

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte

Enerģētikas institūts

**Jānis BERIŅŠ**

Doktora studiju programmas „Enerģētika un elektrotehnika” doktorants

**OKEĀNA UN JŪRAS VIĻŅU ENERĢĒTIKAS  
IESPĒJAS UN ATTĪSTĪBA**

**Promocijas darbs**

Zinātniskais vadītājs

profesors *Dr. habil. sc. ing.*

**ANTANS SAUĻUS SAUHATS**

**RTU Izdevniecība**

**Rīga 2019**



Šis darbs ir izstrādāts ar Eiropas Reģionālās attīstības fonda atbalstu projektos „Vērpjošu un rotējošu viļņu enerģijas pārveidošanas iekārtu pētniecība” un „Viļņu enerģētikas nozares perspektīvu izpēte”.

This work has been supported by the European Regional Development fund within projects „Research of Spining and Turning Wave Energy Devices” and „Research of Wave Energy Branch”.



## **PATEICĪBA**

Promocijas darbs izstrādāts Rīgas Tehniskās Universitātes Enerģētikas un Elektrotehnikas fakultātē.

Autors izsaka pateicību par norādījumiem, padomiem un vērtīgu kritiku Dr. habil. Sc. ing. Prof. A. Sauhata kungam.

Īpaša pateicība manam tēvam Alfrēdam Beriņam par viļņu enerģijas apgūšanas aktualizēšanu un brālim Jurim Beriņam par patiesu ieinteresētību un nesavtīgu darbu viļņu enerģijas apgūšanas izpētē kā arī par sistemātisku un skorpulozu pieeju izvirzīto problēmu risināšanā.

Izsaku pateicību SIA „SensoTech” komandai, it īpaši Savlim Rogam un Lindai Rogai par ar promocijas tēmu saistītu manis vadīto projektu finansēšanu un administrēšanu.



## ANOTĀCIJA

Darbs ir par okeāna un jūras viļņiem, kā enerģētikas apakšnozari, to iespējamo lomu un attīstību.

Tajā ir aprakstīti viļņu enerģijas potenciāla pētījumi Pasaulē Baltijā un Latvijā. Veikts Baltijas jūras Latvijas Ekskluzīvajā Ekonomiskajā zonā viļņu enerģijas potenciāla novērtējums pēc speciāli šim nolūkam izstrādātas metodes.

Veikts apskats par Pasaulē notiekošo iekārtu izstrādņu jomā. Izvirzīti kritēriji viļņu enerģijas pārveidošanas iekārtas izvēlē. Veikta iespējamās spēkstacijas iekārtas tipa izvēle.

Izveidota laboratorija pārveidotāju izmēģinājumiem, izstrādāts izvēlētās iekārtas modelis, aprakstīti laboratorijas un nepieciešamā mērīšanas tehnikas un tehnoloģijas izveide un iekārtas modeļa izmēģinājumu rezultāti.

Veikts tehniski ekonomiskais aprēķins jūras viļņu spēkstacijai uz novērtētā viļņu potenciāla un izstrādātā viļņu enerģijas pārveidotāja pamata ar pagaidām dažu iztrūkstošu datu pieņēmumiem.

Nosprausti uzdevumi nākotnes darbam.



## **ANNOTATION**

Work is about the ocean and sea waves, as the energy sub-sector, their potential role and development.

It describes wave energy potential research in the world in the Baltics and in Latvia. An assessment of the wave energy potential of the Baltic Sea in the Latvian Exclusive Economic zone has been carried out according to a method specifically designed for this purpose.

An overview of the developments in the world of equipment is being reviewed. Criteria for choosing a wave-energy conversion device are outlined. A choice of possible type of transformer for wave power plant has been made.

Laboratory for transducer testing was developed, the model of the selected equipment was developed, the laboratory and the required measuring techniques and technology were developed, and the results of the testing of the equipment model were described.

The wave power plant technical feasibility study has been carried out on the basis of the valuated wave power potential and developed wave energy converter, with the presumption of some missing data.

Challenging tasks for future work has been carried out.



# SATURS

PATEICĪBA.....	3
ANOTĀCIJA.....	4
ANNOTATION.....	5
SATURS.....	6
ATSLĒGVĀRDI.....	9
ABVEATŪRU UN AKRONĪMU SARAKSTS.....	10
TABULU SARAKSTS.....	17
ATTĒLU SARAKSTS.....	19
IEVADS.....	22
Darba aktualitāte, problēmas nostādne.....	24
Darba mērķi un uzdevumi.....	27
Pētījuma līdzekļi un metodes.....	28
Darba rezultāti.....	28
Darba zinātniskā novitāte.....	29
Darba praktiskais lietojums.....	29
Darba struktūra.....	29
Darba aprobācija.....	30
Konferences.....	30
Publikācijas.....	30
Patenti.....	31
1. VIĻŅU ENERĢIJAS POTENCIĀLA PĒTĪJUMI, RAKSTUROJOŠIE	
PARAMETRI UN APRĒĶINS.....	32
1.1. Viļņu enerģijas potenciāla pētījumi Pasaulē Baltijā un Latvijā.....	32
1.1.1. Pasaulē.....	32
1.1.2. Baltijas jūras reģionā.....	33
1.1.3. Latvijā.....	35
1.2. Viļņu enerģijas potenciāla aprēķinu metodika Pasaulē, Baltijā un Latvijā.....	36
1.3. Baltijas jūras Latvijas EEZ viļņu enerģijas potenciāla novērtēšanas metode.....	37
1.4. Baltijas jūras Latvijas EEZ viļņu enerģijas potenciāla aprēķins.....	42
1.4.1. Viļņu potenciāla galvenie ieejas parametri un aprēķinu rezultāti.....	42
1.4.2. Aprēķinā lietoto viļņu sākuma datu apraksts.....	44
1.4.3. Viļņu enerģijas potenciāla aprēķina rezultāti... ..	46
1.4.3.1. Viļņu enerģijas sezonālā atkarība no	



viļņu augstuma un perioda (pa mēnešiem).....	46
1.4.3.2. Viļņu jaudu aprēķini.....	48
1.4.3.3. Viļņu sadalījums pa garumiem.....	49
1.4.3.4. Enerģiju sadalījums pa mēnešiem un virzieniem.....	50
1.4.3.5. Papildus kontrolpunktu matemātiskās modelēšanas rezultāti.....	53
1. Nodaļas kopsavilkums.....	54
2. ENERĢIJAS PĀRVEIDOŠANAS IEKĀRTAS IZVĒLE .....	56
2.1. Iekārtu apskats.....	56
2.2. Iekārtu klasifikācija.....	59
2.3. Pārveidotāja modelis.....	62
2.3.1. Viļņu pārveidošanas iekārtas blokshēma.....	62
2.3.2. Apskatītās tehnikas analīze.....	63
2.3.3. Izvēlētās tehnikas pamatojums.....	65
2. nodaļas kopsavilkums.....	66
3. LABORATORIJA UN VIĻŅU PĀRVEIDOŠANAS IEKĀRTAS IZMĒĢINĀJUMI.....	67
3.1. Laboratorijas apraksts.....	67
3.1.1. Viļņu ģenerators.....	67
3.1.2. Viļņu pārveidošanas modeļa instalācijas aprīkojums....	70
3.1.3. Viļņu parametru mērīšanas un datu arhivēšanas aprīkojums.....	70
3.1.4. Datorprogrammas.....	73
3.1.4.1. Lāzera stara koordināšu noteikšanas attēla apstrādes programma.....	73
3.1.4.2. WEB-kameras attēla datu fiksēšanas programma.....	74
3.1.5. Viļņu slāpētājs.....	75
3.2. Pilotprojekta īstenošana.....	76
3.2.1. Pilotprojekta modeļa risinājums.....	76
3.2.2. Pilotprojekta īstenošanas metodes izvēle.....	77
3.2.3. Izmēģinājumi.....	79
3.2.4. Modelēšanas rezultāti.....	90
3. nodaļas kopsavilkums.....	96
4. VIĻŅU SPĒKSTACIJU OPTIMIZĀCIJA.....	98
4.1. JVS optimizācijas uzdevuma nostādne.....	98



