vlny je pohyb částic už zanedbatelný a vlna šířící se v takových či větších hloubkách putuje pouze s velmi malými ztrátami.



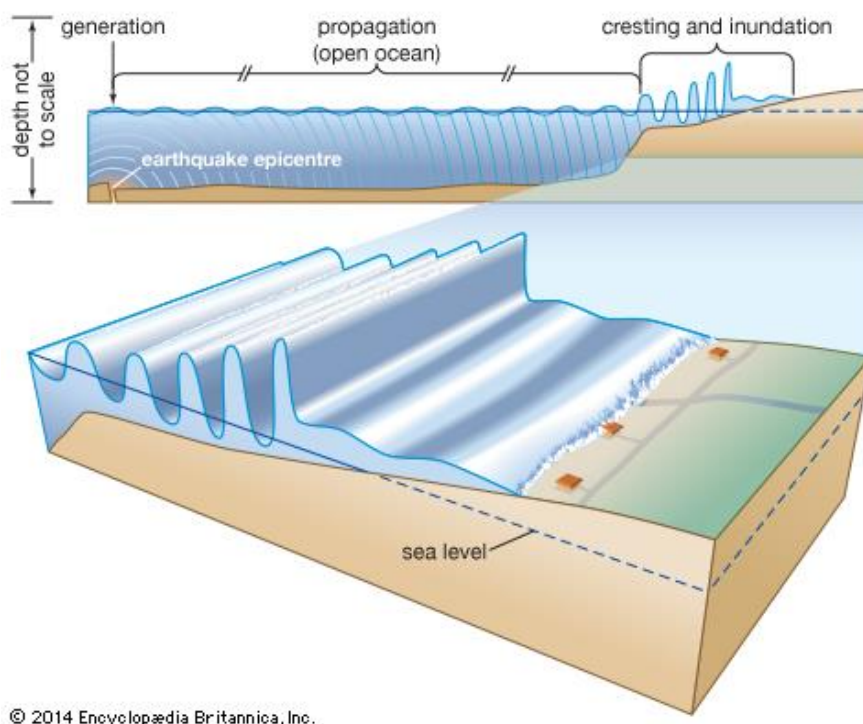
Obr. 1: Průběh vlny po orbitální dráze [58]

Šipka s nápisem Wave movement značí směr pohybu vlny, Crest je vrchol vlny a Trough je její spodek. Wave height ukazuje výšku vlny a Wavelength její délku. Kružnice značí orbitální pohyb částic vody, orbitální proto, že to nemusí být pouze kružnice, ale spíše se jedná o elipsy. Jeden z parametrů vlny je také její příkrost. Je to poměr výšky vlny H a její délky λ .

$$\text{Příkrost vlny} = \frac{H}{\lambda} \quad (2.1)$$

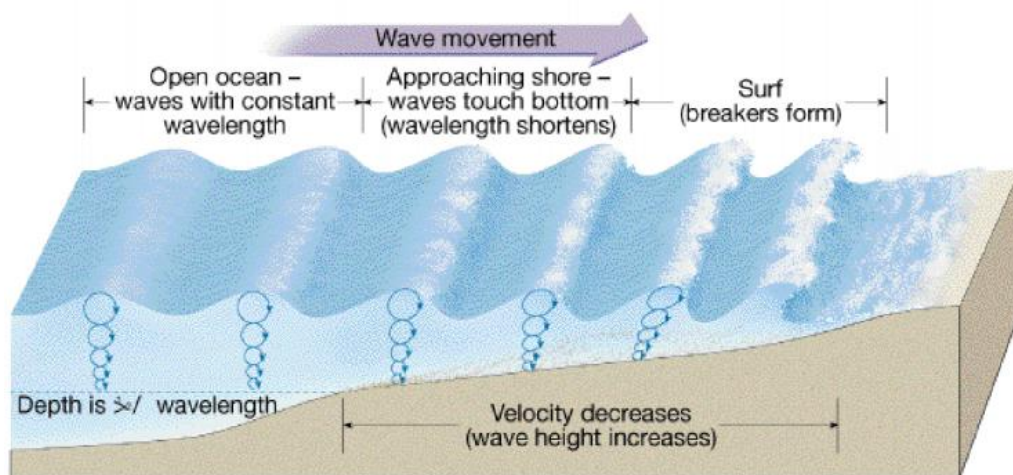
Pokud příkrost vlny překročí poměr $\frac{1}{7}$, tak se vlna zlomí a přepadne. Nezáleží při tom, jestli je to u břehu, nebo na otevřeném moři. Je to z důvodu, že vlna není schopna sama sebe nadále v takovém poměru příkrosti podporovat a přepadává dopředu. To znamená, že délka vlny nám určuje i její maximální výšku. Tedy například vlna 14 m dlouhá může mít výšku maximálně 2m.

Teoreticky, když se vlna dostane z hlubokých vod, kde se šířila beze ztrát do mělkých vod, jejíž hloubka je menší než $\frac{1}{2}$ délky vlny, tak se zmenšuje její délka a zvyšuje se její výška. Viz Obr. 2. na kterém vlna Tsunami generována podvodním zemětřesením po interferenci s mělčinou vzroste. Ve skutečnosti se ale vlny takovým způsobem nemohou vzedmout a po dosažení maximální příkrosti přepadávají. Jakým způsobem přepadávají a jak to pak ve skutečnosti vypadá, je patrné z Obr. 3.



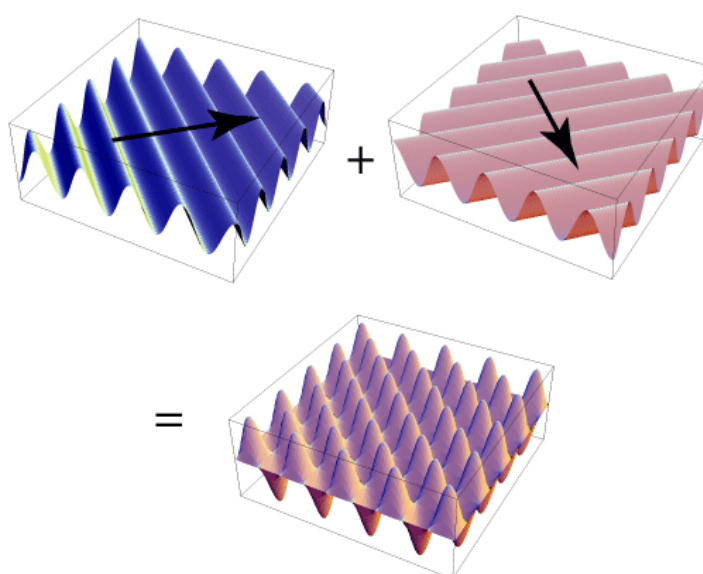
© 2014 Encyclopædia Britannica, Inc.

Obr. 2: Teoretický zveličený průběh vlny Tsunami dorážející ke břehu [52]



Obr. 3: skutečný průběh vlny po dosažení břehu [21]

Průběh vln na skutečném moři je ve skutečnosti více komplexní, protože tam obvykle působí větší množství vln skládaných přes sebe jež následně vytváří výsledný tvar. Často se vlny šíří z různých směrů a jejich interference není skládáním vln jen po přímce, ale po 2D rovině. Například vlny kolmo přes sebe putující vytvoří obrazec jako na Obr. 4. I když vlny, které doráží k pobřeží, mohou být ve větším množství a pocházet z více zdrojů, přesto obvykle existuje jedna nosná, která je z nich největší a má největší význam. Ostatní lze mnohdy zanedbat.



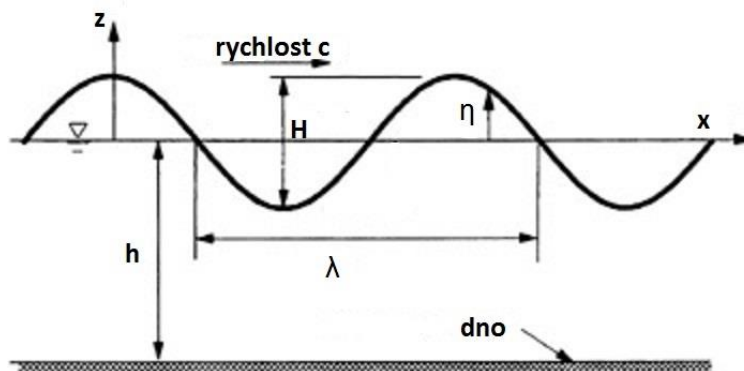
Obr. 4: Průběh interference vln v rovině [1]

2.3 Matematický popis vln

V této kapitole bude popsána vlna matematicky. V současné době existuje více teorií a způsobů, jakým lze popisovat vlny, každá se více či méně blíží realitě, protože neexistuje způsob, jakým lze přesně popsat chování vln na mořské hladině, částečně z důvodu velkého množství faktorů. My si zde uvedeme jeden z úplně nejjednodušších způsobů nazvaný teorií lineárních vln. Pro potřeby této práce by to mělo být dostačující. Složitější teorie jsou velmi obsáhlé a tato kapitola není hlavním účelem práce. Matematický aparát zde je převzat z knihy Ocean Wave Energy Conversion [12].

2.3.1 Teorie lineárních vln

Lineární vlna je ta, která má sinusový průběh, viz Obr. 5. Jedná se o zjednodušený matematický popis vln, které ve skutečnosti nemají téměř nikdy skutečný sinusový tvar. Přesto má poměrně přesné výsledky pro předpovídání kinematických vlastností vln označovaných v anglické literatuře swell. Swell jsou velmi dlouhé vlny generované často při bouřích hluboko v oceánu šířících se až k pobřeží bez větších ztrát. Tento typ vln bývá nejčastěji v hledáčku pro stavěné zařízení extrahující energii vln. Výška těchto vln není příliš značná, ale přesto tyto vlny přenášejí relativně velkou energii. Velká přesnost této teorie je dosahována, pokud příkrost vlny není větší než $\frac{1}{50}$, matematicky zapsáno: $\frac{H}{\lambda} < \frac{1}{50}$.



Obr. 5: Popis lineární vlny

Změna výšky hladiny způsobená průchodem vlny od klidného povrchu spočítáme následujícím vztahem:

$$\eta = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.2)$$

Kde x je vzdálenost vlny na souřadnicové ose, λ je délka vlny, t je čas, za který vlna urazí danou vzdálenost x a T je perioda vlny, která se normálně zvažuje jako konstanta, ale toto není ve skutečnosti pravda, jak vlna cestuje přes velké vzdálenosti. Nicméně samotný výpočet periody lineární vlny lze provést tímto způsobem:

$$T = 2\pi \left[\frac{2\pi g}{\lambda} \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \right]^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.3)$$

Kde g je gravitační konstanta a h je výška hladiny oceánu. Platí zde samozřejmě i známé zjednodušení vzorce, kde f je frekvence a ω je úhlová rychlost vlny. Pro vyjádření vlnové délky vlny lze rovnici upravit jako:

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \quad (2.4)$$

V tomto vyjádření se λ nachází na obou stranách rovnice a nemůže být izolována. Proto musí být řešena grafickými, nebo numerickými metodami. Dále si můžeme určit rychlost šíření vlny podle vzorce:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh(kh) \quad (2.5)$$

Kde k je číslo vlny definované jako:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.6)$$

V tomto bodě by si měl čtenář všimnout, že se v rovnicích neobjevuje výška vlny H . Je to protože, kinematické vlastnosti lineárních vln jsou funkcí pouze periody a hloubky. Protože se konverze energie často zdá proveditelnější v hlubokých vodách, kde podle definice platí $h/\lambda > 1/2$, tak můžeme některé rovnice pro tento případ upravit:

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.7)$$

$$c = \frac{gT}{2\pi} \quad (2.8)$$

Příklad: pokud spatříme v hluboké vodě vlnu s 10s periodou, tak:

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9,81 \cdot 10^2}{2\pi} = 156 \text{ m}$$

$$c = \frac{gT}{2\pi} = \frac{9,81 \cdot 10}{2\pi} = 15,6 \text{ m/s}$$

Průměrná energie vlny lze spočítat ze vztahu:

$$E = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (2.9)$$

Kde E je součet kinetické a potenciální energie a průměrná střední energie k povrchu ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$). ρ je zde hustota vody. Výkon vlny na metr délky lze spočítat ze vztahu:

$$P = E \cdot c_g \quad (2.20)$$

Kde c_g je skupinová rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

$$c_g = \frac{c}{2} \left\{ 1 + \frac{2kh}{\sin(2kh)} \right\} \quad (2.31)$$

Pro hluboké vody ($h > 0,5 \cdot \lambda$) platí:

$$c_g = \frac{c}{2} = \frac{gT}{4\pi} \quad (2.42)$$

Pro mělké vody, které jsou dány $h < \frac{\lambda}{20}$, platí:

$$c_g = c \quad (2.53)$$

Příklad na výpočet výkonu:

Nacházíme se ve hlubokých vodách a vidíme vlnu o výšce 2 m s periodou $T = 10$ s. Výkon přicházející vlny na metr délky hřbetu je:

$$P = E \cdot c_g = \frac{\rho g H^2}{8} \times \frac{gT}{4\pi} = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} = \frac{1000 \cdot 9,81^2 \cdot 2^2 \cdot 10}{32\pi} = 38,3 \text{ kW}$$

2.3.2 Nelineární vlny

Protože jak bylo dříve zmíněno, vlny ve skutečnosti nemají sinusový průběh, ale mohou se více či méně tomu blížit. Existují aparáty popisující nelineární vlny, tedy ty které nejsou sinusové. Vychází z přesnějších modelů, které předpokládají buď elipsoidní tvary vln, nebo i jinak upravené. Tímto se zde ale nebudeme zabývat. Podrobnější informace o nelineárních vlnách lze najít například v knize *Oceanographical engineering* od autora Wiegel z roku 1964.

2.4 Problémy při využití energie mořských vln

Pravděpodobně hlavní nevýhoda této energie je v její nerovnoměrnosti. Vlny se sice nachází na hladině 24 hodin denně, ale intenzita v jaké se vyskytují, se výrazně mění. Nejenom, že se liší vlna od vlny, liší se během dne, dokonce i podle jednotlivých měsíců. Vlny při bouřích mohou být mnohonásobně větší než mimo bouři a tak dále [14]. Problémem je, že je téměř nemožné navrhnout zařízení, které by dokázalo využívat tuto energii v takovém rozsahu výkonů s přijatelnou účinností.

Z tohoto důvodu je velmi důležité, aby oblast, kde je úmysl nainstalovat nějaký systém na využívání energie mořských vln, byla dobře zmapována a zařízení se mohlo přizpůsobit podmínkám dané oblasti. Pokud by se toto zanedbalo, efektivita by mohla významně klesnout. Například, kdyby se nainstalovalo velké zařízení na velké a dlouhé vlny o výkonu třeba 1 MW, tak by fungovalo třeba na pouhé procenta svého instalovaného výkonu v době, kdy by se tam tyto vlny nevyskytovaly a vyskytovaly by se pouze krátké vlny.

Další problém u těchto zařízení je, že mají být schopny vydržet velmi silné vlny při mimořádných událostech a nehrozila jejich destrukce. Tohoto není snadné dosáhnout, protože vlny při velkých bouřích mohou mít mnohonásobnou sílu oproti normálním stavům.

Také je důležitá jejich odolnost proti slané vodě a korozi. U mnoha zařízení se generátor nachází ve vodě a musí být dostatečně zaizolován, aby se nedostal do styku se slanou mořskou vodou. Tato náročnost na materiál a kvalitu bohužel zvyšuje cenu a je to jeden z důvodů, které brání většímu investování do těchto zdrojů energie.

3 ELEKTRÁRNY NA MOŘSKÉ VLNY

Fyzikální zákon zachování energie vyžaduje, aby energii extrahující zařízení muselo reagovat na vlny tak, že sníží energii přítomnou v moři. Zařízení tudíž musí generovat vlny, které destruktivně interferují s vlnami mořskými. Takže aby náš oscilující systém byl dobrý absorbér, měl by být zároveň dobrý vlnový generátor [15].

Existuje velký počet typů mořských elektráren, ale podle způsobu jejich fungování je můžeme shrnout do několika typů: útlumové elektrárny, oscilující vlnové komory, vlny přelévající zařízení a vlnové absorbátory. Velké množství elektráren je například jenom v teoretické fázi a mnoho universit a firem po celém světě se zabývá touto problematikou. Z tohoto důvodu je téměř nemožné všechny jednotlivé typy najít a popsat. Proto zde budou ke každému typu vypsány ti významnější zástupci, reprezentující danou skupinu.