4.2.JVS tehniski ekonomiskais novērtējums Baltijas jūras Latvijas EEZ.....	100
4.3. Rezultāti.....	107
4. nodaļas kopsavilkums.....	110
5. DARBS NĀKOTNĒ.....	111
SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI.....	112
PIELIKUMI.....	116
1. Viļņu pārveidošanas iekārtu apskats.....	117
IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI.....	172



## ATSLĒGVĀRDI

Nr. p. k.	Latviešu valodā	Angļu valodā
1.	Klimata izmaiņas	Climate Changes
2.	Atjaunojamie enerģijas avoti	Renewables
3.	Viļņu enerģija	Wave Energy
4.	Pelnīt spēja	Profitability
5.	Efektivitāte	Effectiveness
6.	Viļņu enerģijas pārveidotājs	Wave Energy Converter



## ABVEATŪRU UN AKRONĪMU SARAKSTS

Nr. p. k.	Abviatūras un akronīmi	Latviešu valodā	Angļu valodā
1.	EEZ	Ekskluzīvā ekonomiskā zona	Exclusive Economic Zone
2.	JVS	Jūras/okeānu viļņu spēkstacija	Sea/Ocean Wave Powerstation
3.	T	Viļņa periods (s)	Wave Period (s)
4.	H	Viļņu augstums (m)	Wave Height (m)
5.	SWAN	Viļņu parametru aprēķināšanas programmas nosaukums	Name of the Wave Parameter Calculation Program
6.	VEVPP	Viļņu enerģijas virzienu pamatlīniju projekcijas metodes nosaukums	The name of the Projection Method for the Baseline Waves of Energy Directions
7.	TRL	Projekta gatavības līmenis	Project Readiness Level
8.	$P_{vid}$	Vidējā jauda (W)	Average Power (W)
9.	EPRI	Elektriskās Strāvas Izpētes institūts	Electric Power Research Institute
10.	mwd	Dominējošais viļņu virziens (°)	Mean Wave Direction (°)
11.	$T_z = T_e$	Viļņu vidējais periods (s)	Wave Average Period (s)
12.	swh	Zīmīgais viļņu augstums (m)	Significant Wave height (m)
13.	DMI	Dānijas Meteoroloģijas institūts	Danish Meteorologic Institute
14.	MS Excel	Programmatūras nosaukums	Soft's name
15.	$J_{vid}$	Enerģijas blīvums ( $Ws/m^2$ )	Energy Density ( $Ws/m^2$ )
16.	$\rho$	Ūdens blīvums ( $kg/m^3$ )	Water Density ( $kg/m^3$ )
17.	g	Brīvās krišanas paātrinājums $9,81 m/s^2$	Free Fall Acceleration $9.81 (m/s^2)$
18.	$f$	Viļņu frekvence (Hz)	Wave frequency (Hz)
19.	$S(f)$	Viļņu enerģijas spektra funkcija	Wave Energy Spectrum Function
20.	$m_0$	0-tais spektrālais moments	0th Spectral Moment
21.	$H_{m0} = H_s$	Raksturīgo viļņu augstums (m)	Significant Wave Height (m)



22.	$c_g$	Viļņu grupas ātrums (m/s)	Speed of Wave Group (m/s)
23.	$\pi$	Riņķa līnijas konstante	Circular Line Constant
24.	$c_f$	Viļņu fāzes ātrums (m/s)	Wave Phase Speed (m/s)
25.	ZA	Ziemeļaustrumi	Northeast
26.	DA	Dienvidastrumi	Southeast
27.	DR	Dienvidrētumi	Southwest
28.	ZR	Ziemeļrietumi	Northwest
29.	Z	Ziemeļi	North
30.	D	Dienvidi	South
31.	A	Austrumi	East
32.	R	Rietumi	West
33.	IF	Funkcija "Ja"	Function "If"
34.	$H_{si}$	Zīmīgais viļņu augstums i-tajā laika intervālā $\Delta t$ (m)	Significant Wavelength in the i-th Time Interval $\Delta t$ (m)
35.	$T_{ei}$	Viļņu enerģijas blīvuma spektra vidējais enerģijas periods (s)	Wave Energy Density Spectrum Average Energy Period (s)
36.	$\dot{E}_g$	Gada viļņu enerģijas potenciālu 1m platam vilnim (kWh)	Annual Wave Energy Potential for 1m Wide Wave (kWh)
37.	$\Delta L$	Pamat līnijas projekcijas nogrieznis	Basic Line Projection Edge
38.	m,m +1utt.	Kontrolpunktu kārtas skaitļi	Control Point Numbers
39.	$T_p$	Viņu periods, kuram spektrā atbilst maksimālā enerģija (s)	Wave Period to Which Spectrum Corresponds the Maximum of Energy (s)
40.	$\theta_{vid}$	Viļņu izplatīšanās virziena vidējais leņķis (°)	Average Angle of Wave Propagation Direction (°)
41.	$m_2$	Rotācijas inerce	Rotational Inertia
42.	DPD	Dominējošais viļņu periods (s)	Dominant Wave Period (s)
43.	Lat	Ģeogrāfiskais platums	Geographic Latitude
44.	Lon	Ģeogrāfiskais garums	Geographic Length
45.	$Z_0$	Metodes apzīmējums	Designation of the Method
46.	CAPEX	Kapitāla izmaksas (EUR)	Capital Costs (EUR)
47.	OPEX	Uzturēšanas izmaksas (EUR)	Maintenance Costs (EUR)
48.	LCOE	Enerģijas vidējās izmaksas (EUR)	Average Energy Costs



			(EUR)
49.	vjl.	Vidējais jūras līmenis	Average Sea Level
50.	AC	Mainstrāva	Alternating Current
51.	DC	Līdzstrāva	Direct Current
52.	TRL	Izmēģinājuma gatavības līmenis	Trail Rediness Level
53.	TA	Tehniskās apkopes	Maintenance
54.	R	Remonti	Repairs
55.	PL	Pašregulējošā lāpstiņa	Self-adjusting Blade
56.	A	Bāzes attālums (m)	Base distance (m)
57.	H <sub>0</sub>	Attālums starp kameru un ūdens nulles līmeni (m)	Distance Between Camera and Zero Water Level (m)
58.	APRLHK	Aksiāla pašregulējošu lāpstiņu hidrokinētiskā turbīna	Axial Self-regulating Blade Hydrokinetic Turbine
59.	G	Gultnis	Bearing
60.	SP	Spriegotāj-gumijas	Retainer Rubber
61.	SK	Skriemelis	Vertebra
62.	A	Ass	Axis
63.	p <sub>x0</sub>	Pikseļa lineārais horizontālais izmērs līmenī H <sub>0</sub>	Pixel Linear Horizontal Size at H <sub>0</sub> Level
64.	X <sub>0</sub>	Nobīde	Offset
65.	H <sub>0</sub>	Ūdens 0- līmenis	Water Level 0
66.	f	Funkcija	Function
67.	x	Koordinātu sistēmas horizontālā komponente, kura perpendikulāra viļņu platumam	Horizontal Component of the Coordinate System, which is Perpendicular to the Wavewidth
68.	y	Koordinātu sistēmas horizontālā komponente, kura paralēla viļņu platumam	Horizontal Component of the Coordinate System Parallel to the Wavewidth
69.	z	Koordinātu sistēmas vertikālā komponente	Vertical Component of the Coordinate System
70.	t	Laiks (s)	Time (s)
71.	EXEL LINEST	Massīva funkcija	Massive function
72.	Δt	Regulārais interācijas solis	Regular Interactive Step
73.	k	Interpolācijas loga numurs	Interpolation Window Number
74.	D <sub>k</sub>	Intervāla nobīde interpolācijas logā	Interval Offset in



		robežkropļojumu novēršanai	Interpolation Window to Prevent Distortion
75.	w	Ūdens daļiņas leņķiskais ātrums (rad.)	Angular Velocity of Water Particles (rad.)
76.	F	Spēks (N)	Power (N)
77.	r	Rādiuss (m)	Radius (m)
78.	M	Moments (Nm)	Moment (Nm)
79.	v	Ātrums (m/s)	Speed (m/s)
80.	P	Jauda (W)	Power (W)
81.	$P_{vid}$	Vidējā jauda (W)	Average Power (W)
82.	$P_{abs}$	Absorbētā jauda (W)	Absorbed Power (W)
83.	$P_{(AK)}$	Koriģētā jauda pirms slogotas turbīnas (W)	Adjusted Power Before Loaded turbine (W)
84.	R	Bremzēšanas slodzes pielikšanas plecs (m)	Brake Loading Lever (m)
85.	$\eta$	Lietderības koeficients (%)	Efficiency Coefficient (%)
86.	P	Bremzēšanas jauda (W)	Braking Power (W)
87.	ST	Sadales tīkli	Distribution Networks
88.	OD	Optimizācijas datorprogramma	Optimization Computer Program
89.	NPV	Netto pašreizējā vērtība	Nett Present Value
90.	IRR	Iekšējā atdeves likme	Internal Rate of Return
91.	F	Nākotnes maksājumi (EUR)	Future payments (EUR)
92.	i	Diskonta procents (%)	Discount rate (%)
103.	n	Naudas plūsma	Cash Flow
104.	$I_t$	Investīciju izdevumi gada laikā t (EUR)	Investment Expenses During the Year t (EUR)
105.	$M_t$	Vadības un uzturēšanas izdevumi gada laikā t (EUR)	Management and Maintenance Expenses During the Year t (EUR)
106.	$F_t$	Enerģijas avota izdevumi gada laikā t (EUR)	Source of Energy Costs During the Year t (EUR)
107.	$E_t$	Enerģijas apjoms gadā t (MWh)	Volume of Energy per Year t (MWh)
108.	r	Diskonta likme (%)	Discount Rate (%)
109.	n	Amortizācijas laiks (gadi)	Depreciation Time (years)
110.	$R_t$	Naudas plūsma ar diskontu (EUR)	Cash flow at a discount



			(EUR)
111.	$A_t$	Naudas plūsma ar kredītu (EUR)	Cash flow With Credit (EUR)
112.	$E_{jvs}$	Viļņu spēkstacijas efektivitāte	Wave Power Station Efficiency
113.	$W(t)$	Viļņu jaudas maiņa laika gaitā (W)	Wave power Change Over Time (W)
114.	$C(t)$	Spēkstacijas produkcijas maiņa laika gaitā (EUR)	Change in Power Plant Output Over Time (EUR)
115.	$P$	Optimizācijas parametri un struktūras	Optimization Parameters and Structure
116.	$E$	Matemātiskā cerība	Mathematical hope
117.	$\lambda$	Aktuālais viļņa garums (m)	Actual Wavelength (m)
118.	$\eta$	Lietderības koeficients	Efficiency Rate
119.	$\Pi_T$	Turbīnas izmantošanas koeficients	Turbine Use Coefficient
122.	$E_v$	Viļņu enerģija	Wave Energy
123.	$P_v$	Viļņu jauda	Wave Power
124.	$P_T$	Elektriskā jauda	Electrical Power
125.	$E_{EL}$	Elektroenerģija	Electrical Energy
126.	JTP	Jūras Telpiskais plānojums	Maritime Spatial Planning
127.	R	Remonti	Repair
128.	TA	Tehniskās apkopes	Maintenance
129.	HES	Hidroelektrostacija	Hydroelectric Power Station
130.	$E_k$	Kinētiskā enerģija (Ws)	Kinetic Energy (Ws)
131.	FEM	Gala Elementu metode	Finite Element Method
132..	WEC	Viļņu enerģijas pārveidotājs	Wave Energy Converter
133.	RME	Jūras enerģija	Resolute Marine Energy
134.	1D	Vienas dimensijas (fiksētājs/ierobežotājs)	One Dimension (Lock/Limiter)
135..	EGT1	Tehnoloģiju testa 1. līmenis	“Wave Energy Prize”
136.	EP	Elektroģeneratora piedziņa	Power Generator
137.	EPS	Enerģijas pārveidošanas sistēma	Energy Conversion System
138.	PTO	Enerģijas pārveidošanas sistēma	Energy Conversion System
139.	EPI	Enerģijas pārveidošanas iekārta	Power Transformer
140.	VEP	Viļņu enerģijas pārveidotājs	Wave Energy Converter



141.	DMP	Īpaš-abrivatūra zemūdens viļņu enerģijas tehnoloģijai	Special Abbreviation for Underwater Wave Energy technology
142.	EDS	Elektro dzinējspēks (V)	Electe's Driving Force (V)
143.	OWS	Viļņu svārstību kolonna	Oscilating Wave Surge
144.	FLB	Īpaš-abrivatūra iekārtas nosaukums	Special-abbreviate Device Name
145.	FWEPS	Peldoša viļņu elektrostacija	Float wave electric Power Station
146.	FWG	Peldošs ģenerators	Floating Wave Generator
147.	AWSC	Svārstīgas straumes uztvērējs	Fluctuating Stream Receiver
148.	VEU	Viļņu enerģijas uztvērējs	Wave Power Receiver
149.	QWC	Viļņu svārstību kolonna	Oscilating Water Column
150.	OUK	Oscilējoša ūdens kolonna	Oscilating Water Column
151.	AWS	Aktīvā pietauvošanas sistēma	Active Mooring System
152.	UTS	Saites, atsaītes vai troses stiepšanās raksturlieluma saīsinājums	Abbreviation for Links, Referrals or Routing Characteristics
153.	IPS	Uzņēmuma nosaukuma saīsinājums	Interproject Service AB
154.	ITC	Īru caurules kompresors	Irish Tube Compressor
155.	LOPF	Sviras pārejoša peldošā sistēma	Lever Operated Pivoting Float System
157.	MMR	Mehānisko kustību taisngriezis	Mechanical Motion Rectifier
158.	PTO	Spēka pārveidošana	Power Take-off
159.	MHD	Magnetohidrodinamiskais pārveidotājs	Magnetohydrodynamic Converter
161.	BITWEC	Savienotu cauruļu saišķu viļņu enerģijas terminators	Connected Tube Bundle Waves Energy Terminator
162.	RTB	Ultraskaņas sensors	Run Time Binary
163.	CES	Kombinētā enerģijas sistēma	Combined Energy System
168.	PSP	Pneimatiski līdzsvarota platforma	Pneumatically Stabilized Platform
169.	PACS	Gaisa saņemšanas sistēma	Air receiving System
170.	PSP	Peldoša platforma	Floating Platform
171.	EMEC	Klasifikatora nosaukums	Classifier Name
172.	EUR	Euro	Euro