3.1 Oscilující vlnové komory

Systémy s oscilujícím vlnovým sloupcem jsou zařízení, která využívají pohyb mořských vln, které plují kolem zařízení ke změně výšky vlnového sloupce uvnitř zařízení. To má za následek změny tlaků vzduchu v horní části komory, pod kterou se nachází vlnový sloupec [2]. Tyto zařízení generují elektrickou energii až díky vzdušným turbínám, které se nachází nad hladinou vody, se kterou nedochází za dobu svého provozu vůbec do styku. Princip je názorněji popsán hned na prvním zástupci v této kategorii jménem OceanLinx.

3.1.1 OceanLinx

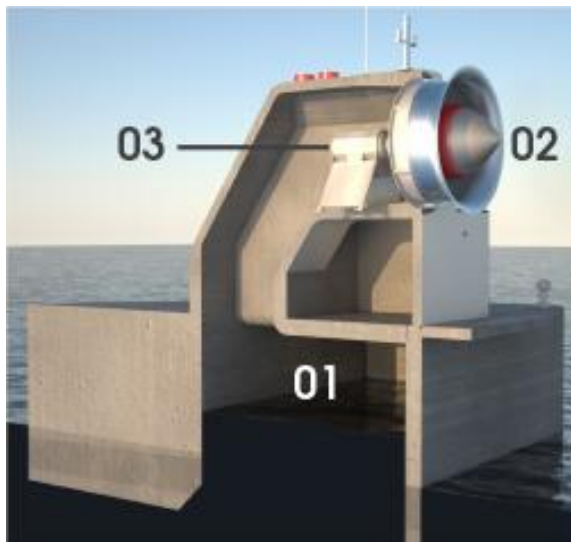
Tuto elektrárnu na mořské vlny vyrábí stejnojmenná australská společnost. Elektrárny tohoto typu jsou zrealizovány v počtu jednotek na březích jižní Austrálie, Evropy, východní Asie a Střední Ameriky. Umísťují se do vody poblíž pobřeží do hloubky nad 5 m a jsou pevně spojeny se zemí. Výkonové rozmezí těchto elektráren se pohybuje mezi 200-1500 kW a umísťují se do vody se středním výkonem vln $50 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$. Vzhled této elektrárny můžete vidět na Obr. 6.



Obr. 6: Elektrárna Ocean Linx 1. generace, celkový náhled [32]

Tento systém má 3 hlavní části, viz Obr. 7:

- 01) Oscilující vlnový sloup v hlavní komoře
- 02) Turbína na proud vzduchu uzpůsobená pro stejný směr otáčení pro oba směry proudění
- 03) Elektrický generátor [38]



Obr. 7: Průřez elektrárnou [19]

Princip fungování této turbíny je patrný z Obr. 7. Rozhoupaná vodní hladina moře pohybuje i s vlnovým sloupce uvnitř hlavní komory, který jezdí nahoru a dolů. Tudiž vzduch, který se v horní části komory nachází, se buď stlačuje, nebo rozpíná. Aby se vyrovnali tlaky s okolím, tak horním komínem prochází vzduch přes vzdušnou turbínu, která je uzpůsobena tak, že v obou případech, když vzduch nasává dovnitř i pouští ven, se otáčí pořád stejným směrem. Tato turbína pohání generátor, který produkuje elektrickou energii.

3.1.2 Limpet

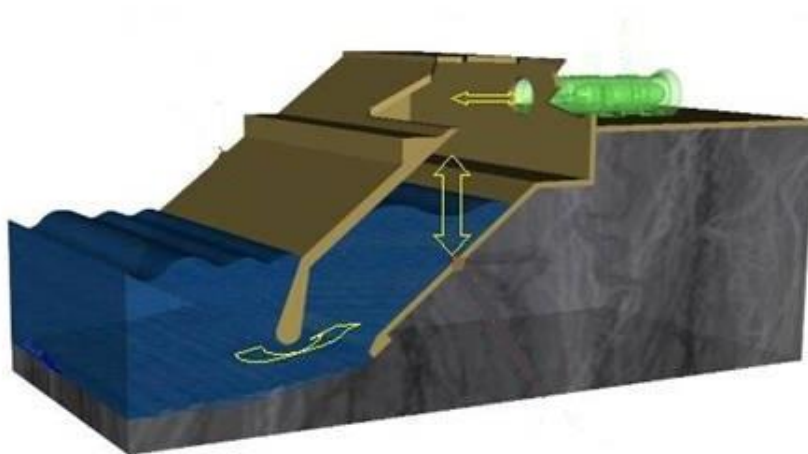
Tato elektrárna s celým názvem Islay Limpet byla první elektrárnou na mořské vlny, která byla připojena komerčně do distribuční sítě. Poprvé byla sestrojena ve Velké Británii v roce 1991 o výkonu 75 kW a o 9 let později v roce 2000 byla postavena jednotka o výkonu 500 kW. Byla vyvinuta firmou Wavegen a Královninou univerzitou v Belfastu (Queen's University Belfast) [16].

Elektrárna je umístěna pobřeží, jedná se o stavební konstrukci částečně ponořenou ve vodě a částečně na vzduchu postavenou na útesu. Je postavená na střední výkon vln asi 15 kW.m^{-1} [2]. Její vzhled můžeme vidět na Obr. 8.



Obr. 8: Fotografie čelní strany elektrárny Limpet [45]

Stejně jako u předchozí elektrárny OceanLinx má hlavní komoru, ve které je oscilující vodní sloupec, který svými pohyby nahoru a dolů žene vzduch do turbíny, která se nachází v horní části konstrukce na opačné straně od moře. Pokud se podíváme na Obr. 9, který je průřezem elektrárnou, je nám princip fungování zcela jasný. Opět je zde použita turbína, která se otáčí stále stejným směrem při průchodu vzduchu oběma směry. Je to z důvodu výrazně lepší účinnosti. Generátor se nachází při turbíně.



Obr. 9: Průřez elektrárny Limpet [20]

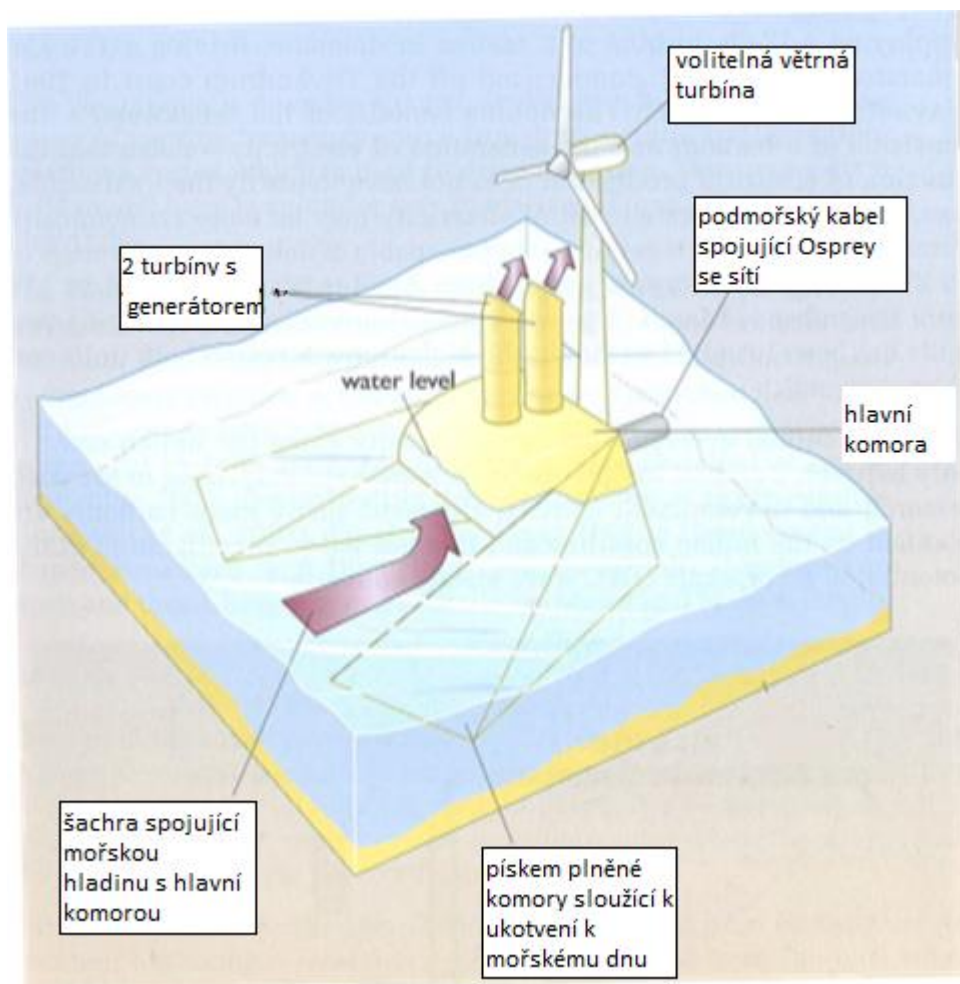
3.1.3 Pico Plant

Tuto elektrárnu bychom našli na portugalském ostrově Pico. Jedná se o velmi podobnou elektrárnu jako je Limpet, dala by se nazvat její modifikací. Také je umístěna na útesu a jediný podstatnější rozdíl je v tom, že má ve své horní části hlavní komory únikový ventil, který se dokáže více či méně otevřít a může tak odlehčit generátor s turbínou [55].

Instalovaný výkon této elektrárny je 400 kW, ale oproti britské elektrárně Limpet je postavena na silnější vlny. Střední výkon vln v oblasti, kde se nachází je $40 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$ [2].

3.1.4 Osprey

Jedná se o elektrárnu navrženou firmou Wavegen, která se nachází na volném moři nedaleko od břehu, zpravidla do hloubky 20 m. Z hlediska principu je stejná jako elektrárna OceanLinx, která se také nachází na moři a je stavěna na střední výkon vln $50 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$ [2]. Osprey je ale oproti ní mnohem bytelnější. Na rozdíl od OceanLinx má 2 rozdílně se otáčející vzduchové turbíny každou s výkonem 500 kW. Existuje zde možnost přistavit k ní větrnou turbínu, což nám umožňuje právě lepší uchycení ke břehu. Na Obr. 10 si můžeme prohlédnout způsob konstrukce.

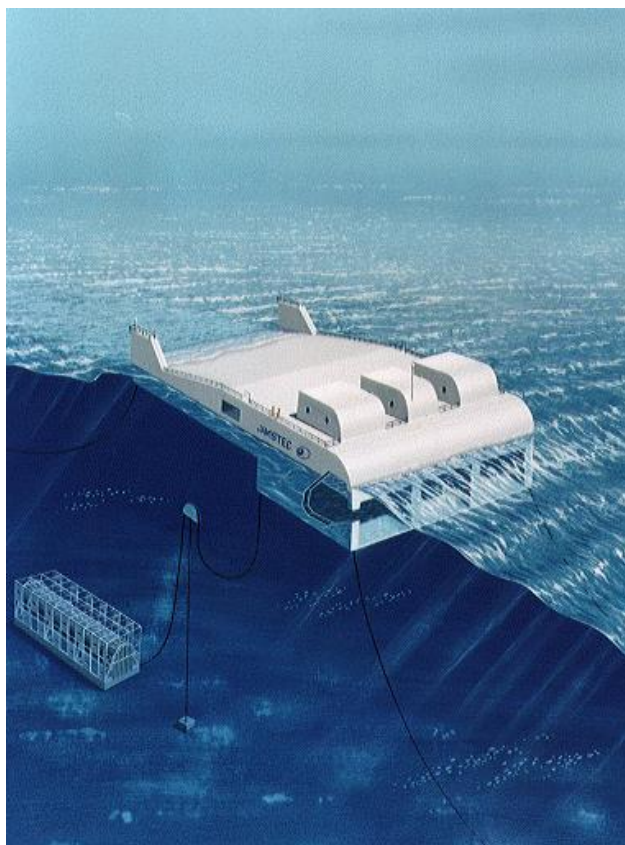


Obr. 10: Elektrárna Osprey [47]

3.1.5 Mighty Whale

V doslovném českém překladu Mocná Velryba, nese toto zařízení název podle svého vzhledu. Tato elektrárna byla spuštěna v japonském zálivu v roce 1998 Japonským Mořským vědeckým a technologickým centrem. Jedná se o 50 m dlouhou a 30 m širokou elektrárnu umístěnou na moři v hloubce asi 40 m. Je zachycena ke dnu pomocí kotevních lan dimenzovaných tak, aby vydržely i tajfun. Samotná elektrárna má také své upouštěcí ventily na ochranu turbín při silných bouřích [39].

Mighty Whale pracuje na stejném principu jako přechází elektrárny v této kapitole. Na čelní straně se nachází komora s oscilujícím vodním sloupcem. Zařízení je složeno ze tří komor, každá s vlastní turbínou, která se nezávisle na směru proudění otáčí stále stejným směrem. Výkon této elektrárny dosahuje něco málo přes 100 kW a střední výkon vln oblasti, pro kterou je stavěna je $15 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$ [2]. Vzhled modelu elektrárny můžeme vidět na Obr. 11.



Obr. 11: Model elektrárny Mighty Whale [24]

3.2 Útlumové elektrárny

Jedná se o elektrárny, které redukuje sílu vln, které přes ně procházejí, jinak řečeno je utlumují. Tyto redukující systémy jsou zpravidla postaveny tak, že čelí přicházejícím vlnám. Vlny obvykle stimulují sérii mechanických komponentů, které dávají do pohybu elektrický generátor. Tyto systémy jsou obvykle zachyceny k mořskému dně [2].

3.2.1 Pelamis

Tato elektrárna vyvinuta a zrealizována na břehu Skotska či Portugalska společností Pelamis Wave Power byla první elektrárnou na volném moři využívající energii mořských vln dodávající komerčně elektřinu do sítě. Zařízení se vyskytuje v hloubkách větších než 50 m a je typicky instalováno 2-10 km od pobřeží. Kvůli své délce je tato elektrárna stavěná na využívání energie převážně delších vln.

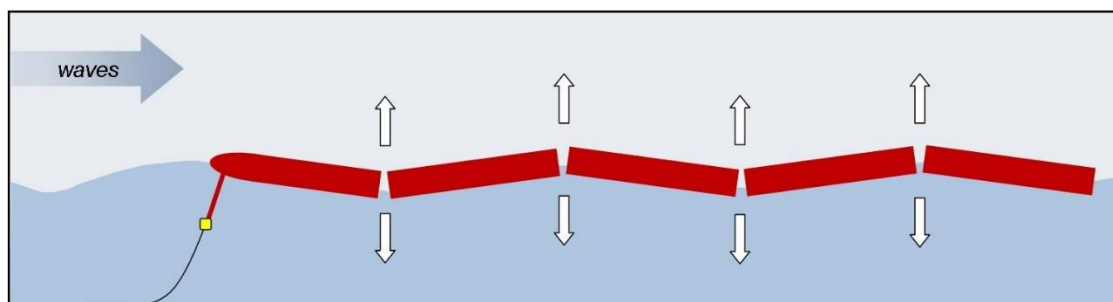
Pelamis připomíná mořského hada. Tělo je rozděleno na 5 trubic mezi sebou spojených ohebným spojem natahovatelným na obě strany. Uvnitř trubic se nachází všechny komponenty potřebné ke generování elektřiny. Je umístěna tak, že čelí přicházejícím vlnám napříč. Fotografie elektrárny můžeme vidět na Obr. 12.



Obr. 12: Fotografie druhé generace elektrárny Pelamis [30]

Elektrárna funguje tak, že jak vlny procházejí přes tělo zařízení, jednotlivé trubkovité části se ohýbají nahoru a dolů, viz Obr. 13. Tato pohybová energie je skrze hydraulický systém uvnitř spojů mezi pohybujícími se tubami přenášena na pohyblivé písty, které pumpují tekutinu do vysokotlakových akumulátorů, což umožňuje kontinuální a hladký provoz. Hydraulický systém uvnitř tuby následně roztáčí generátor, který produkuje elektřinu.

Výhodou tohoto systému je, že jak se hydraulické písty neustále natahují a stahují s pohybem tub, tak je možné regulovat odpor, který hydraulika klade a tak umožňuje maximalizovat výrobu elektřiny jak při středních vlnách, tak při bouřích. Výkon této elektrárny je udán na 750 kW a dokáže využívat střední výkon vln mezi $15\text{--}40 \text{ kW.m}^{-1}$ [28].



Obr. 13: Vyznačení pohybu napříč celou elektrárnou při průchodu vln [29]

3.2.2 Wave Star

Koncept elektrárny Wave star byl vymyšlen v roce 2000, je to na moři pevně postavená konstrukce s plovoucími elementy k ní přichycenými, které absorbují energii vln. Tyhle plovoucí elementy jsou takové bóje, které kopírují průchozí vlnu, tudíž se pohybují nahoru a dolů. Bóje jsou uchyceny na ramenech, které pomocí hydrauliky přenáší svou energii na generátor, který roztáčí [50]. Vzhled celkové elektrárny Wave Star můžeme vidět na Obr. 14.