174.	AWS	Arhimēda viļņa spārns	Archimedes Wave Swing
175.	DECM	Enerģijas pārveidošanas tiešā metode	Direct Energy Conversion method
178.	NAREC	Lielbritānijas Nacionālajā Atjaunojamās Enerģijas centrs	British National Renewable Energy Center
179.	IEA	Starptautiskā Enerģijas aģentūra	International Energy Agency
180.	Java Script	Programmas nosaukums	Name of Software



## TABULU SARAKSTS

Nr. p. k.	Tabulas Nr.	Nosaukums
1.	1.1.	Viļņu enerģijas sadalījums pa Pasaules daļām
2.	1.2.	Viļņu dati
3.	1.3.	Izvēlēto kontrolpunktu koordinātes un akvatorija dziļumi tajos
4.	1.4.	Baltijas jūras Latvijas <i>EEZ</i> viļņu enerģijas potenciāla aprēķinu detalizācija
5.	1.5.	Viļņu īpatnējās enerģijas aprēķinu tabulas epizode no kontrolpunkta P1 2010. gada maijs
6.	1.6.	Viļņu īpatnējās enerģijas atkarībā no $H_{si}$ un $T_e$ kontrolpunktā P1 2010. gada maijs
7.	1.7.	Viļņu īpatnējās enerģijas sadalījums atkarībā no $H_{si}$ un $T_e$ kontrolpunktā P1 2010. gada maijs (%)
8.	1.8.	Viļņu īpatnējās jaudas aprēķina tabulas epizode P1 2010. gada februāris
9.	1.9.	Viļņu īpatnējās jaudas aprēķinu rezultāti atkarībā no $H_{si}$ P1 kontrolpunktā 2010. gada februāris
10.	1.10.	Vidējo viļņu sadalījums pa garumiem kontrolpunktā P1 (Dziļums – 24 m) 2011. gadā
11.	1.11.	Enerģijas aprēķins izejot no kontrolpunktu P5, P6 un P7 datiem
12.	2.1.	Viļņu pārveidošanas iekārtu klasifikācija
13.	2.2.	<i>JVS</i> iekārtas blokshēmas komponentes un funkcijas
14.	2.3.	Viļņu pārveidošanas iekārtu novērtējums pēc to iegremdēšanas vienkāršuma un pozicionēšanu pret <i>mwd</i>
15.	2.4.	Viļņu pārveidošanas iekārtu novērtējums pēc to iespējas fiksēt uztvērēju noteiktā dziļumā un iespējas viļņu spēku pārvērst rotācijas kustībā
16.	3.1.	T-Sync: 1478088690827 Starting with analysis webcam open
17.	3.2.	<i>APRLHK</i> turbīnu izmēģinājuma rezultāti (s), kurās tās veic 10 apgriezienus
18.	3.3.	Turbīnas jaudas aprēķina rezultāti pie dažādām mehāniskām slodzēm
19.	3.4.	Viļņa vidējā jauda, $P_{vid.}$ (W) un absorbētā viļņa jauda $P_{abs.}$ (W) turbīnai bez slodzes
20.	3.5.	Viļņa vidējā jauda (W) un absorbētā viļņa jauda (W) turbīnai ar slodzi
21.	3.6.	Viļņa vidējā jauda (W) un absorbētā viļņa jauda (W) tukšā baseinā



22.	3.7.	Turbīnas ar lāpstiņu profilu Nr. 1 jaudas un lietderības koeficienta aprēķinu rezultāti
23.	4.1.	Viļņu statistika kontrolpunktā $PI$ – enerģijas sadalījums (kW/m) pa vidējām viļņu jaudām
24.	4.2.	Ienākošās viļņu enerģijas $E_v$ atkarība no viļņu vidējās jaudas $P_v$ kontrolpunktā $PI$
25.	4.3.	Elektroenerģijas vairumtirdzniecības cenu prognozes
26.	4.4.	$JVS$ izbūves izmaksu rādītāji
27.	4.5.	Procentu likme, diskonta likme un plānošanas perioda ilgums
28.	4.6.	Baltijas jūras Latvijas $EEZ$ modelētā $JVS$ tehniski ekonomiskā aprēķina rezultāti



## ATTĒLU SARAKSTS

Nr. p. k.	Attēla Nr.	Nosaukums
1.	0.1.	Viļņu enerģijas sadalījuma karte
2.	0.2.	ES atjaunojamās enerģijas ražošana (TWh)
3.	0.3.	Ilustrācija no žurnāla „Power”, 1920
4.	0.4.	Iedzīvotāju skaita izmaiņu ANO prognozes (miljoni cilvēku)
5.	0.5.	Strukturēts enerģijas patēriņš Pasaulē (EJ gadā)
6.	0.6.	Pasaules enerģijas patēriņš, naftas ekvivalenta (miljardi tonnas)
7.	0.7.	Strukturēts Pasaules ogļu patēriņš (naftas ekvivalenta miljardi tonnas)
8.	1.1.	JVS un vēja parku jaudas (%)
9.	1.2.	Viļņu enerģijas blīvuma karte Baltijas jūrā (Wh/m <sup>2</sup> )
10.	1.3.	Baltijas piekrastes vidēja dziļuma viļņu vidējās jaudas vizualizācija pēc Tarmo Soomere un Maris Eelsalu
11.	1.4.	Viļņu enerģijas potenciāla un parastās hidroenerģijas apjomu salīdzinājums dažās Eiropas valstīs
12.	1.5.	DMI viļņu ieejas datu radīšanas shēma
13.	1.6.	Sākotnējā viļņu datu apstrāde un aprēķini
14.	1.7.	Viļņu pamatvirzieni un jūras apgabala „A” pamatlīniju nogriežņi
15.	1.8.	Viļņu gada vidējās enerģijas virzienu projekcijas Baltijas jūras apgabalā „A”
16.	1.9.	Raksturīgo viļņu augstuma definīcijas ilustrācija
17.	1.10.	Ilustratīvs kontrolpunktu izvietojums, kuriem veikti aprēķini
18.	1.11.	Viļņu īpatnējās enerģijas sadalījums laikā kontrolpunktā P5 2010. gada decembris (kWh/m)
19.	1.12.	Jaudu sadalījums pa laikiem 2010. gadā kontrolpunktā P1
20.	1.13.	Vidējo viļņu sadalījums pa garumiem kontrolpunktā P1 (Dziļums – 24m) 2011. gadā ( $x$ ass vērtības jāreizina ar 10)
21.	1.14.	Kontrolpunkta P5 2010. gada enerģiju sadalījums pa mēnešiem (kWh/m)
22.	1.15.	P5, P7 un P6 kontrolpunktu īpatnējo enerģiju (kWh / m) sadalījums pa mēnešiem
23.	1.16.	Vidējais īpatnējās enerģijas potenciāls kontrolpunktā P5 (dziļums – 21m) (2010.–2014.) (kWh/m)
24.	1.17.	Vidējais īpatnējās enerģijas potenciāls kontrolpunktā P6 (dziļums 31m) (2010.–2014.) (kWh/m)



25.	1.18.	Vidējais īpatnējās enerģijas potenciāls kontrolpunktā P7 (Dziļums – 24m) (2010.–2014.) (kWh/m)
26.	1.19.	Kontrolpunktu P5, P6 un P7 gada (Vidēji no 2010.–2014.) īpatnējo enerģiju sadalījums pa virzieniem uz Baltijas jūras Latvijas <i>EEZ</i> grafisks attēls (kWh/m)
27.	1.20.	Baltijas jūras viļņu enerģijas gada īpatnējie viļņu enerģijas vidējie gada potenciāli (2010.–2014.) punktos P1–P19 (kWh/m)
28.	1.21.	Mēnešu vidējie (2010.–2014.) īpatnējās enerģijas potenciāli vidēji pa mēnešiem punktos P1–P19 (kWh/m)
29.	2.1.	Indiānas viļņu enerģijas pārveidotājs ( <i>OWC</i> )
30.	2.2.	4,5m turbīnas vidējās mehāniskās jaudas pie mainīga ātruma
31.	2.3.	4,5m turbīnas vidējā efektivitāte pie mainīga ātruma
32.	2.4.	ITTC viļņu pārveidošanas iekārtu klasifikācija
33.	2.5.	IRENA viļņu pārveidošanas iekārtu klasifikācija
34.	2.6.	<i>JVS</i> iekārtas blokshēma
35.	2.7.	Turbīna ar vertikālu rotācijas asi un <i>PL</i>
36.	2.8.	Ūdens daļiņu kustība ap pašregulējošo lāpstiņu
37.	3.1.	Laboratorijas sastāvdaļu principiālā shēma
38.	3.2.	Viļņu ģenerators
39.	3.3.	Pneimosistēmas kompresors
40.	3.4.	Spiediena regulators
41.	3.5.	Manuāli regulējami ventiļi
42.	3.6.	Sadalītājs
43.	3.7.	Procesors
44.	3.8.	Viļņa modeļu instalācijas aprīkojums
45.	3.9.	Pludiņš
46.	3.10.	Lāzera sensors
47.	3.11.	Datu analizators
48.	3.12.	Lāzera sensora optiskā shēma
49.	3.13.	Lāzera sensora konstruktīvais risinājums
50.	3.14.	Lāzera stara koordināšu noteikšanas attēla apstrādes programmas struktūr-shēmas un valodas apraksts
51.	3.15.	<i>WEB</i> -kameras attēla datu fiksēšanas programmas struktūr-shēmas un valodas apraksts
52.	3.16.	Viļņu slāpētājs
53.	3.17.	<i>APRLHK</i> turbīnas rasējums
54.	3.18.	<i>APRLHK</i> turbīnas uzbūve ( <i>G</i> – gultnis, <i>SP</i> – spriegotāj-gumijas, <i>PL</i> – pašregulējošā lāpstiņa, <i>SK</i> – skriemelis, <i>A</i> – ass)



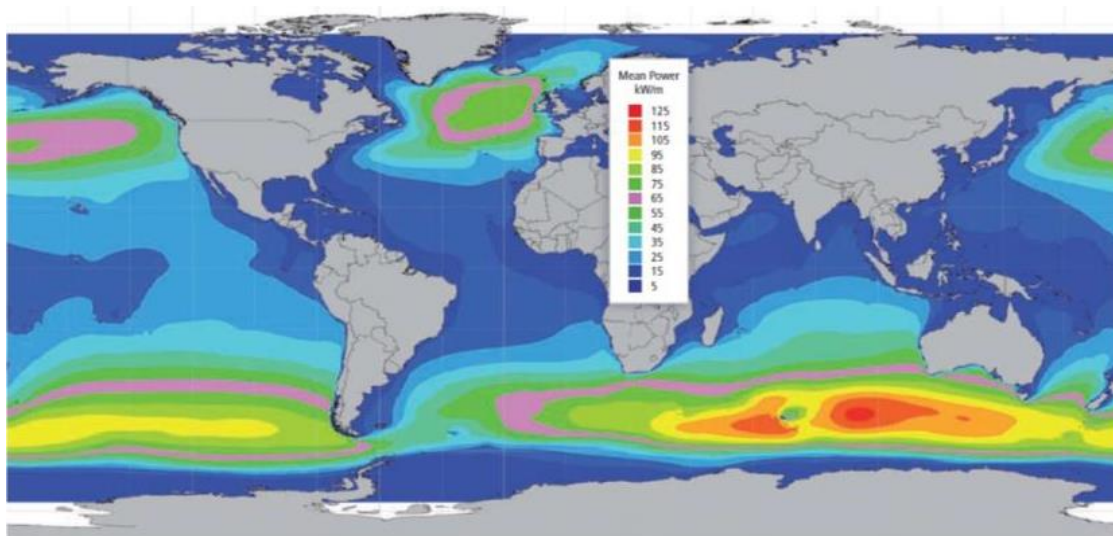
55.	3.19.	<i>PL</i> formas (1– 4)
56.	3.20.	<i>PL</i> formas (5–8)
57.	3.21.	<i>PL</i> formas (9–10)
58.	3.22.	Mobilā telefona hronometrs „ <i>Stopwach</i> ”
59.	3.23.	Nekalibrēti elektroniskie virtuves svāri <i>HD -301 059580</i> , Bīdmērs 12cm +/- 0.1 mm Nr. Y62216, Lentēs mērs <i>ProErgo Dura NY Coat KOMELON PE105 10m</i>
60.	3.24.	Viļņi tukšā baseinā sensora A plaknē
61.	3.25.	Viļņi tukšā baseinā sensora B plaknē
62.	3.26.	Viļņa harmoniku jaudas spektrs tukšā baseinā sensora A plaknē
63.	3.27.	Viļņa harmoniku jaudas spektrs tukšā baseinā sensora A plaknē
64.	3.28.	Viļņi izplatīšanās pārejas process pēc ģenerators ieslēgšanas tukšā baseinā pie sensora A (oranžā līkne) un pie sensora B (zilā līkne)
65.	3.29.	Viļņa enerģijas frekvenču spektrs tukšā baseinā pie B sensora pēc ģenerators ieslēgšanas
66.	3.30.	Viļņa amplitūdas frekvenču spektrs tukšā baseinā pie B sensora pēc ģenerators ieslēgšanas
67.	3.31.	Viļņu procesa analīzes shēma
68.	3.32.	B kameras sākotnējo datu virknes fragmenta grafisks attēlojums
69.	3.33.	Datu virkne pēc apstrādes $P_{x0} = 0.31\text{mm}$ , $A = 166,17\text{mm}$
70.	3.34.	Interpolācijas segmentā slidošais interpolācijas logs
71.	3.35.	Segmentā interpolētās funkcijas piemērs ar regulāru iterācijas soli $\Delta t = 7\text{ms}$
72.	3.36.	<i>APRLHK</i> turbīnu izmēģinājuma rezultāti (s), kurās tās veic 10 apgriezienus
73.	3.37.	Turbīnas jaudas $P$ (W) aprēķina rezultāti pie dažādām slodzēm
74.	3.38.	Turbīnas lietderības koeficienta raksturlielne atkarībā no apgriezienu sakaita
75.	3.39.	Lāpstiņas garākā brīvā mala (Atzīmēta ar sarkanu līniju)
76.	4.1.	<i>JVS</i> Optimizācijas principiālā shēma
77.	4.2.	Īpatnējās viļņu enerģijas $E_v$ (kWh/m) atkarība no īpatnējās vidējās viļņu jaudas
78.	4.3.	Kontrolpunkta P1 pilns viļņu īpatnējās enerģijas $E_v$ (kWh/m) spektrs atkarībā no viļņu īpatnējās jaudas
79.	4.4.	<i>NPV</i> prognoze <i>JVS</i> P1 posmam
80.	4.5.	<i>NPV</i> prognoze <i>JVS</i> P2 posmam
81.	4.6.	<i>NPV</i> prognoze <i>JVS</i> P3 posmam
82.	4.7.	<i>NPV</i> prognoze <i>JVS</i> P4 posmam
83.	4.8.	<i>NPV</i> prognoze <i>JVS</i> P5 posmam
84.	4.9.	<i>NPV</i> prognoze <i>JVS</i> P7 posmam