Obr. 14: Elektrárna Wave Star [57]

Výkon elektrárny je 750 kW, s tím že je možné ji přestavit, aby byla větší a využívala energii až 2x větších vln. Můžeme také přistavět více ramen z bójemi a výkon takové elektrárny bude závislý na její velikosti. Vize firmy Wave Star je ji udělat až s výkonem 6 MW [50]. Momentálně využívá tato elektrárna střední výkon vln $24 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$ [2].

Výhoda této elektrárny spočívá v její odolnosti proti bouřím a velmi silným vlnám. Tato patentovaná metoda spočívá ve vyzvednutí ramen do výšky, takže bóje nemusí čelit těm nejsilnějším vlnám a nehrozí zničení. Příklad takového vyzvednutí ramene je zobrazen na Obr. 15. Jak je patrné z velikosti elektrárny, tak využívá energii velkých vln.



Obr. 15: Fotografie vyzvedlé bóje [22]

3.2.3 Salter Duck

Jedná se detailně vypracovaný a spočítaný model, který byl vynalezen už v roce 1974. Bohužel kvůli nedostatku financí, které tehdy raději šli do lépe prosperujících zdrojů, nebyl nikdy zrealizován. Hlavně z důvodu vlastní složitosti, která by výrazně zvýšila cenu takového zařízení. Model si sliboval neuvěřitelnou 90% účinnost při zachycování přicházející energie vln, ale té by po realizaci pravděpodobně nikdy nedosáhl, kvůli náhodnému a neurčitému vlnovému průběhu na otevřeném moři.

Model zařízení je na Obr. 16. Salter Duck funguje tak, že špičatý nos zařízení je orientováno směrem k přicházejícím vlnám a reaguje na ně. Nos se pohybuje kolem své osy, která je pevná. Elektřina je zde opět vyráběna generátorem, na nějž je energie přenášena hydraulickým systémem [17].



Obr. 16: Model elektrárny Salter duck [40]

3.2.4 Anaconda

Toto zařízení bylo vymyšleno ve Velké Británii profesory Francisem Farley a Rodem Rainey. Elektrárna připomínající skutečného hada k tomu při průchodu vln kopíruje reliéf hladiny. Jedná se gumovou trubicí, naplněnou vodou a s oběma konci uzavřenými. V přední části je uchycena na laně, aby neodplula, a v zadní části se nachází generátor s hydraulickou turbínou.

Jak se hýbe Anaconda nahoru dolů při průchodu vlny, působí zmáčknutím na některá místa. Tyto zmáčknutí vygenerují jakousi vypouklinu neboli vzdmutí, které je tlačeno na konec zařízení stejnou rychlostí, jaká je rychlost procházející vlny. Tyto vypoukliny vody pod vysokým tlakem jsou shromažďovány v akumulátoru. Odtud se potom pouští do hydraulické turbíny, která pohání generátor. Když voda opouští turbínu, je poslána zpátky do hlavní trubice.

Vzhled elektrárny Anaconda je na Obr. 17. Velikost zařízení, které by generovalo 1 MW elektrické energie, by muselo být 7 metrů v průměru a 150 metrů dlouhé. Využívalo by střední výkon vln 50 kW.m^{-1} [4].



Obr. 17: Model farmy elektráren Anaconda [3]

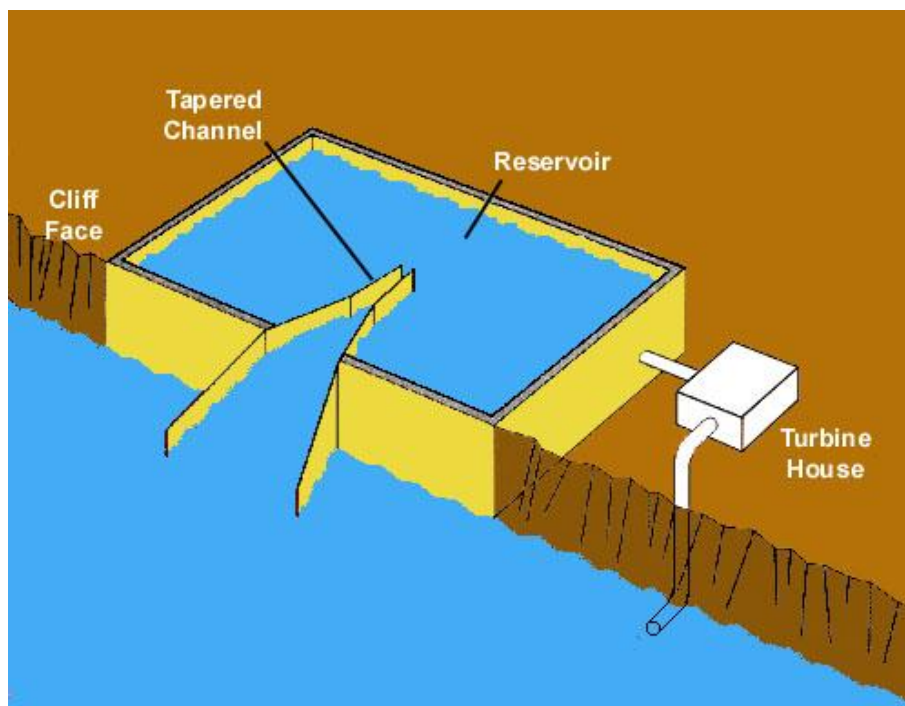
3.3 Vlny přelévající zařízení

U těchto systémů, jsou vlny přelévány přes rampu do nádrží pomocí své vlastní kinetické energie. Voda je přepouštěna zpátky do oceánu přes turbínu pohánějící generátor.

3.3.1 Tapchan

První zařízení tohoto typu je realizováno na pevnině, má rampu, která se postupně zužuje a po které se přicházející vlny přelévají do nádrže. Zúžení rampy je z důvodu zvýšení intenzity vlny, která je pak lépe schopna překonat výšku rampy. Generátor se nachází v útesu na pevnině mimo vodu [37].

Využívá střední výkon vln 40 kW.m^{-1} a výkon této elektrárny je 350 kW [2]. Schématický model elektrárny je na Obr. 18.

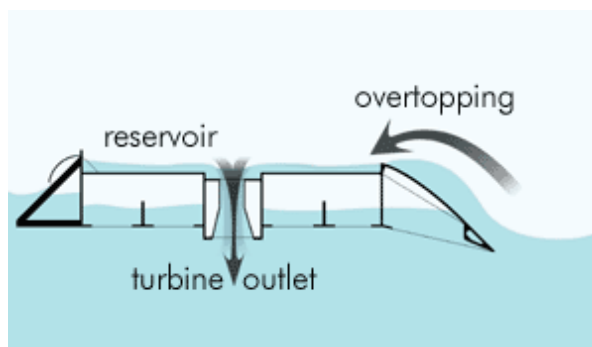


Obr. 18: Model elektrárny Tapchan [51]

3.3.2 Wave Dragon

Wave Dragon je nádrž umístěna na moři. Má 2 velká ramena, která rozšiřují její pole působnosti, aniž by se musela zvětšit nádrž. Voda je zpátky pouštěna do moře přes šachtu, ve které se nachází turbína s generátorem, tento způsob lze vidět na Obr. 19. Pro lepší představu je celkový náhled na model elektrárnu na Obr. 20.

Elektrárna se obvykle nachází v hloubkách větších než 20 m. Výkon této elektrárny se pohybuje i do řádů MW, záleží jak velká samotná elektrárna je a v jaké oblasti se nachází. Samotný střední výkon vln, který elektrárna využívá, může být dimenzován právě podle oblasti, ve které se nachází, aby byla účinnost co nejlepší [44].



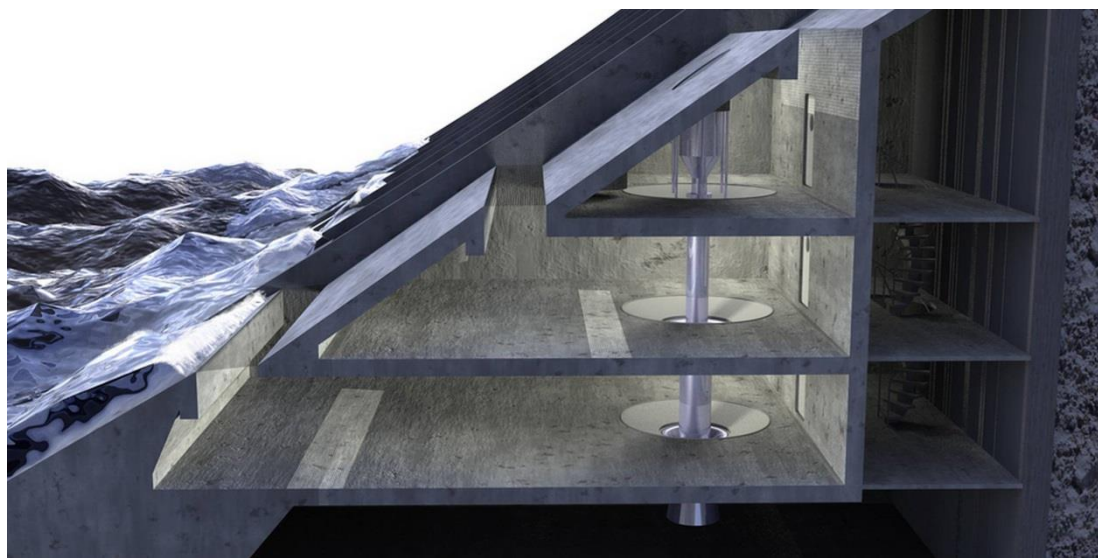
Obr. 19: Ukázka způsobu proudění vody v elektrárně Wave Dragon [33]



Obr. 20: Půdorysný náhled na elektrárnu Wave Dragon [33]

3.3.3 SSG

SSG je anglická zkratka pro „Sea-wave Slot-cone Generator“. Na rozdíl od předchozích vlny přelévajících zařízení je SSG více stupňovitě. Toto řešení umožňuje lepší využití energie pro mnohem širší výkonové pokrytí vln. Vícestupňové provedení je realizováno pomocí více komor, které leží na sobě a silnější vlny dosáhnou vyšších komor. Model provedení tří stupňovité SSG elektrárny můžeme vidět na Obr. 21. Zajímavostí je zde 3 podlažní turbína, což jsou vlastně 3 turbíny na stejné hřídeli. V každé části komory se nachází jedna [42].



Obr. 21: Model elektrárny SSG [13]

3.4 Vlnové absorbátory

Vlnové absorbéry extrahují energii z houpavého pohybu vln. Mají jednu část, která se pohybuje zároveň s vlnami a druhou někdy ukotvenou část, která bývá téměř nehybná. Často se pohybují jenom v jedné rovině a mohou být částečně nebo celkově ponořeny ve vodě. Těchto zařízení může být velké množství s různými modifikacemi. Některé si zde uvedeme.

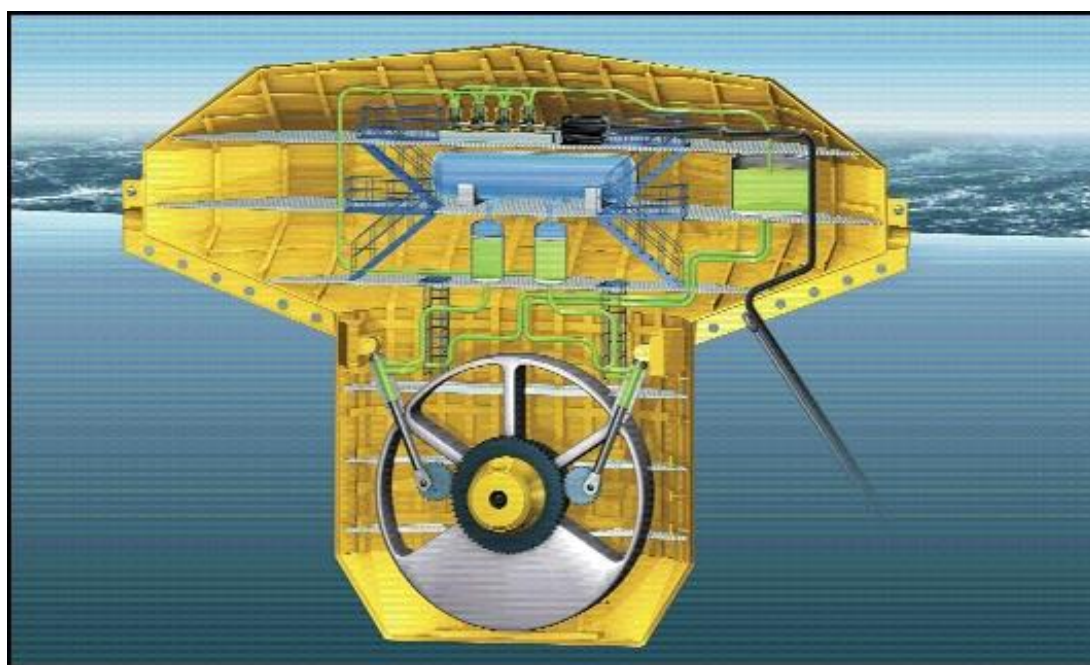
3.4.1 Searev

Tento systém byl vyvinut ve Francii. Model tohoto zařízení je na Obr. 22. Searev má uvnitř sebe v dolní části velké kolo, jehož spodní část je naplněná betonem, aby se tam koncentrovala váha. Toto kolo funguje jako vložené kyvadlo. Jak se hříbovitá čepice zařízení houpe z jedné strany

na druhou při procházení vln, tak zároveň rozkývá i toto kyvadlo. Tento pohyb aktivuje hydroelektrický systém, který přeměňuje mechanickou energii na elektrickou.

Hydraulické pumpy připojené na kyvadlové kolo pumpují přes vysokotlaké akumulátory tekutinu do hydraulického motoru, který pohání generátor. Searev má všechny komponenty uvnitř sebe a je ze všech stran pečlivě zaizolován proti vniknutí vody, což umožňuje delší životnost. Pouze kabel vedoucí elektřinu vystupuje ze zařízení. Úmysl této elektrárny je jí stavět ve větším množství v tzv. farmách, které by pokryly větší plochu hladiny.

Rozměry Searevu mají být neuvěřitelné, 24 m délky v hlavě a 14 m výška. Váha má být kolem 1000 tun z čehož jenom 400 tun bude vážit setrvačné kolo fungující jako kyvadlo. [36] To znamená, že bude sbírat energii převážně velkých vln. Střední výkon těchto vln je asi $40 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$ a výkon zařízení má být asi 500 kW [2].



Obr. 22: Náhled do elektrárny Searev [23]

3.4.2 OPT Power

Elektrárna OPT má pohyblivou plovoucí část, která se přizpůsobuje procházejícím vlnám, kterou vidíme na Obr. 24 a nepohyblivou část ukotvenou k zemi. Fotografie celé elektrárny předtím, než se instaluje do moře ve své velikosti, můžeme vidět na Obr. 23. U elektrárny tohoto typu jezdí plovoucí část nahoru a dolů jak se vyvíjí vlny a pohání hydraulický motor, který je spojen s generátorem.

Všechny komponenty potřebné k výrobě elektřiny jsou uvnitř zařízení, z toho některé v pevné části, které se nachází pod vodou. OPT se nachází v takové hloubce, jakou má vlastní velikost, protože se svým koncem sedí na dně moře. Může to být i přes 30 m. Využívá střední výkon vln $50 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$ a výkon může mít až 500 kW [2].



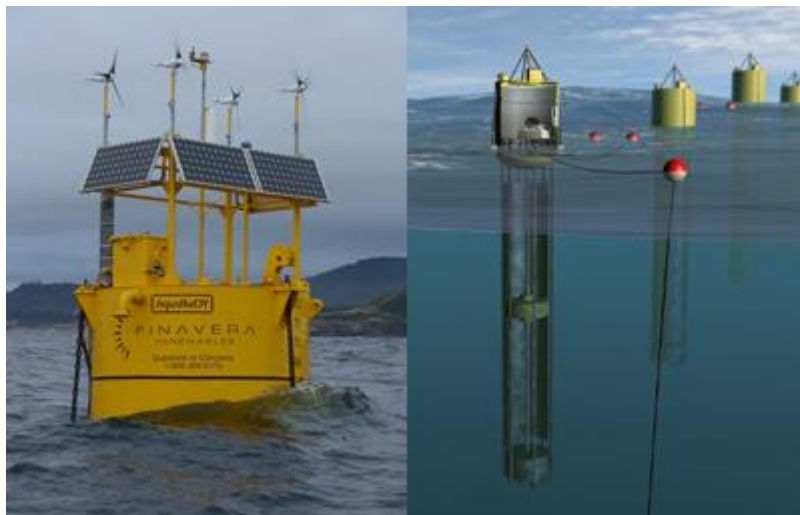
Obr. 23: Fotografie celé elektrárny OPT [49]



Obr. 24: Fotografie elektrárny OPT na moři [25]

3.4.3 AquaBuoy

AquaBuoy je v průměru 3 metry široká elektrárna připevněna k více než 20 metrů dlouhé šachtě, která je upevněna ke dnu. Zjednodušeně ježděním nahoru a dolů pumpuje zařízení vodu, která je uvnitř šachty přes píst do turbíny pohánějící generátor, který se nachází uvnitř bóje. [46] AquaBuoy může mít různý výkon podle své velikosti a síly vln v oblasti působení. Střední výkon těchto vln se může pohybovat v rozmezí $(15-50) \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$ [2].



Obr. 25: AquaBuoy [20]

3.4.4 Archimedes Buoy

Toto zařízení bylo vymyšleno Fredem Gardnerem a vyzkoušeno v Nizozemsku. Jedná se o velké zařízení, reálně může vážit až 1000 tun a má 20 m v průměru. Celé je ponořeno pod vodou, a jak se nad ním pohybují vlny, tak zařízení osciluje nahoru a dolů právě podle výšky hladiny. [5]

Archimedes opět generuje elektřinu podobným způsobem, jako předchozí zařízení pomocí hydrauliky, kterou pohání plovoucí vrchní část připomínající čepici. Podle své velikosti se může Archimedes nacházet v hloubkách mezi (30-60) m [2]. Elektrárnu tohoto typu vidíme na Obr. 26.



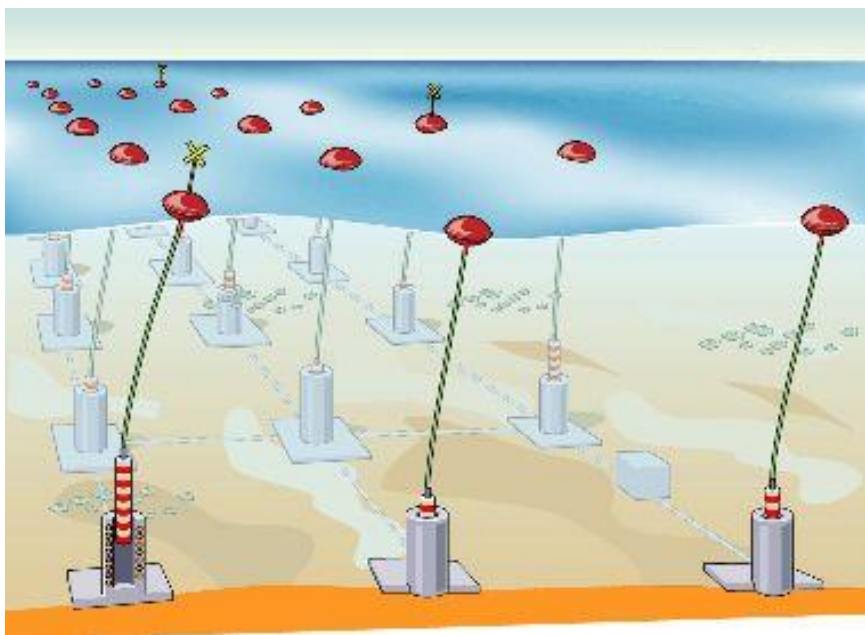
Obr. 26: Farma elektráren Archimedes Buoy [6]

3.4.5 Uppsala

Společnost Seabased AB, která tyto zařízení realizuje a vlastní patent, úzce spolupracovala se švédskou universitou Uppsala, kde se v centru obnovitelných zdrojů energie toto zařízení vyvíjelo pod vedením profesora Matse Leijona, teď jednoho z hlavních akcionářů společnosti. [35] Jméno Uppsala bylo zvoleno na počest university, kde bylo vyvinuto. Vzhled zařízení můžeme najít na Obr. 27.

Princip fungování tohoto zařízení je velmi prostý. Plovoucí bóje, která může mít různý tvar, se houpe na hladině a je připojena lanem s generátorem, který se nachází pod bójí na dně moře. Generátor je lineární, statorové vlnutí je navinuto kolem rotoru, který je z magnetů a je spojen s lanem od bóje. Podle Faradayova zákona o magnetické indukci jak se rotor z magnetů pohybuje nahoru a dolů, tak se ve vodiči kolem něj indukuje elektrické napětí.

Tímto prostým způsobem se vyrábí elektřina ze všech zařízení, které mohou tvořit na daném místě energetický park. Z nich se vedou kabely do AC/DC měniče, který je schopen přeměnit elektrickou energii na průběh napětí o požadované kvalitě a frekvenci a umožní tak připojení k síti. Toto je nezbytná součást elektrárny, protože ta generuje stejnosměrný proud, který se do sítě nesmí za žádných okolností pustit [11].

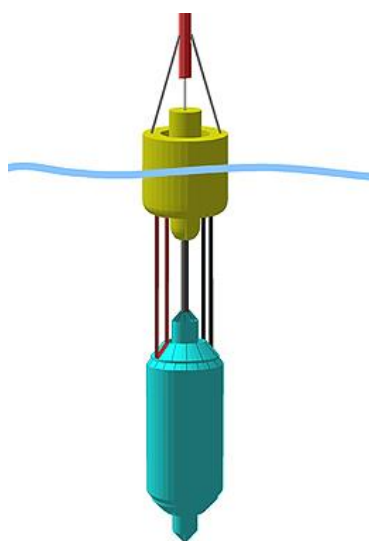


Obr. 27: Grafická ilustrace elektrárny Uppsala [48]

3.4.6 WaveBob

Tato elektrárna může mít Bóji velkou až 20 metrů v průměru a instalovaný výkon přes 1 MW. Plovoucí bóje je spojena tyčí se svou druhou částí s generátorem a systémem, který pomocí hydrauliky pohání turbínu. Výhodou elektrárny WaveBob je, že údajně může vydržet i ty nejsilnější bouře. Dosáhnuto je to díky upravovatelné zátěži, takže zařízení může limitovat velikost energie, kterou bude přijímat [53].

WaveBob využívá střední výkon vln 20 kW.m^{-1} až 70 kW.m^{-1} . [2] Umisťuje se do hloubek nad 50m. To je proto, že se spodní část nemusí vůbec dotýkat dna a ani by neměla. Mimoto vlny ve větších hloubkách nejsou poznamenány třením o dno. Přesto, že měl WaveBob vyrábět levnou elektřinu údajně, tak firma která ho stavěla a chránila si tuto technologii patentem, tak protože se nenašel investor a došli fondy, zkrachovala.

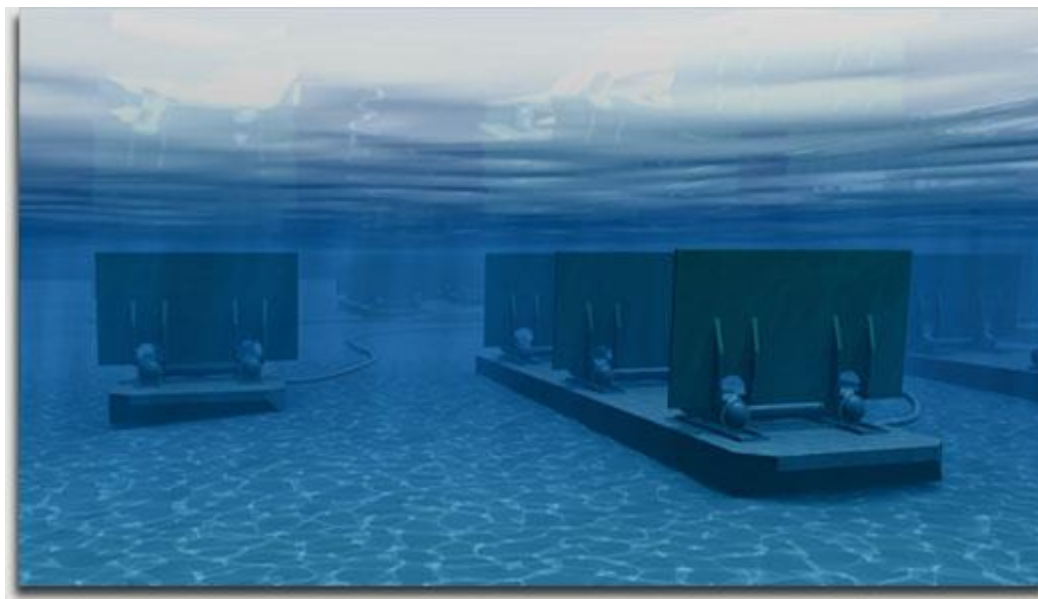


Obr. 28: Schématický obrázek elektrárny WaveBob [54]

3.4.7 WaveRoller

Jedná se o podmořské zařízení, které vypadá jako obdélníkový panel. Jak jdou vlny na hladině, tento panel se dole hýbe ze strany na stranu. Hydraulické písty spojené s panelem pumpují hydraulickou tekutinu v uzavřeném oběhu, která pohání hydraulický motor, který žene generátor.

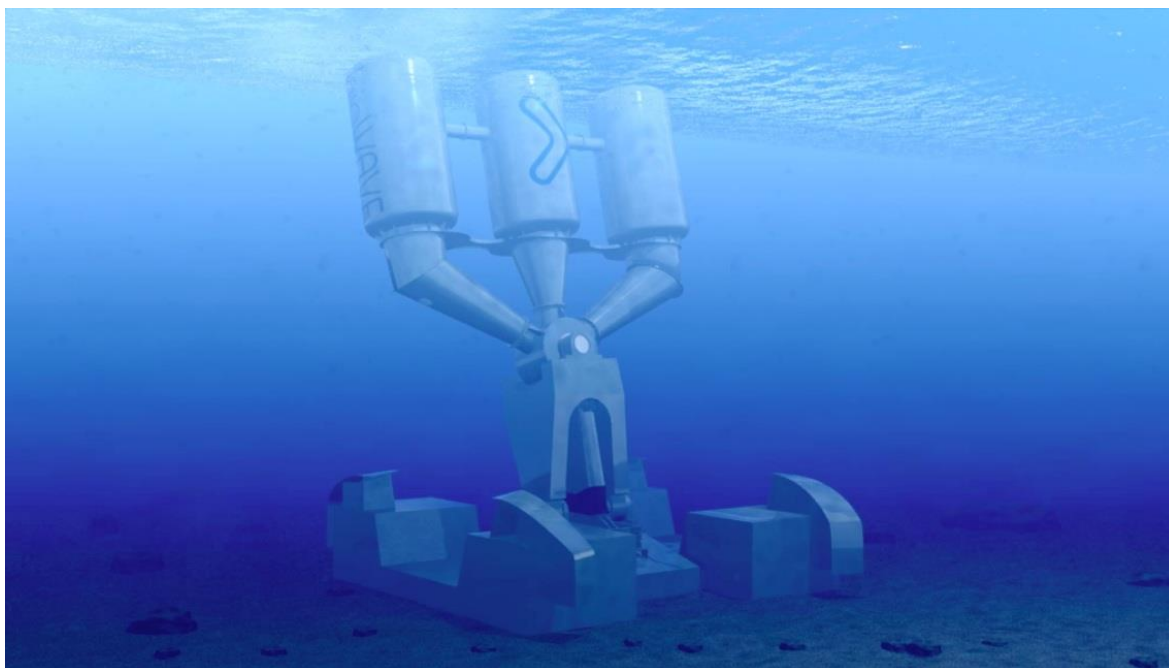
Výkon jednoho panelu se může pohybovat v rozmezí 500 kW do 1 MW, záleží na podmínkách, kde se nachází. Je umístěn v hloubkách 8 až 20 metrů. WaveRoller se může vyskytovat ve větším uskupení a tvořit tzv. podmořskou farmu. V tomto uskupení to můžeme vidět na Obr. 29 [56].



Obr. 29: Elektrárna WaveRoller [10]

3.4.8 BioWave

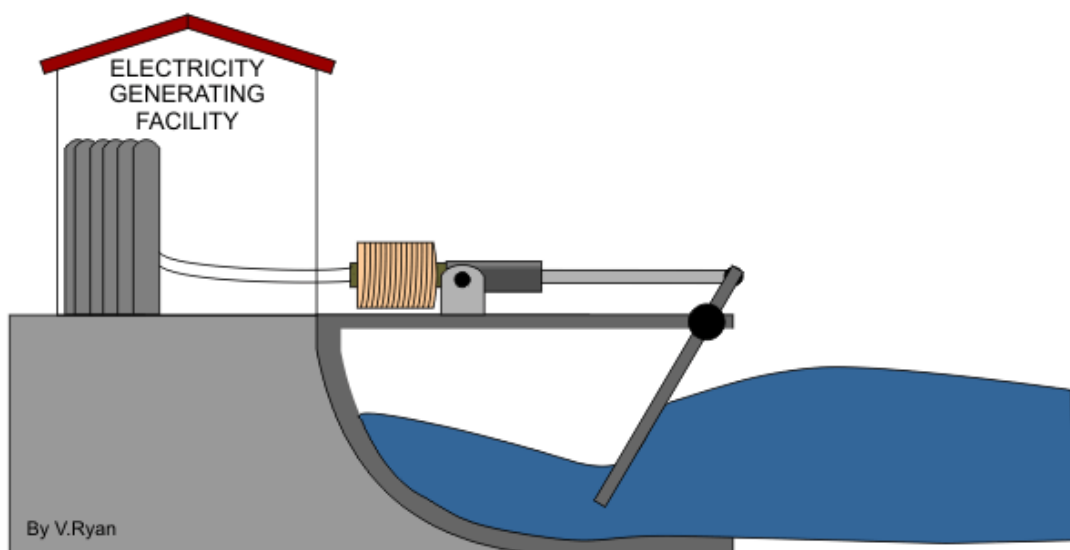
Jedná se o podobné zařízení jako WaveRoller a funguje na stejném principu. Hlavní rozdíl je v jeho tvaru a způsobu řešení. Jeho vzhled můžeme vidět na Obr. 30. Vyvíjený prototyp bude umístěn v hloubce 30 m, zatímco plánovaný komerčně použitelný model by se nacházel v hloubce 40-45 m a měl by mít výkon 1 MW. [9] Toto zařízení je pevně připojeno se zemí a využívá velkých oceánských vln se středním výkonem 50 kW.m^{-1} [2].



Obr. 30: Model elektrárny BioWave [8]

3.4.9 Pendulum

Koncept této elektrárny vidíme na Obr. 31. Pendulum se nachází na pobřeží a ve vodě má umístěn pouze takové pádlo a velkých rozměrech, které čelí přicházející vlnám. Jak se vlny přilévají a odlévají, tak se s nimi toto pádlo pohybuje tam a zpátky, díky čemuž pomocí pístu opět pumpuje hydraulickou směs do systému, který ji přemění na elektrickou energii [34].



Obr. 31: Koncept elektrárny pendulum [31]

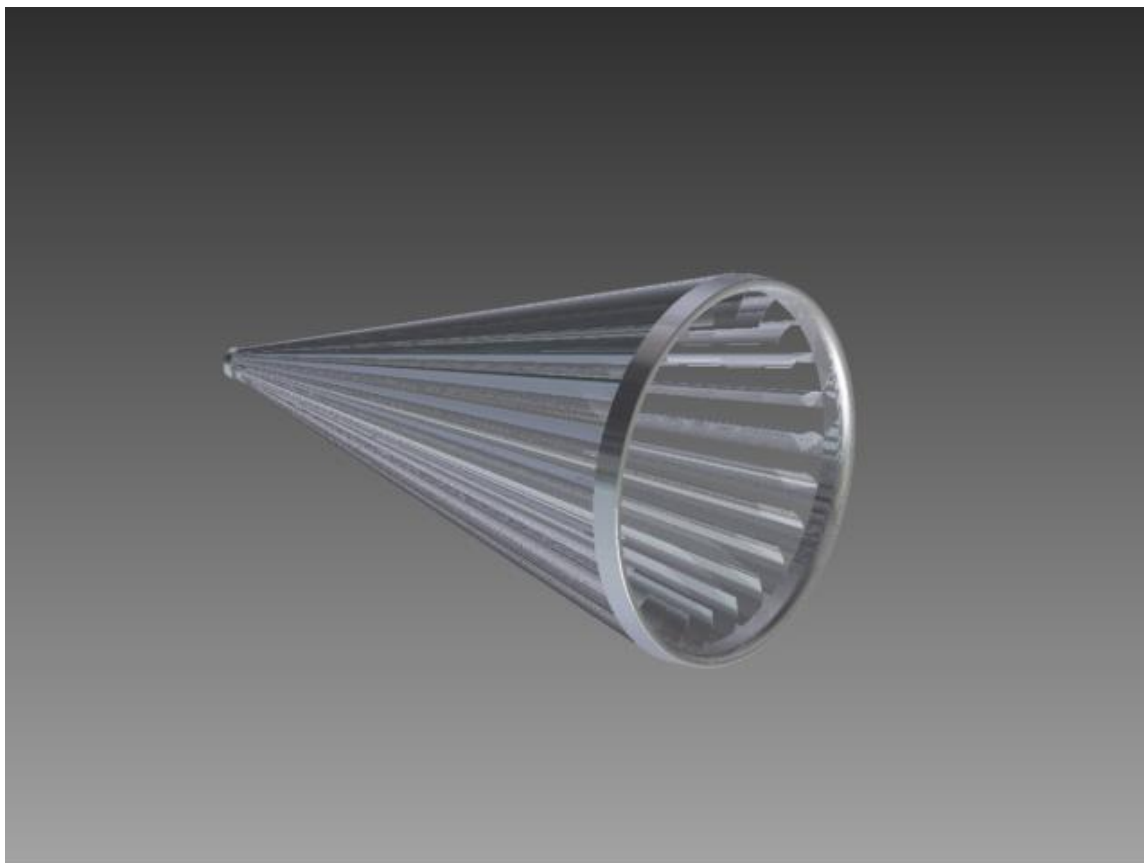
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Způsob, na kterém jsem z počátku založil myšlenku elektrárny na mořské vlny, se liší od způsobu fungování již vymyšlených elektráren. Princip mého řešení využití energie vln spočívá v usměrnění toku vlny, neboli kinetické energie vody do místa, kde budeme schopni lépe tuto energii vodní masy využít. Nicméně poslední model elektrárny takto nepracuje, ale spíše se podobá absorbérům nebo útlumovým elektrárnám podle principu, na kterém funguje.