## IEVADS

Šajā darbā ir aprakstīta to viļņu enerģētikas iespējas un attīstība, kuri tiek saukti par brīvas virsmas gravitācijas viļņiem, novērojami Pasaules ūdeņos. Viļņi ir atjaunojams CO<sub>2</sub> brīvas enerģijas avots, ja neskaita viļņu pārveidošanas un enerģijas pārvades ražošanas procesus. Lietojot vairāk atjaunojamās enerģijas, mazinātos globālās sasilšanas efekts. Pastāv iespēja izmantot to viļņu enerģiju, kura atrodas tuvāk patērētājiem. Ar vien vērienīgāka viļņu enerģijas izmantošana varētu palēnināt globālās sasilšanas efektu. Sakarā ar joprojām pastāvošo nepieciešamību pēc iespējām efektīvāk pārveidot viļņu enerģiju, sabiedrībai būtu jāpievērš vairāk uzmanības šim jautājumam [1]. Viena no aplēsēm par jūras viļņu enerģētikas attīstīšanas iespējām Latvijas Ekskluzīvajā Ekonomiskajā zonā (EEZ) saistās ar vismaz 6,46 TWh gadā lielu viļņu potenciālu [2]. Ir izstrādāts algoritms, kurš balstās uz viļņu un to enerģijas pārveidotāju atstarošanas, refrakcijas, difrakcijas un traucējumu analīzi un viļņu enerģijas pakāpeniskas pārveidošanas principu [3]. Latvijai ar Baltijas jūru ir 480 km gara krasta līnija, kura nodrošina ērtu piekļuvi EEZ ūdeņu viļņu enerģijas potenciālu. Tā izmantošana mazinātu mūsu valsts enerģētikas atkarību no importa, kas šī brīža ģeopolitiskajā situācijā stiprinātu tās pozīcijas.

IPCC pētījuma ziņojumā G. Mork (2010.) [4], [5] prognozē, ka kopējā teorētiskā viļņu enerģija Pasaulē ir 32000 TWh gadā, kas ir aptuveni divreiz vairāk nekā Pasaules elektrības piegāde 2008. gadā (17 000 TWh gadā). (0.1. att.) [4] parādīta viļņu vidējās jaudas sadalījumu karte. Šādam salīdzinājumam ir tikai ilustratīva nozīme, jo jāapzinās, ka viļņu enerģija būs jāpārveido kādā citā enerģijas veidā pirms to varēs izmantot sabiedrības vajadzībām.



0.1. att. Viļņu vidējās jaudas sadalījuma karte kW/m [4].

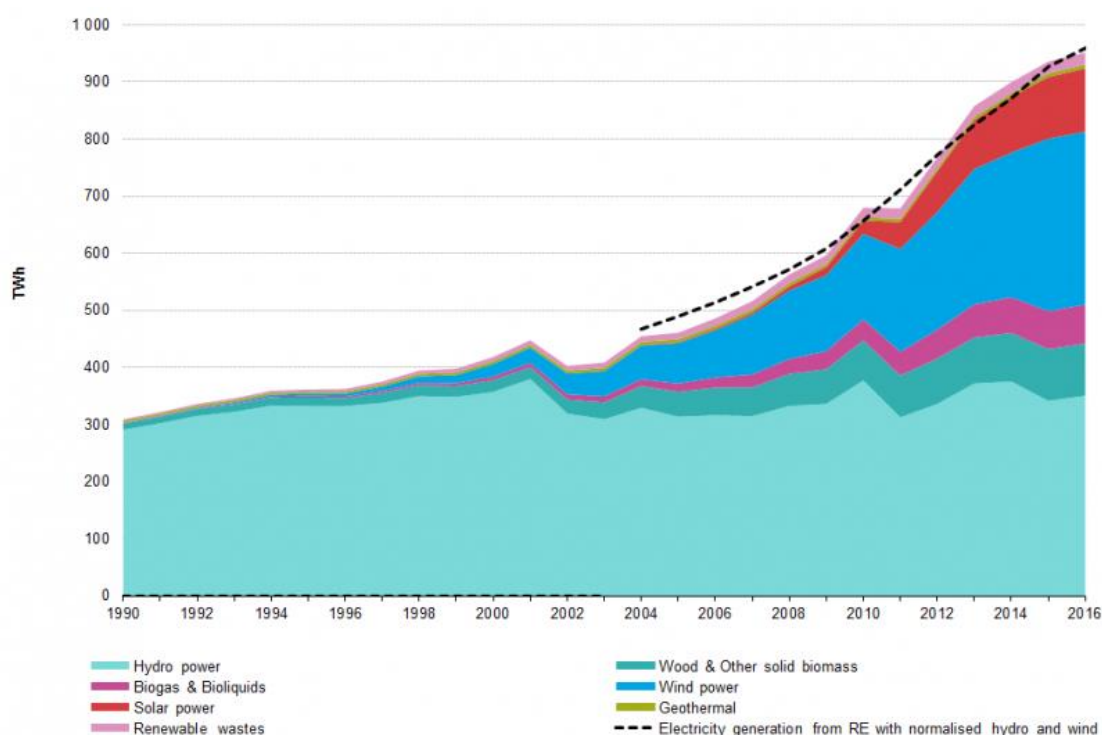
Viļņu enerģija ir atjaunojama, prognozējama, daļa atrodas tuvāk patērētājiem, daļa tālāk. Pastāv iespēja šo enerģiju prognozēt gan īstermiņa – 24h prognoze, gan ilgtermiņā – sezona, jeb gads. Īstermiņa prognozes ir pietiekoši precīzas viļņu inercialitātes dēļ. Tie pieaug pakāpeniski pieaugot vai pastāvot noteiktam vēja ātrumam, un norimst kādu laiku pēc tam, kad vējš ir samazinājies vai beidzies.