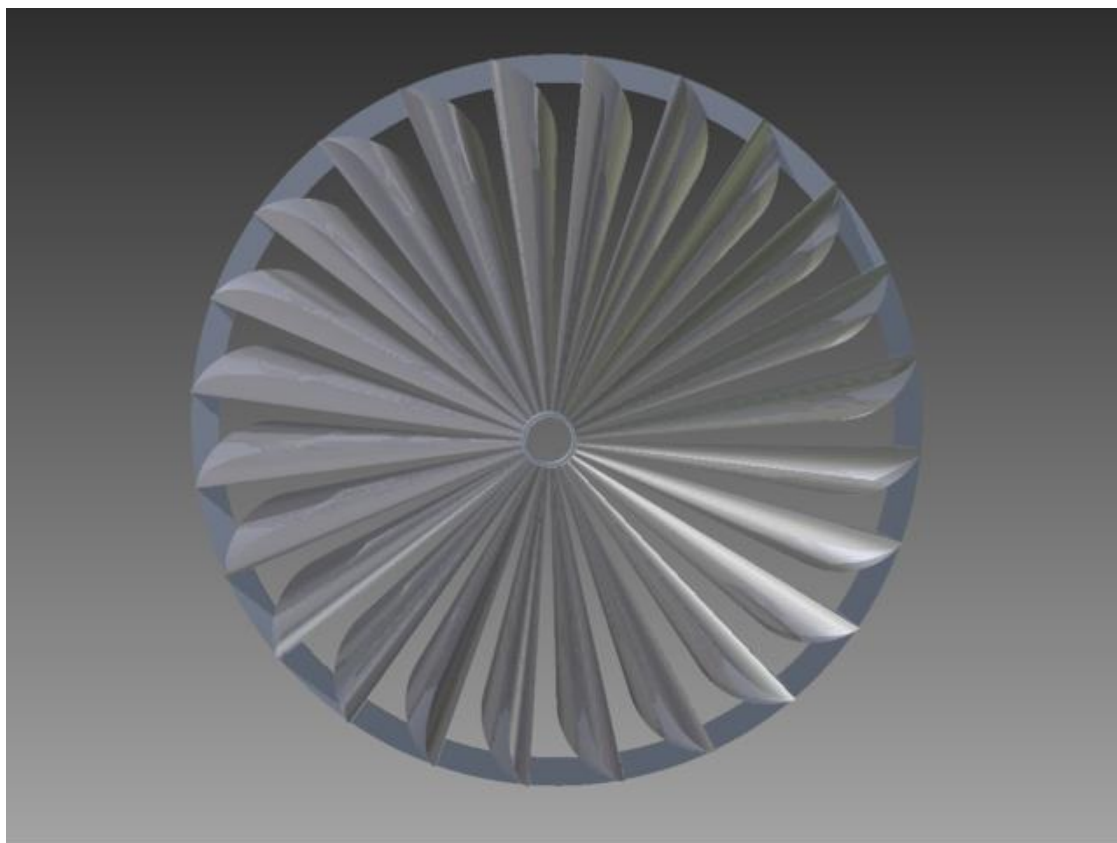
Chci především zdůraznit, že následující modely jsou pouhými koncepty a nesou v sobě hlavně myšlenku. Nejedná se o detailně vyřešené a navrhnuté elektrárny na využití mořských vln, jejichž přesné rozměry nebo účinnost a dynamika by byla spočítaná. Jejich popis vychází z logické úvahy po nastudování dynamiky a způsobu pohybu vln, přičemž se snažím i o kritický náhled. Modely byly provedeny v třírozměrném prostředí softwaru AutoCad Inventor[®].

4.1 Trychtýřovitá turbína

Jedná se o první model, který měl fungovat jako turbína, která by pomocí speciálně upravených lopatek stáčela vodu vždy pouze jedním směrem a reakcí na to by se pohybovala směrem opačným. Turbína má trychtýřovitý tvar, aby vstupující vlna byla nucena reagovat s lopatkami, jak se prostor pro ni zužuje. Model turbíny je znázorněn na Obr. 32 a na Obr. 33.



Obr. 32: Trychtýřovitá turbína



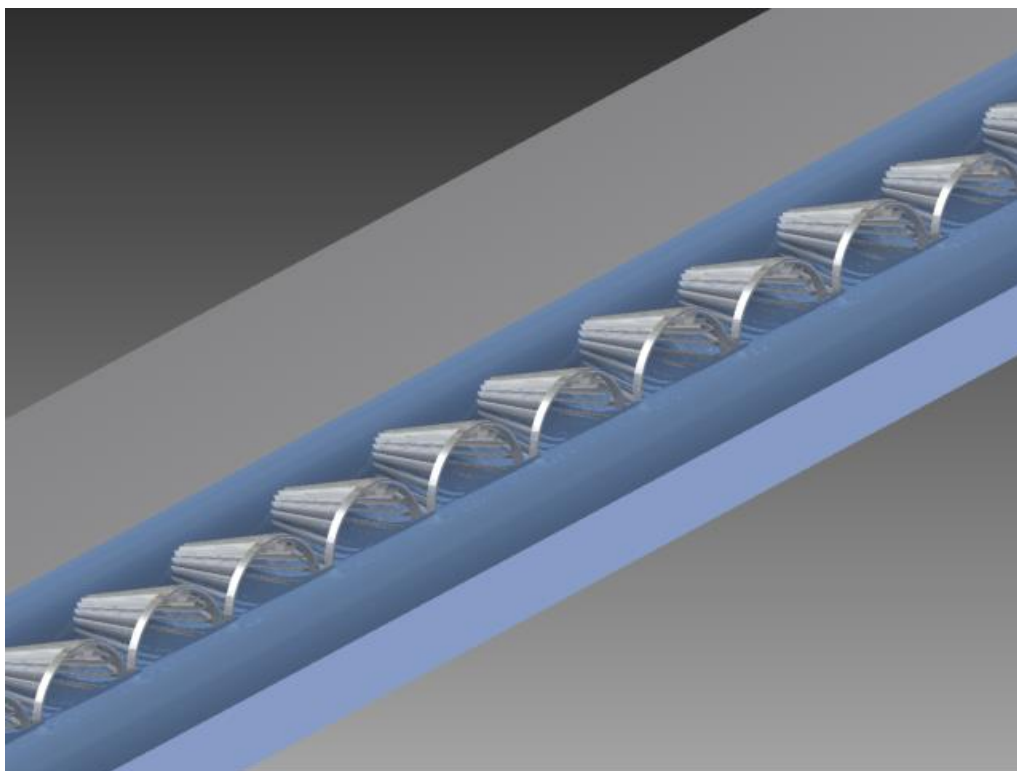
Obr. 33: Zadní pohled na trychtýřovitou turbínu

Umístění této turbíny do hlubokých vod, nebo do nižších je teoreticky méně podstatné. Mohla by se nacházet v obou. Akorát by se neměla nacházet v příliš nízkých vodách, kde vlny už přepadávají a lámou se. Výhodou této turbíny je, že je schopna využívat jak velké tak menší vlny. Ty menší by reagovali v turbíně více vzadu, kde je její průřez menší, než ty větší, které by reagovali už dřív. Další výhodou je jednoduchost a řekněme cenová nenáročnost provedení.

Bohužel asi největší nevýhoda je rotování zařízení ve vodě, která by kladla velmi vysoký odpor, a vznikaly by velmi vysoké ztráty. Tento jev by šlo částečně zmírnit převodem do velmi pomalých otáček. Dále otázkou zůstává účinnost takové turbíny. Je pravděpodobné, že bude nízká. Bylo by potřeba důkladného testování a simulací.

Jeden z elementů, který například bude snižovat účinnost je reakce pohybujících se vodních částic s lopatkami turbíny na jedné její straně. Když se bude vlna pohybovat směrem dolů a bude působit se směrem otáčení na levé straně, tak bude také kontraproduktivně působit proti směru otáčení na straně pravé. Sice tato nechtěná síla bude menší než ta užitečná na druhé straně díky tvaru lopatek, ale zbytečně to snižuje její účinnost.

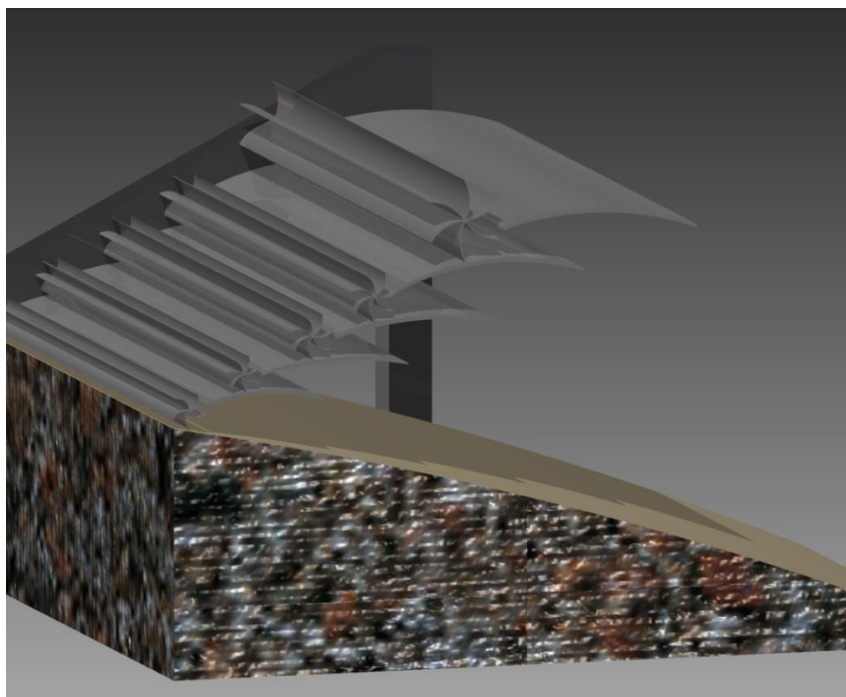
Další zhoršení efektivity by nastalo, pokud bychom se snažili využívat energii vln ve velkém a vytvořili takzvanou farmu z těchto turbín, viz Obr. 34. Protože má turbína kruhový tvar, tak část vlny by se nezachytila a prošla by místem mezi dvěma turbínami.



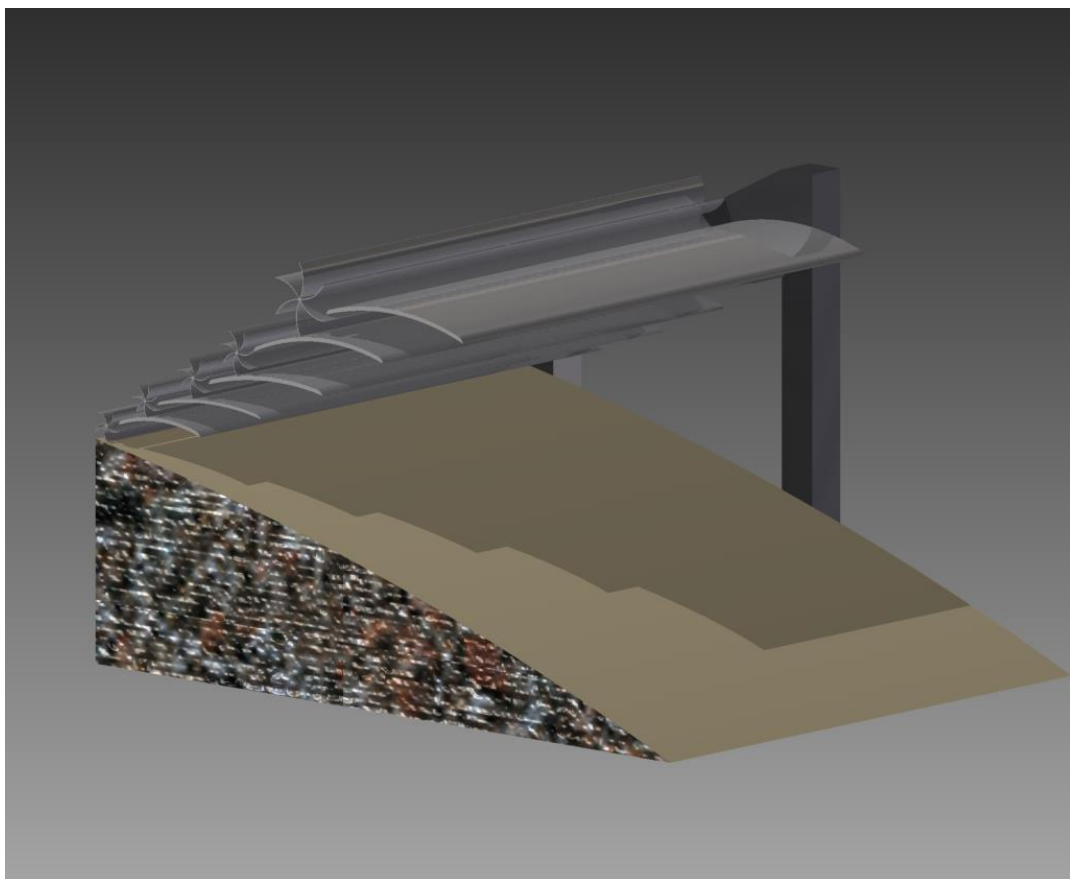
Obr. 34: Farma z trychtýřovitých turbín

4.2 Zařízení zachytávající přepadávající vlny

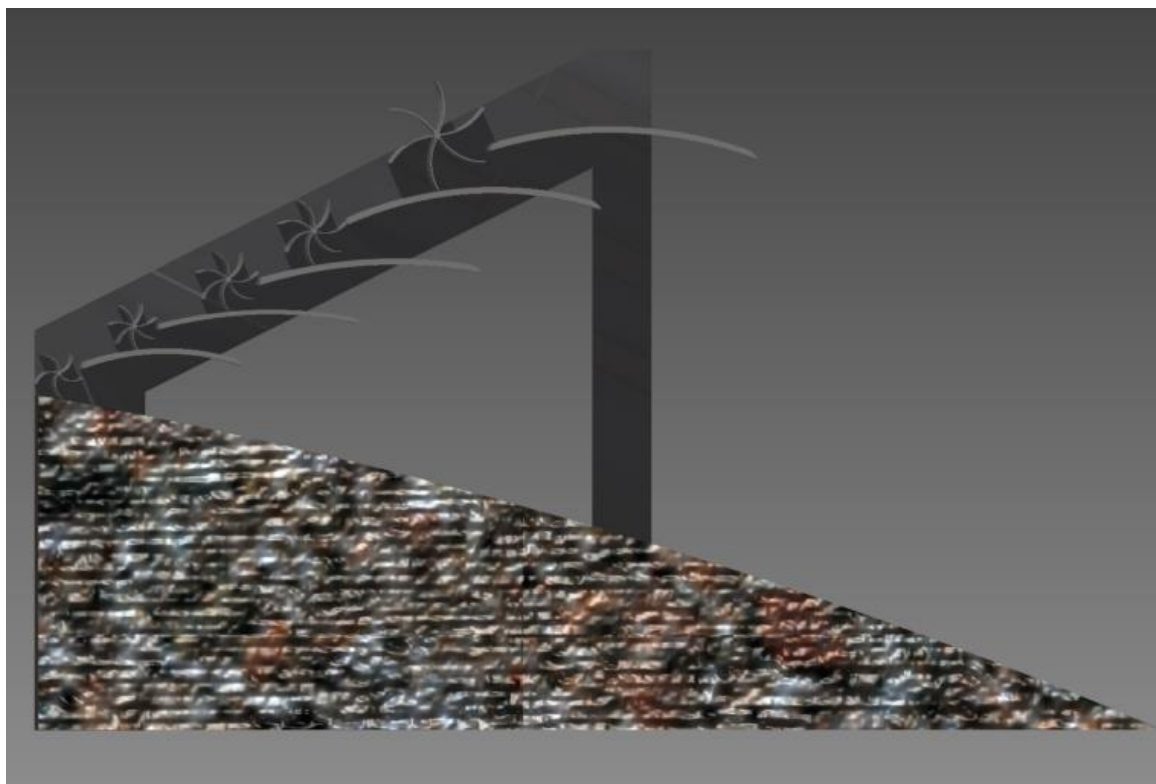
Toto zařízení je navrženo pro umístění na pobřeží. Zvláště tam kde se zvedá dno, a tudíž se vzedmou přicházející vlny. Právě v okamžiku překonání své maximální příkrostiti, kdy vlna začne přepadávat, se přelije přes lištu a následně turbínu. Podle toho přes jak vysokou lištu se vlna přelila, tak přes tolik zbývajících ramp a turbín steče dolů, než se vrátí zpět do moře. Celý popis bude mnohem jasnější po nahlédnutí na obrázky (Obr. 35, Obr. 36, Obr. 37).



Obr. 35: Elektrárna na přepadávající vlny



Obr. 36: Přední pohled na přepadávající elektrárnu



Obr. 37: Bokorys přepadávající elektrárny

Na obrázcích není znázorněna voda pro lepší přehlednost. Výška hladiny moře bude asi stejná, jako je nejvyšší bod dna, který se nachází na levé straně modelů. Myšlenka je taková, že by zařízení mělo být schopno využít jak celkovou potenciální energii, kterou vlna vyvine, tak i tu kinetickou, kterou sebou také nese. Takže voda, která se naleje na horní část konstrukce, by měla stékat přes všechny lišty a turbíny až na levou dolní část, kudy se opět vrátí do moře. Z toho důvodu je nezbytné, aby lišta, na kterou se z té horní spouští voda, měla svůj nejvyšší bod zasunutý pod tu horní, a tak voda nestékala do moře přední částí lišty a docházelo tak ke ztrátám. Kinetickou energii využívá zařízení tak, že nárazová energie vody při přepadávání jde přes turbínu, která vodu zbrzdí a poté už se využívá jenom ta potenciální.

Chci samozřejmě zdůraznit, že model je pouze orientační. Například dno by mělo být raději protáhlejší a lišty nejsou protaženy někde za vrch té spodní. Všechny tyto rozměrové charakteristiky by musely být speciálně dopodrobna spočítány a upraveny tak, aby došlo co k nejlepšímu chování přicházejících vln způsobem, jakým vyžadujeme. Nejlépe pro typické vlny v nějaké konkrétní oblasti.

Jedinou nevýhodou tohoto zařízení je momentálně nejistota, zdali bude vůbec možné nastavit všechny tyto dimenze, aby zařízení spolehlivě pracovalo. Například pokud by vlny přepadávaly příliš rychle a měly malou tendenci přelévání přes lišty, bylo by potřeba zkrátit přelévající část lišty. Následně by průběh některých vln mohl vycházet tak, že by se vlna zlomila a přepadla těsně před lištou a nevlila se do ní.

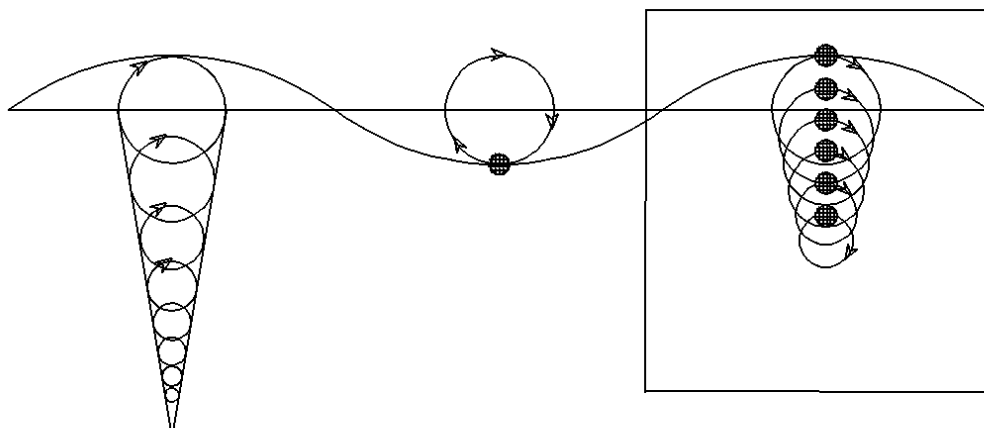
Pokud by se všechny tyto překážky odstranily, měl by tento typ elektrárny nespornou výhodu. Zařízení by se dalo velmi jednoduše řadit za sebe a vytvořit na pobřeží velmi dlouhý pás elektráren. Hřídele jednotlivých turbín mohou pohánět pás ukrytý v konstrukci, který by poháněl generátor, nacházející se na souši na pobřeží.

Bohužel zbývá jediný a to velmi význačný problém. Jedná se o pobřežní elektrárnu, která je závislá na přílivu a odlivu. Tyto jevy mohou v krajních případech dosahovat značných rozdílů výšky hladin a zařízení by nebylo zcela využité. Pokud by hladina moře klesla například o jeden metr, Elektrárna by přestala pracovat, protože by se vlny lámaly dříve a žádné vlny kromě těch největších by přes lišty nešly.

4.3 Tyčový absorbátor

V tomto případě se jedná o zařízení, které by se řadilo na pomezí mezi vlnové absorbátory a zařízení redukující sílu vln. To znamená, že by se dalo zařadit už mezi existující konstrukce, ale jeho vzhled je přesto originální. Popis tohoto zařízení bude možná mnohem jednodušší k pochopení, když si postupně od začátku popíšeme všechny kroky, jak samotné zařízení funguje a co vedlo k jeho sestavení.

V prvním kroku si připomeneme, jakým způsobem se pohybují částice ve vodě, když zrovna jimi prochází vlna. V kapitole Dynamika pohybu vln se dočteme, že se pohyb částic realizuje v kruhových či elipsovitých dráhách. To stejné je také patrné z Obr. 38, kde je navíc znázorněno, jakým způsobem by se také přibližně pohybovalo těleso ve vodě, tedy že by se pohybovalo po podobné dráze.

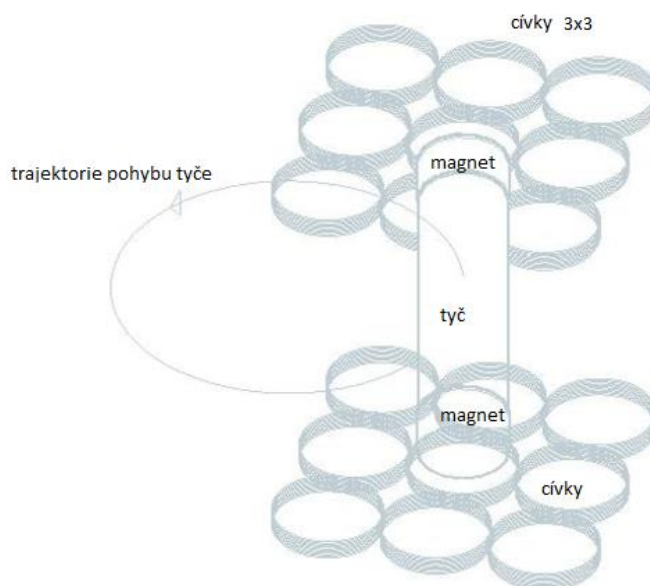


Obr. 38: Pohyb vodních částic a těles ve vodě při průchodu vlny

Těleso, které se na obrázku vyskytuje, je tyč v řezu a je umístěná kolmo ke směru šíření vlny. Z obrázku je také patrné, že pokud umístíme do vody větší počet tyčí, tak budou následovat takovou eliptickou dráhu, která je charakteristická pro jejich hloubku. Důležité je, aby průměrná hustota materiálu, z kterého jsou tyče vyrobeny, byla podobná hustotě vody, zvláště to platí pro tyče nacházející se pod hladinou. Je to z důvodu, aby zůstávaly ve vodě a neměli tendenci díky vztlakové síle vyplavat. Poté by totiž vytlačili nahoru tyče, které se nachází nad nimi.

Umístění tyčí do obrázku není náhodné, protože tyto plovoucí tyče jsou součástí konstrukce elektrárny, jež bude podrobněji po částech dále rozepsána. Počet tyčí, které umístíme do vody, v případě konstrukce elektrárny, může být větší než na obrázku. Lze to provést tak, že vložíme více takových sloupců do vody, jako je například v obdélníku na Obr. 38. Vkládat tyče více do hloubky by nemuselo být už efektivní, protože tam je pohyb částic ve vlně pomalejší než při hladině, jinak řečeno je tam méně energie. V dalším kroku stačí jenom vymyslet, jak kinetickou energii všech těchto pohybujících se tyčí využít.

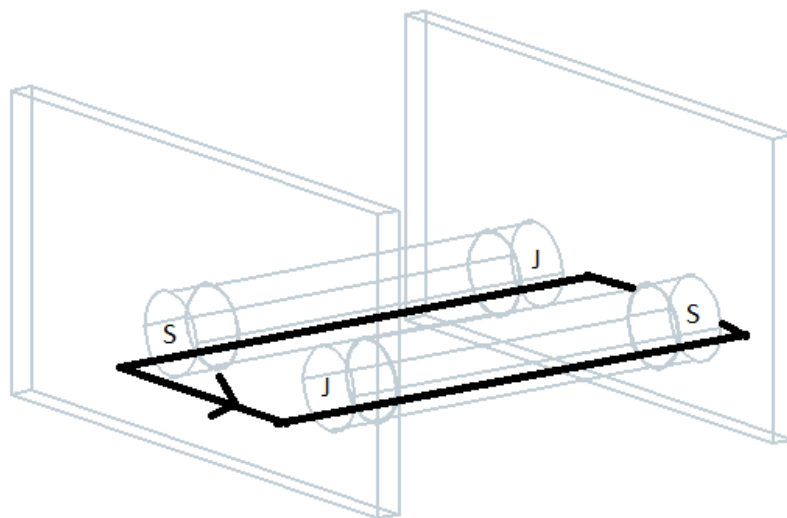
Pravděpodobně nejlepší způsob je pomocí elektromagnetické indukce. Pokud vložíme na konce tyčí magnety a ze strany kolem nich umístíme cívky, tak pohybem tyče s magnety kolem cívek naindukuje do cívek napětí, ze kterých bychom odebírali proud. Odebírání energie z cívek bude způsobovat sílu působící proti změně pohybu tyče, a tedy budeme přímo přeměňovat energii vln na elektrickou energii. Náčrt tohoto principu je na Obr. 39. V praxi by bylo samozřejmě lepší použít cívky ve tvaru čtverce, aby se minimalizoval magnetický tok tekoucí v mezeře mezi cívkami.



Obr. 39: Náčrt pohybu tyče s magnety přes cívky

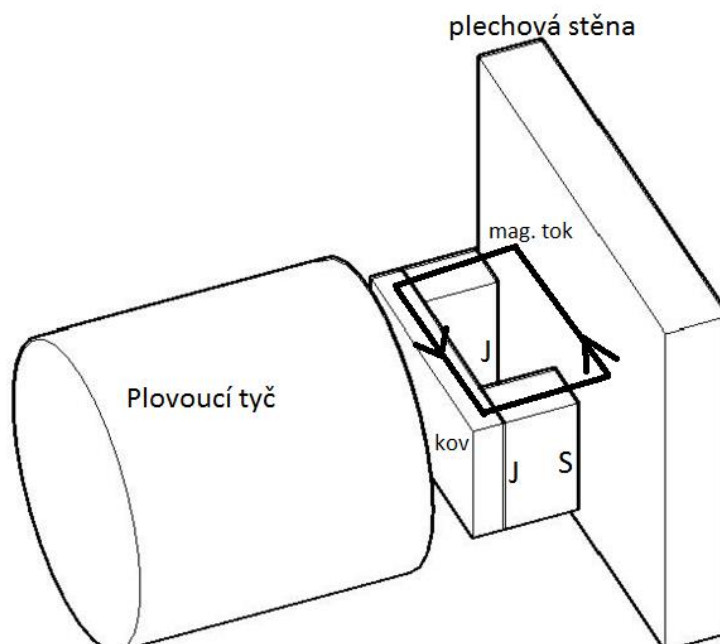
Protože je velikost napětí indukováno v cívkě závislé také na velikosti magnetické indukce, bylo by vhodné vytvořit uzavřený tok magnetických siločár. To znamená, aby magnetický tok procházel pokud možno co nejkratší cestou vzduchem a nějak se uzavíral skrze feromagnetický materiál. Toto nám nejenom zesílí magnetické pole v cívkě, ale také nám to může usměrnit siločáry, tak aby tekly kolmo cívkou a zajistila se kvalitnější indukce napětí a vytvořila se i silnější vazba mezi magnety a cívkami. Takto budou tyče moci klást vyšší odpor proti změně pohybu, zvýší se tuhost a potom i efektivita takové elektrárny.

Proto, abychom mohli lépe uzavřít magnetický tok, bylo by nutné umístit za cívky stěnu, nejlépe s feromagnetických plechů. První ze způsobu, jakým lze realizovat uzavření magnetického toku, je umístit do středu tyče železo, které by spojovalo magnety na obou stranách a kterým by tekla magnetický tok. Dále by šel přes cívky do železa a stejnou tyčí, ale s otočenou orientací magnetů, která se nachází vedle ní, by se tok vracel zpět. Koncept tohoto návrhu je znázorněn na Obr. 40.



Obr. 40: Náčrt uzavření magnetického toku dvěma tyčemi

Bohužel nutnost umístění železa, nebo jiného feromagnetického materiálu skrze celou tyč by ji mohl zatížit tak, že by byla těžší než voda a tak by neefektivně interagovala s vlnami a stlačela by i tyče pod sebou. K tomu velké množství kovu navíc by mohlo zdražit celkovou konstrukci. Z tohoto důvodu jsem navrhl i jiný způsob, jak by šel magnetický tok uzavírat. Grafické znázornění této druhé varianty je na Obr. 41



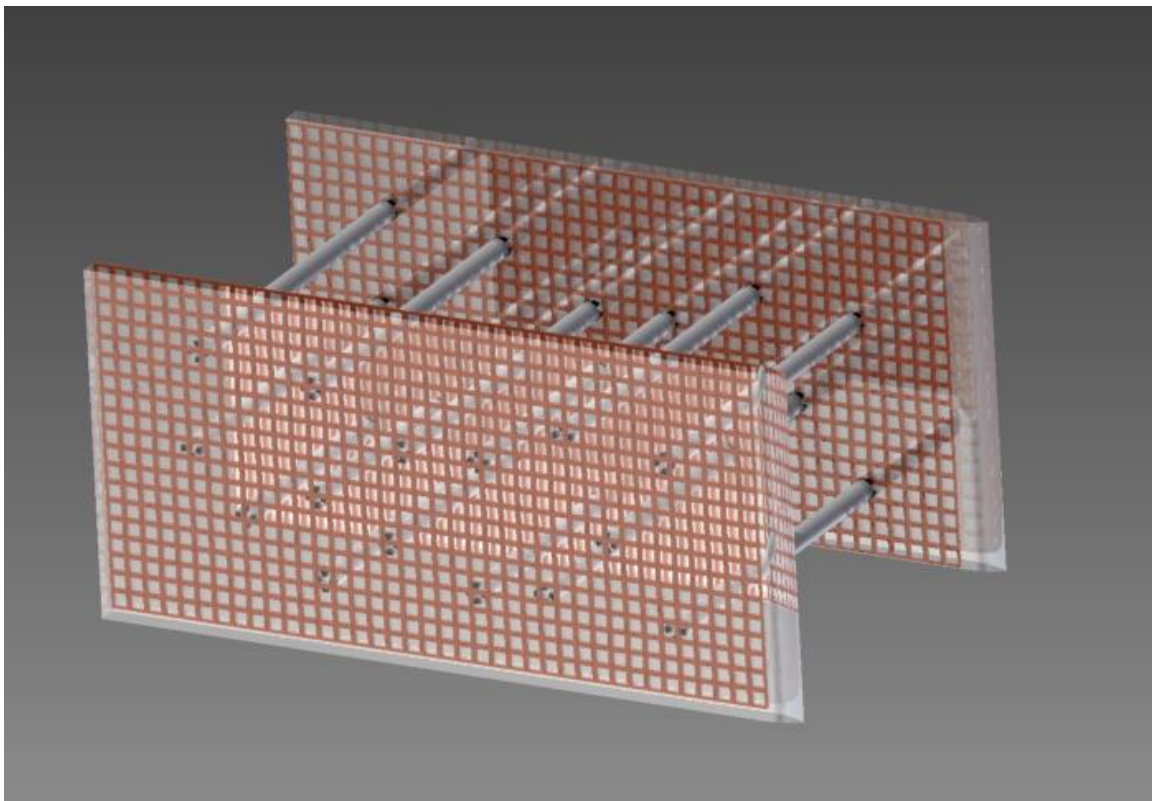
Obr. 41: Druhá varianta umístění magnetů na konci tyče

Jak lze z obrázku vyčíst, tak se na konci tyče nachází dva opačně orientované magnety, které mají kovovou základnu, přes kterou se na jedné straně uzavírá magnetický tok. Na straně druhé vychází mag. tok přes cívku do plechové stěny a opět se vrací přes druhou cívku do magnetu na druhé straně. Cívky na obrázku nejsou znázorněny pro lepší přehlednost, ale jejich umístění je samozřejmě mezi magnety a stěnou.