Gada prognozes konkrētā akvatorijā iespējamās pateicoties sezonu cikliskumam, ja iepriekš ir veikti statistiski viļņu parametru mērījumi vai ir iespējams veikt to aprēķinus.

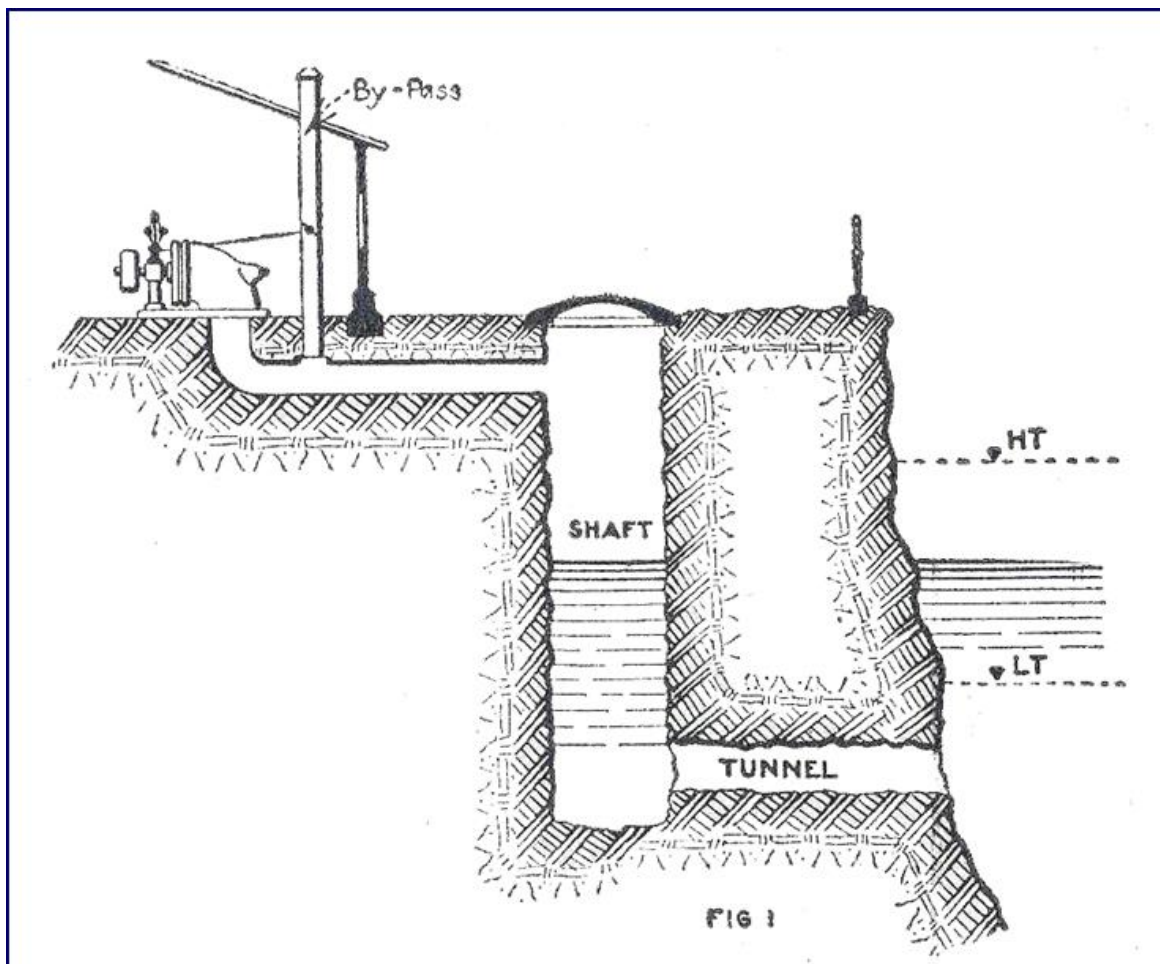
Līdz šim viļņu enerģijas pārveidotais apjoms ir bijis visai simbolisks. Vismaz Pēc *EUROSTAT* datiem ES viļņu enerģijas ražošana netiek uzrādīta (0.2. att.) [6].

Tomēr pirmie viļņu enerģijas pielietojuma apliecinājumi ir notikuši pietiekoši sen – 1910. gadā francūzis Bochauks Praceikue uzbūvēja pirmo oscilējošās ūdens kolonnas iekārtu savas mājas apgādāšanai ar elektroenerģiju (0.3. att.) [7]. 1940. gadā japāņu jūras virsnieks Joshio Masuda izveidoja vairākus simtus jūras navigācijas iekārtas, kurām enerģija tika nodrošināta no pārveidotas oscilējošās ūdens kolonnas [8]. 2004. gadā „Pelamis” projekta ietvaros pirmo reizi vēsturē no viļņiem saražota enerģija tika pieslēgta sadales tīkliem. Dažādu pilotprojektu un izmēģinājumu projektu ietvaros viļņu enerģija ir tikusi izmantota elektroenerģijas ražošanas nolūkos. Viļņu enerģijas izmantošanai jābūt daudz plašākai lai tā kļūtu ekonomiski nozīmīga.



0.2. att. ES atjaunojamās enerģijas ražošana (TWh) [6].





0.3. att. Ilustrācija no žurnāla „Power”, 1920 [7].

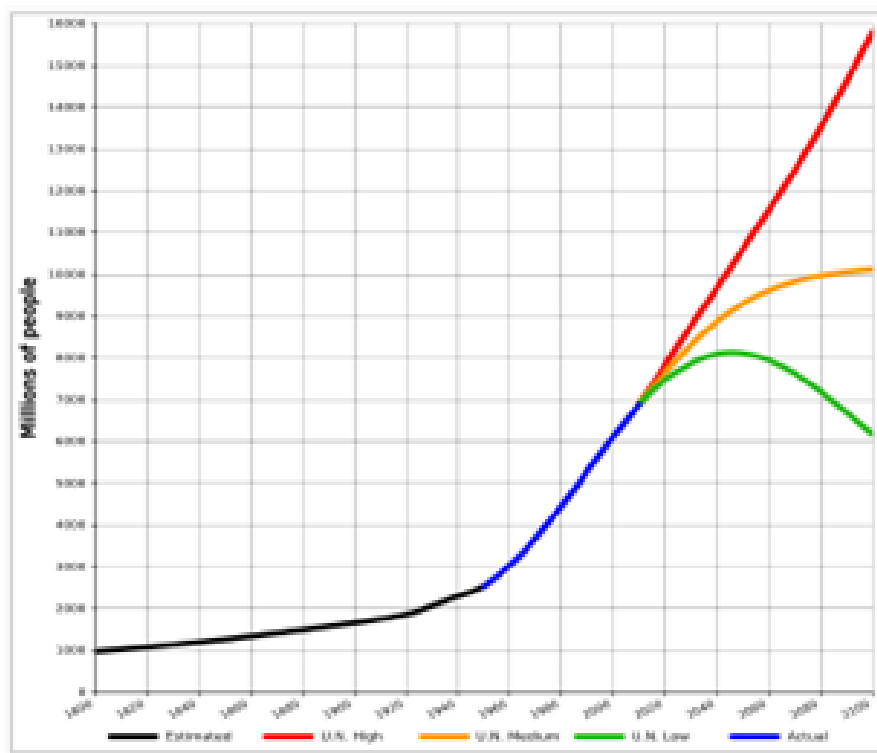
Viļņu enerģija varētu tikt lietota elektroenerģijas ražošanai globāli nozīmīgos apjomos veidojot pieslēgumus no piemērotiem attālumiem starp jūras/okeānu viļņu spēkstacijām (*JVS*) uz patērētāju tīkliem. Attālākos akvatorijos varētu radīt lokālus patērētājus, kuriem nepieciešama līdzstrāva vai maiņstrāva. Abos – gan tuvākos, gan attālākos akvatorijos varētu ražot vakuumu. Abi – gan vakuumu, gan līdzstrāva var būt izmantojami efektīvu transporta sistēmu darbināšanai.