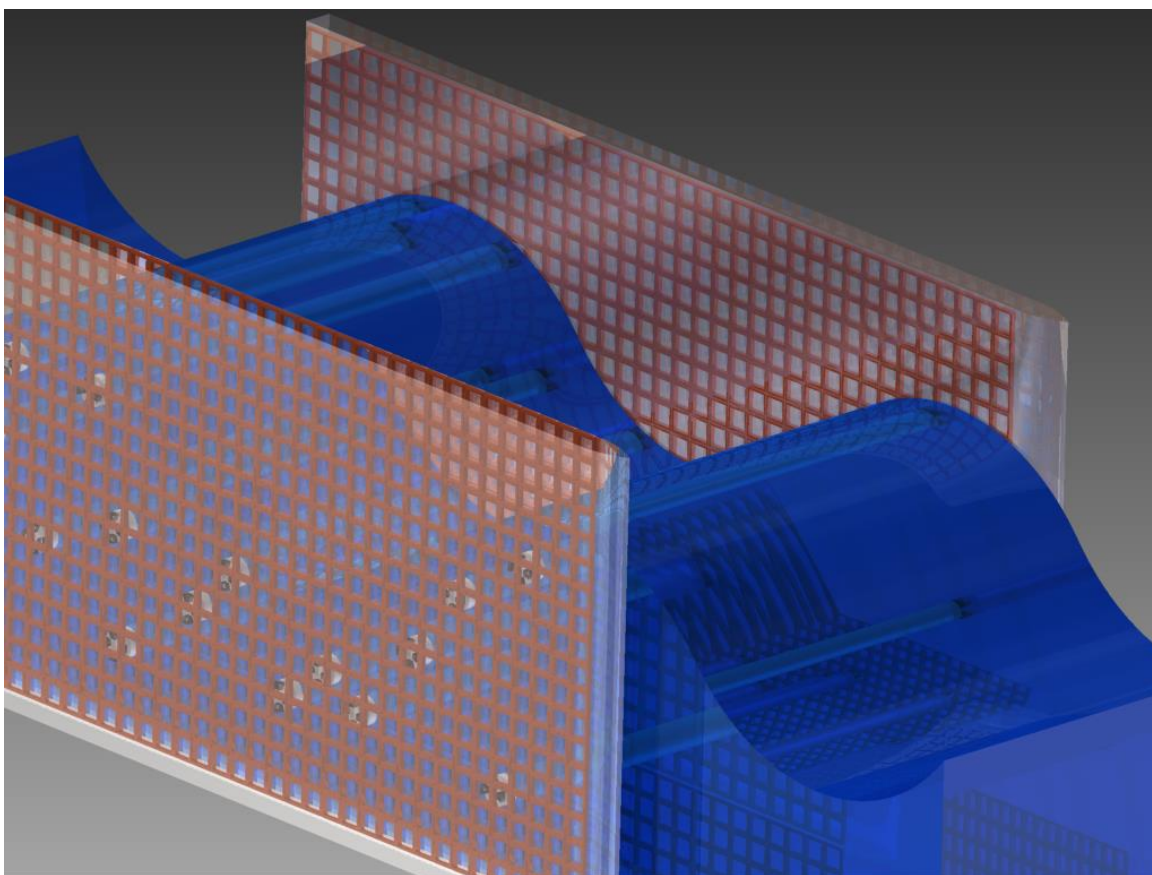
Tato varianta by byla levnější a pravděpodobně i účinnější z pohledu uzavírání magnetického toku. Ještě chci zdůraznit, že cívky by neměli železné jádro ani v tomto, ani v předchozím řešení, z důvodu zamezení neefektivního momentu, který by vznikl, protože by se magnety přirozeně chtěli vyskytovat ve stavu nejnižší energie, tedy by se uchytávali na železná jádra cívek a pohyb tyčí by byl potom velmi neplynulý. Navíc vlnám o menší kinetické energii by se ani nemuselo podařit tyče z takového uchyceného stavu vůbec vystrčit.

Ve 3D modelu, který vykresluje, jak by taková elektrárna mohla vypadat, znázorněného na Obr. 42, je stěna, která chrání cívky od styku s vodou zprůhledněna, aby šly názorně vidět cívky čtvercového tvaru umístěné uvnitř. Bohužel malé mezery mezi cívkami nejdou díky dostatečné kvalitě obrázku vidět a připomíná to mříž. Rozpoložení magnetů, které je zde, je odlišné od toho na Obr. 41 pouze tím, že jsou tam dvě pólové dvojce a ne jenom jedna. Navíc nemají krychlový tvar.

Protože se jedná o názorný model, tak tam není umístěna ani plechová stěna za cívkami opět z důvodu přehlednosti. Na Obr. 43 je znázorněna i voda, aby bylo jednodušší si představit, jak to ve skutečnosti bude přibližně celé vypadat. Existuje ale ještě velké množství dalších věcí, které by bylo potřeba dodělat, aby byl model úplný.



Obr. 42: Tyčový absorbátor 3D model



Obr. 43: Tyčový absorbátor, model s vodou

Jedna z věcí, která na modelu nelze vidět je ohraničená oblast pohybu tyčí, za kterou se nemohou pohybovat, to lze provést jednoduše pomocí hrany, do které tyč narazí a zabráni se jí pohybovat ve směru dál, kde by mohla vypadnout mimo prostor cívek. Dále bude potřeba rozšířit průměr konce tyčí z důvodu umístění kulových ložisek pro usnadnění pohybu a zabránění zvratu tyče mimo jiný úhel než kolmý vůči oběma stěnám. Další záležitosti jako například uchycení a upevnění systému a další jsou otázkou mechanického řešení a ne tolik otázkou způsobu přeměny energie, tudíž se jimi nebudu dále zabývat.

Další problém, na který se ale podíváme, se týká elektrické části. Protože se bude na cívkách indukovat jak kladné, tak i záporné napětí, bude nutné každou cívku první usměrnit a následně až po usměrnění spojit cívky nejlépe paralelně. Napětí se poté vyhladí na stejnosměrný průběh. Teď můžeme pomocí střídače napětí opět zvlnit do sinusové podoby a pomocí transformátoru upravit hladinu napětí na úroveň distribuční sítě, do které se bude výkon posílat. Další možnost je také roztáčet 3 fázový synchronní generátor pomocí řízeného EC motoru. Průběh napětí z generátoru má lepší kvalitu a méně rušení, než průběh ze střídače.

Pokud se opět podíváme na elektrárnu jako celek, tak nejvhodnější umístění pro ni bude do moře do takových hloubek, abychom zvolili kompromis mezi hlubšími vodami, kde se vlny šíří bez větších ztrát a zároveň aby hloubka nebyla příliš velká a nevznikali problémy při uchycení konstrukce k zemi. To je nutné, protože stěna s cívkami bude nepohyblivá a pouze tyče budou rotovat mezi nimi. Řekněme, že hloubka, ve které bude vhodné umístit elektrárnu, jsou maximálně desítky metrů, kvůli zajištění pevnosti.

Velikost elektrárny se zvolí taková, aby dokázala efektivně absorbovat energii i těch největších vln, které se v dané oblasti pravidelně vyskytují. Dále bude potřeba zvolit takový počet tyčí, aby byla tuhost celého systému dostatečná na pohlcení co největší energie vln při jejím jmenovitém výkonu. Výhodou této elektrárny ve srovnání například s ostatními absorbátory a bójemi plovoucími na hladině je:

- 1) Tyče mají dva stupně volnosti a pohybují se tedy ve dvou osách. To znamená, že jsou schopny absorbovat nejen potenciální energii vln tím, jak se vlny zvedají a opět klesají, jak to dělají ostatní typy elektráren. Jsou také schopny absorbovat kinetickou energii vln, protože se mohou pohybovat i zleva doprava.
- 2) Elektrárna bude reagovat na všechny typy vln, na ty velké i ty malé. Tím pádem nebude využívat jenom velké vlny a malé zanedbávat, jak to je u velkého množství bójí, ale bude efektivně pracovat celoročně nezávisle na počasí a sezónními či denními výkyvy mezi velikostí vln. Tudíž bude moci být aplikovatelná i do problematických oblastí, kde jsou tyto výkyvy velké.
- 3) Může být jednoduše opravena při poruše, nahrazením jedné části novou. Například přidáním tyče do systému, výměnou jedné cívky, atd.
- 4) Odolnost vůči extrémně velkým vlnám. Například kdyby prošla vlna tsunami, tak kvůli malé ploše tyčí, na kterou by tlak vody působil, se vyhneme velkým silám, které by způsobily destrukci zařízení.
- 5) Nezátěžování distribuční soustavy, naopak její stabilizace. Pokud by odběr byl v daném okamžiku minimální, z cívek by tekla malý proud a magnetická vazba mezi nimi a magnety by byla nízká, tudíž by působil nízký moment proti změně pohybu a energie vln by jí prošla bez většího využití. Pokud použijeme přirovnání, soustava by pracovala jako generátor naprázdno. Na druhou stranu největší moment, který by bránil proti změně pohybu, by nastal při zkratování cívek.

Naopak nevýhodou, která třeba zabrání rozvoji této elektrárny do praxe se může stát její vysoká cena. Ta může být pravděpodobně způsobena velkými množstvími magnetů, mědi a dalšího materiálu. Jestli ale bude výroba tohoto zařízení investičně zajímavá, je těžké momentálně určit. Tento krok se dá udělat jedině až po důkladném a konkrétním návrhu elektrárny, jejího výkonu a následně určení ceny jednotlivých komponentů.

5 PATENTOVÁ REŠERŠE

V této kapitole se budu snažit najít existující řešení, které už někdo patentoval a podobá se jednomu z mých modelů, nebo by pracovalo na principu, na kterém podle popisu pracují mnou navržené modely. Nebo uvedu i ty, kde najdu jinou velmi blízkou podobnost. Patenty jsem hledal v patentových databázích volně přístupných na internetu.

Databáze, ve kterých jsem hledal, jsou:

1. **Česká databáze patentů a užitných vzorů**

Databáze obsahující pouze české přihlášky vynálezů zveřejněné od roku 1991, patenty od č. 1, evropské patenty platné na území ČR a zapsané užitné vzory.

2. **Evropský patentový úřad Espacenet (European Patent Office)**

Espacenet nabízí volný přístup k více jak 80 milionům patentům celosvětově, obsahuje informace o vynálezech od roku 1836 až do dneška.

3. **WIPO (World Intellectual Property Organization)**

Mezinárodní patentová kolekce

5.1 Patentová rešerše trychtýřové turbíny

Pro toto řešení nebylo nalezeno žádné patentované zařízení, které by se s ním jakkoli shodovalo a bylo využíváno k přeměně energie mořských vln na jinou energii. Je možné, že turbína podobného tvaru může existovat, ale jistě se nevyužívá ke stejnému účelu.

5.2 Patentová rešerše zařízení zachytávající přepadávající vlny

V tomto případě nebyl opět nalezen žádný záznam v patentové databázi, který by korespondoval s tímto zařízením.

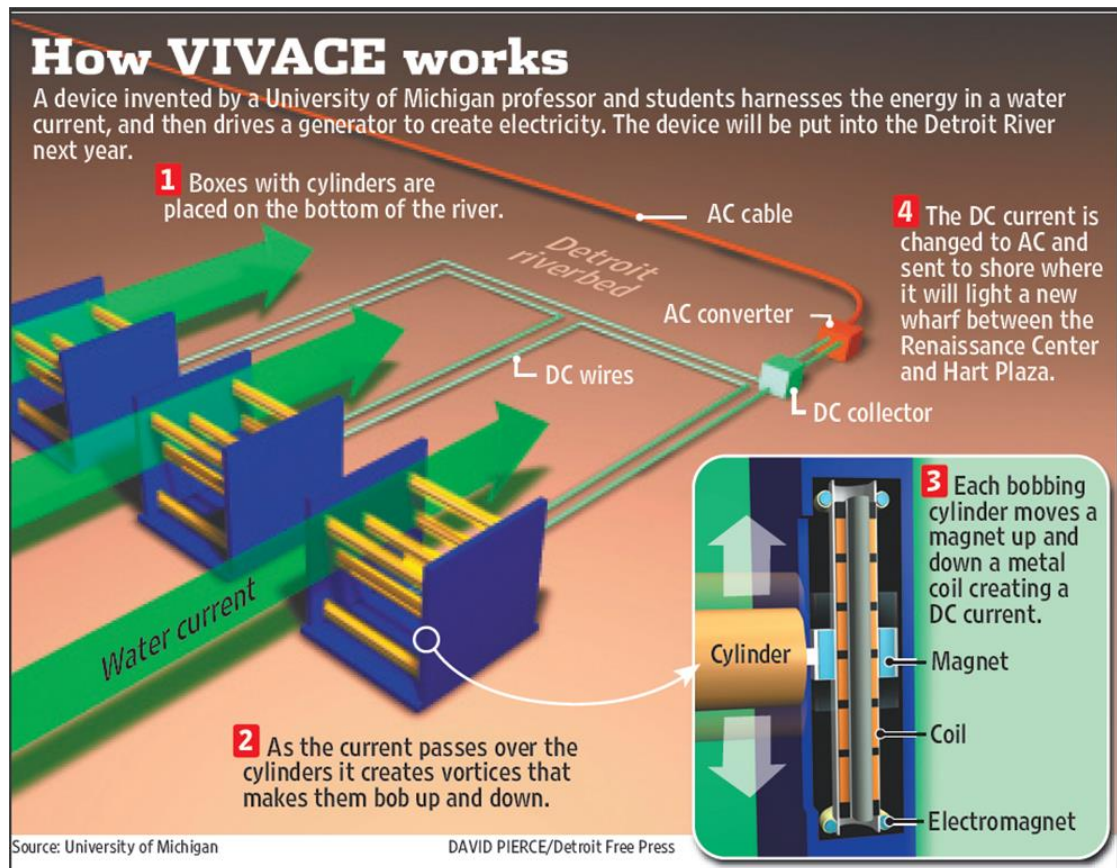
5.3 Patentová rešerše tyčového absorbátoru

U tohoto zařízení bylo nalezeno jedno, které se jemu podobá. Jedná se víceméně také o elektrárnu transformující pohybovou energii vody na elektrickou, která má velmi podobný vzhled mnou navržené elektrárny. Byla vyvinuta na Michiganské Universitě v USA pány Bernitsas Michael M a Raghavan Kamaldev. Anglický název patentu je Fluid Motion Energy Converter [7].

Bibliografický údaj patentu: US2008295509 (A1) – 2008-12-04

Číslo přihlášky: US20050272504 20051110

Přes všechnu podobnost tam jsou poměrně velké rozdíly mezi nimi. Za prvé toto zařízení není určeno na mořské vlny, ale na pohybující se vodní masu neboli tok vody, což může být například v řece, nebo při odlivu či přílivu. Z tohoto důvodu se i liší v principu pohybu tyčí. U tohoto zařízení mají tyče pouze jeden stupeň volnosti a pohybují se nahoru nebo dolů. Pohyb tyčí je ale způsoben indukcí vířivých proudů, které vznikají díky tvaru tyčí a ty vytváří sílu na samotné tyče, které buď vytlačí, nebo stlačí. Existuje jeden obrázek, který názorně vystihuje a popisuje způsob, jakým toto patentované zařízení pracuje, viz Obr. 44.



Obr. 44: Princip zařízení VIVACE [43]

Protože způsob jakým toto zařízení funguje, je odlišný od toho mého, tak to že se podobají, v tomto případě nebrání v jeho realizaci, aniž by se porušila duševní ochrana autora tohoto patentu. Jinak řečeno by mnou navržený vynález šel jít sám patentovat jako jiné zařízení.

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat vlastní řešení elektrárny na mořské vlny. Za tímto účelem bylo důležité nejprve tuto problematiku dobře prostudovat, a proto je úvod práce věnován popisu mořských vln jak slovně, tak i matematicky. Slovní popis vysvětluje, jakým způsobem vlny vznikají, jak se šíří a jaké jsou vlastnosti a chování vln. Matematický aparát je kvůli velké komplexnosti a složitosti popisu skutečných vln zjednodušen tím, že vlny linearizujeme, tedy se jedná o sinusový průběh vln. Toto zjednodušení má často k realitě daleko, avšak výpočty se jí blíží, pokud se bavíme o velkých vlnách s nízkou výškou v anglické literatuře označované jako Swell.

V další části bylo nutné se seznámit se zařízeními, která v současné době již existují, to bylo proto, abych se vyhnul situaci, že bych navrhl něco, co už existuje a běžně se používá. Těchto zařízení je navrženo velké množství, méně však skutečně zrealizováno. V práci je uvedeno 21 modelů elektráren na mořské vlny a je popsán způsob, jak pracují. Podle jejich principu je můžeme členit na 4 typy.

První typ jsou oscilující vlnové komory, ve kterých hladina díky vlnám kolem ní roste a klesá a tak nasává a vytlačuje vzduch uvnitř, který prochází přes upravenou větrnou turbínu. Další druh jsou útlumové elektrárny, které jsou obvykle unášeny na vlně, ale mechanicky působí proti změně pohybu, takže vlna přes ně projde, ale její síla je redukována takovou silou, kterou se působí na mechanické části generující elektřinu.

Třetím typem jsou vlny přelévající zařízení, ve kterých se vlna přelévá přes rampu do nádrže, která je výše postavená než hladina moře a do kterého se pouští zpět přes turbínu s generátorem. Posledním typem jsou vlnové absorbatory. Jedná se většinou o plovoucí bóje, které se při průchodu vlny pohybují buď nahoru a dolů nebo někdy i do stran. Jejich pohyb je často vůči jejich statickým částím zachycován a opět převeden na elektřinu.

Po představení existujících elektráren následuje kapitola, kde prezentuji vlastní řešení elektrárny a jakým způsobem má fungovat. Celkově byly navrženy 3 typy elektráren, které byly jednotlivě zpracovány, a ke každému z nich byl vypracován model v modelovacím programu Inventor, ze kterého byly rendrovány obrázky modelů, které jsou vloženy v kapitole Vlastní řešení.

Název prvního modelu je trychtýřová turbína, který je odvozen z jejího tvaru. Osobní názor je takový, že se tento typ elektrárny v praxi neuplatní, protože by vykazoval nízkou účinnost. Další model je zařízení zachytávající přepádávající vlny. V tomhle případě by účinnost zařízení nemusela být vůbec nízká, pokud by se to dalo dobře navrhnout. Přesto musím opět říci, že zařízení bude do praxe opět téměř nepoužitelné a to z důvodu jevů přílivu a odlivu. Ty způsobí, že by taková elektrárna velkou část času vůbec nepracovala, což je bohužel nepřijatelné.

Poslední typ modelu je tyčový absorbátor, který má ze všech modelů největší potenciál uplatnění. U tohoto modelu bude pravděpodobně jedinou otázkou, která rozhodně o jeho realizaci ekonomická návratnost. Někdo se sice může ptát, jestli se tyče budou skutečně pohybovat po trajektoriích jako vodní částice, ale i v případě různých víření a nedokonalých elipsoidních tvarů pohybu tyčí nevznikají problémy s funkčností, protože každá síla nebo pohyb tyče způsobí indukci napětí v cívkách.

Na konci práce je umístěna patentová rešerše, která porovnává zde navržené modely s modely, které byly už patentované. Důvod umístění patentové rešerše na konec je, aby byl čtenář už seznámen s navrženými koncepty elektráren a věděl, co se vlastně porovnává. Samotný průzkum

zařízení, které by se shodovali s mými, byl nicméně proveden ještě před tím, než jsem začal daný model navrhovat. Jediná podobnost byla nalezena právě pro tyčový absorbátor, kde byl nalezen Americký patent z Michiganské university na elektrárnu, která využívá tok vody, k přeměně na elektrickou energii. Protože je její princip odlišný a není ani určena na mořské vlny, tak koncept mého zařízení s daným patentem nekoliduje.

6.1 Význam a využití dosažených výsledků

Přínos práce leží v položení základu myšlenky elektrárny, která se může v budoucnu skutečně zrealizovat, pokud bude konkurence schopná s těmi existujícími, a pomoci tak vyrábět více energie z obnovitelných zdrojů. Potenciál je v této oblasti obrovský a stačí, pokud to bude výhodné pro investory. Nahrazení spalování fosilních paliv čistou energií velmi odlehčí životnímu prostředí a pomůže k lepšímu životu na planetě.

Tento přechod v energetice na ekologičtější energii by měl být důležitým cílem lidstva už z důvodu, že fosilní paliva jsou neobnovitelným zdrojem energie a je otázkou času, než se spotřebují. Čím dříve se nám podaří je nahradit, tím lépe. Do budoucna je tento přechod asi největší výzvou pro energetiky, které budou čelit.

Vedlejším přínosem práce je také česky napsaná publikace o mořských vlnách a elektrárnách na moři, to je z důvodu, že v českém jazyce existuje velmi málo knih na toto téma. Tato skutečnost je pravděpodobně způsobena tím, že se kolem hranic České Republiky nenachází moře a tak se místní akademická sféra touto problematikou příliš nezabývala. Sám jsem veškeré zdroje měl v anglickém jazyce.

6.2 Návrh dalšího postupu

Pokračování této problematiky by mohlo být například v mé diplomové práci. Tam bych se zaměřil především na jednotlivé navrhnuté modely. Tento podrobnější náhled by spočíval především v simulaci chování jednotlivých zařízení po průchodu vlnou, nebo spočítání konkrétních rozměrových velikostí pro oblast s danou velikostí vln a možném sestrojení a testování samotného zařízení. V případě sestrojení by bylo nutné, také ještě vyřešit všechny technické záležitosti, aby zařízení mohlo během testů spolehlivě fungovat.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] 2DFT and 3DFT: What are 2D- and 3D-Fourier transforms? I don't see how FT works in higher dimensions. ELSTER LLC. *QUESTIONS AND ANSWERS IN MRI* [online] [obrázek]. 2014 [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <http://mri-q.com/what-are-2d---3d-fts.html>
- [2] ALAMIAN, Rezvan, Rouzbeh SHAFAGHAT, S.Jalal MIRI a Nima YAZDANSHENAS. *Evaluation of technologies for harvesting wave energy in Caspian Sea* [online]. Babol, Iran, 2 September 2013 [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114000471>. Babol Noshiravani University of Technology.
- [3] Anaconda aims for affordable wave power. *Gizmag* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/rubber-tube-could-provide-affordable-wave-power/9578/>
- [4] Anaconda Bulge Wave Power Generator. *REUK - THE RENEWABLE ENERGY WEBSITE* [online]. 24.9.2014 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.reuk.co.uk/Anaconda-Bulge-Wave-Power-Generator.htm>
- [5] Archimedes Wave Swing. *CADDET: renewable energy* [online]. [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://www.caddet-re.org/html/496art3.htm>
- [6] AWS Point Absorber. *Northwest National Marine Renewable Energy Center* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://nnmrec.oregonstate.edu/aws-point-absorber>
- [7] BERNITSAS, MICHAEL M a KAMALDEV RAGHAVAN. FLUID MOTION ENERGY CONVERTER. Dostupné také z: http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20081204&CC=US&NR=2008295509A1&KC=A1
- [8] BioPower buoyed by Chinese pact. *Renews* [obrázek] [online]. [cit. 2014-12-1]. Dostupné z: <http://renews.biz/26204/biopower-buoyed-by-chinese-pact/>
- [9] BioWAVE. BIOPOWER SYSTEMS. *Bio Power Systems* [online]. 2013 [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <http://www.biopowersystems.com/biowave.html>
- [10] Bretagne. Energie marine : qu'est ce que le Waveroller?. *Breizh info* [obrázek] [online]. [cit. 2014-12-1]. Dostupné z: <http://www.breizh-info.com/19472/actualite-economique/bretagne-energie-marine-quest-ce-que-le-waveroller/>
- [11] Current Research Projects: Electric power generation from waves. *Uppsala universitet* [online]. 2013 [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: http://www.el.angstrom.uu.se/forskningsprojekt/WavePower/vagkraft_E.html
- [12] E. MCCORMICK, Michael. *Ocean Wave Energy Conversion* [online]. Courier Corporation, 17.6.2013, s. 256 [cit. 2015-03-12].]
- [13] EU-støtte til norsk bølgekraft. *TU* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.tu.no/nyheter/energi/2006/01/26/eu-stotte-til-norsk-bolgekraft>
- [14] FALCÃO, António F. *Wave energy utilization: A review of the technologies* [online]. 1049-001 Lisbon, Portugal, 22 October 2009 [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002652>. Technical University of Lisbon.
- [15] FALNES, Johannes. *A review of wave-energy extraction* [online]. 7491 Trondheim, Norway, June 2007 [cit. 2014-11-19]. Dostupné

- z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951833907000482>. Norwegian University of Science and Technology.
- [16] Get to Know Islay Limpet Wave Energy in the United Kingdom. *Alternativeenergysourcesinfo.com* [online]. [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.alternativeenergysourcesinfo.com/limpet-wave-energy.html>
- [17] HALE, Matthew. Wave Power Generation Salter's Duck. STUDENT SUBDOMAIN FOR UNIVERSITY OF BATH. *Personal Home Pages* [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://people.bath.ac.uk/mh391/WavePower/saltersduck.html>
- [18] HARMAN JAYDEN, DAVID. PAX SCIENT INC. *FLUID CIRCULATION SYSTEM* [patent]. patent, WO2005045258 (A1). Uděleno 2005-05-19. Dostupné z: http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=5&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20050519&CC=WO&NR=2005045258A1&KC=A1
- [19] How it works. *Oceanlinx* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-25]. Dostupné z: <http://www.oceanlinx.com/technology/how-it-works>
- [20] How Wave Energy Works. *Howstuffworks* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://science.howstuffworks.com/environmental/earth/oceanography/wave-energy2.htm>
- [21] Hydrodynamics and Kites: Where wind meets water, flying through the barrier.... *Kitelife* [online] [obrázek]. [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://kitelife.com/kl-archive/issue-81-hydrodynamics-and-kites/>
- [22] Le danois Wave Star s'intéresse aux vagues françaises. *Greenunivers* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.greenunivers.com/2012/12/le-danois-wave-star-sinteresse-aux-vagues-francaises-90185/>
- [23] Le SEAREV en images. *Energiebleue* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://energiebleue.e-monsite.com/album/le-searev-en-images/>
- [24] Mighty Whale. *NSTL energy* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://energy.nstl.gov.cn/MirrorResources/4684/myt.html>
- [25] OPT and Mitsui cooperate to commercialise PowerBuoy wave energy technology. *Power-technology* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://www.power-technology.com/news/newsopt-and-mitsui-cooperate-to-commercialize-powerbuoy-wave-energy-technology>
- [26] PAX SCIENT INC. *VORTEX RING GENERATOR* [patent]. patent, IL162637 (A). Uděleno 2007-10-31. Dostupné z: http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=4&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20071031&CC=IL&NR=162637A&KC=A
- [27] PAX SCIENTIFIC. *Ask Nature: PRODUCT* [obrázek] [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://www.asknature.org/product/5e4986eccffedd9f40937a038aa92cf2>
- [28] Pelamis Technology. PELAMIS WAVE POWER LTD. *Pelamis Wave Power* [online]. [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: <http://www.pelamiswave.com/pelamis-technology>
- [29] Pelamis Technology. *Pelamis Wave Power* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: www.pelamiswave.com/pelamis-technology
- [30] Pelamis Wave Power. *Kresala* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: <http://kresalaenergia.wordpress.com/2012/01/26/pelamis-wave-power/>
- [31] POWER FROM WAVES - 2. *Technologystudent* [obrázek] [online]. [cit. 2014-12-1]. Dostupné z: <http://www.technologystudent.com/energy1/tidal6.htm>

- [32] Prestigious scholarship on offer. *AMC: Australian Maritime College* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-25]. Dostupné z: www.amc.edu.au/news/prestigious-scholarship-offer
- [33] Principles. *Wave Dragon* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=5
- [34] RYAN, V. POWER FROM WAVES - 2. *A DESIGN AND TECHNOLOGY SITE* [online]. 2005 [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <http://www.technologystudent.com/energy1/tidal6.htm>
- [35] Seabased AB. SEABASED AB. *SEABASED* [online]. 2013 [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://www.seabased.com/en/about-seabased>
- [36] SEAREV or How to Control Wave Energy. DESESSARD, Jean-François. *Bulletins-electroniques.com* [online]. eTech France, 29.11.2007 [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/52074.htm>
- [37] *Tapered Channel Wave Energy* [online]. 2010 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://taperedchannelwaveenergy.weebly.com/>
- [38] Technology: How it works. *Oceanlinx* [online]. [cit. 2014-11-25]. Dostupné z: <http://www.oceanlinx.com/technology/how-it-works>
- [39] The Mighty Whale. CADDET JAPANESE NATIONAL TEAM. *CADDET: renewable energy* [online]. 1999 [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.caddet-re.org/html/technical.htm>
- [40] *The University of Edinburg* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.mech.ed.ac.uk/research/wavepower>
- [41] V. THURMAN, Alan a P. TRUJILLO. *Essentials of oceanography*. 2001, 8. kapitola, Waves and Water Dynamics. 7. edice.
- [42] VICINANZA, Diego, Lucia MARGHERITINI, Jens Peter KOFOED a Mariano BUCCINO. The SSG Wave Energy Converter: Performance, Status and Recent Developments. *Energies* [online]. 2012, vol. 5, issue 12, s. 193-226 [cit. 2014-11-28]. DOI: 10.3390/en5020193. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1073/5/2/193/>
- [43] Vortex Hydro Energy – VIVACE. *Datawave Marine Science* [online] [obrázek]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://dmsonline.us/vortex-hydro-energy-vivace/>
- [44] WAVE DRAGON. *Wave Dragon* [online]. 2005 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.wavedragon.net/>
- [45] Wave Energy Devices. *City University of Hong Kong* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: http://www6.cityu.edu.hk/see_mer/wave-devices.htm
- [46] WAVE ENERGY: Aquabuoy 2.0 Wave Power Generator. CHAPA, Jorge. *Inhabitat* [online]. 10.8.2007 [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://inhabitat.com/wave-energy-aquabuoy-20-wave-power-generator/>
- [47] Wave Power Generation OSPREY. *Personal Home Pages* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-24]. Dostupné z: <http://people.bath.ac.uk/mh391/WavePower/osprey.html>
- [48] Wave Power Project - Lysekil. *Uppsala Universitet* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: http://www.el.angstrom.uu.se/forskningsprojekt/WavePower/Lysekilprojektet_E.html
- [49] Wave power. *The Why Files* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://whyfiles.org/2012/wave-power/>

- [50] WAVE STAR A/S. *Wave Star* [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://wavestarenergy.com/>
- [51] Wave. *Murdoch University* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: www.see.murdoch.edu.au/resources/info/Tech/wave/
- [52] Wave: Water. *Encyclopedia Britannica* [online] [obrázek]. [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/637799/wave>
- [53] Wavebob - Wave Energy Converter. *Environmental expert* [online]. [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://www.environmental-expert.com/products/wavebob-wave-energy-converter-61420>
- [54] WaveBob. *Maryland Clean Energy Center* [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: http://mdcleanenergy.org/find/spotlight_profiles/wavebob
- [55] WAVEC. *OWC PICO POWER PLANT* [online]. 2006 [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.pico-owc.net/>
- [56] WaveRoller concept. AW-ENERGY OY. *WaveRoller* [online]. 2010 [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <http://aw-energy.com/about-waveroller/waveroller-concept>
- [57] Wavestar. *Sohansen* [obrázek] [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: http://www.sohansen.dk/wp-content/uploads/2012/04/web-03-34-Wavestar_500-kW.jpg
- [58] Wind, Waves & Weather. *Scuba Diving: New Jersey & Long Island New York* [online] [obrázek]. [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: http://njscuba.net/biology/misc_waves_weather.html