### **Darba aktualitāte, problēmas nostādne**

Pētot gāzu burbulīšu sastāvu polārajos ledājos zinātnieki ir konstatējuši, ka  $\text{CO}_2$  sastāvs tajos mainoties ledus dziļumam periodiski palielinās un samazinās. Analizējot ledus paraugus, ir noskaidrots, ka pasaules temperatūrai ir tendence sekot ogļskābās gāzes saturam atmosfērā. Tāpēc arī tā ir cikliski palielinājusies un samazinājusies. Lietojot ledāju analīzes metodus var secināt, ka pēdējo 800 000 gadu laikā  $\text{CO}_2$  saturs nekad nav bijis lielāks par 280 daļām uz miljoniem molekulu. Tomēr pēdējā laikā šis rādītājs ir sasniedzis 390 daļas, un turpina strauji augt veidojot klimata izmaiņas. Kopš 20. gadsimta piecdesmitajiem gadiem Pasaules temperatūra ir pieaugusi tikai par 0,8 °F (0,44°C), un novērojumi liecina par būtisku dabas katastrofu līmeņa pieaugumu [9]. Tāpēc to uzskata par klimata pārmaiņām.



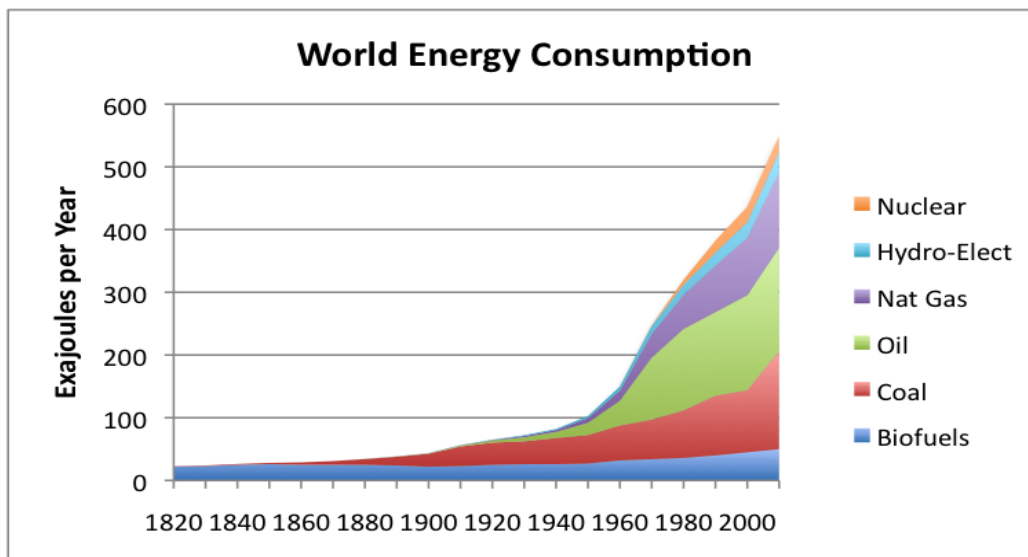
Enerģijas patēriņš pasaulē ir atkarīgs no iedzīvotāju daudzuma un sabiedrības tehniskā attīstības līmeņa. Veicot mehanizāciju, mašinizāciju un automatizāciju visdažādākajās nozarēs sākot no mājāsaimniecībām un beidzot ar rūpniecību un transportu, neizbēgami nepieciešams arvien vairāk enerģijas, pat cenšoties saimnieciskāk to izmantot. Pastāv trīs ANO prognozes par iedzīvotāju skaita izmaiņām (0.4. att.) [10]. Tajā apskatīti trīs scenāriji, no kuriem divos paredzēta prognoze ar intensīvāku iedzīvotāju dabiskā pieauguma samazināšanu un mazāk intensīvu (0.4. att. – atbilstoši zaļā un dzeltenā līknes) [10], bet trešā prognoze paredz, ka tas turpinās pieaugt līdzšinējā dinamikā (0.4. att. sarkanā līkne) [10]. Pasaules iedzīvotāju skaits 200 gadu ilgā laika posmā no 1800. gada līdz 2000. gadam ir pieaudzis aptuveni sešas reizes (0.4. att.) [10].



0.4. att. Iedzīvotāju skaita izmaiņu ANO prognozes (miljoni cilvēku) [10].

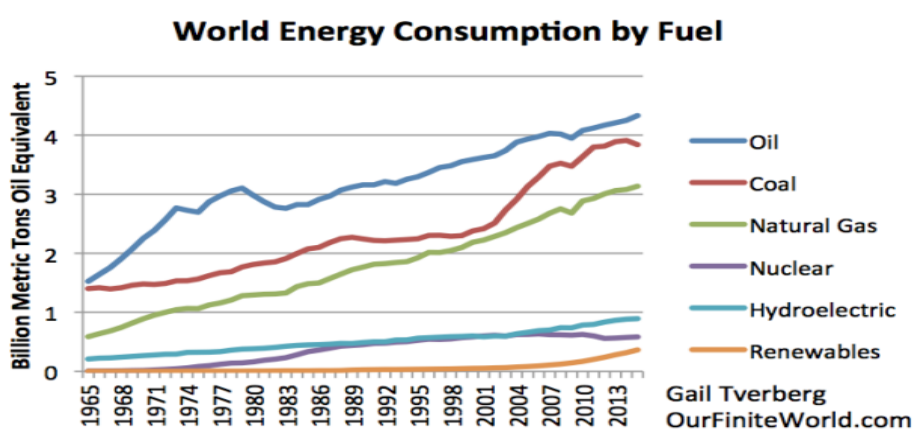
Kopējais enerģijas patēriņš pasaulē 200 gadu laika posmā no 1820. gada līdz 2020. gadam ir pieaudzis aptuveni 22 reizes, un, salīdzinot ar 1820. gadu, ir nākuši klāt arvien jaunu un jaunu enerģijas veidu izmantošana (0.5. att.) [11].





0.5. att. Strukturēts enerģijas patēriņš pasaulē (EJ gadā) [11].

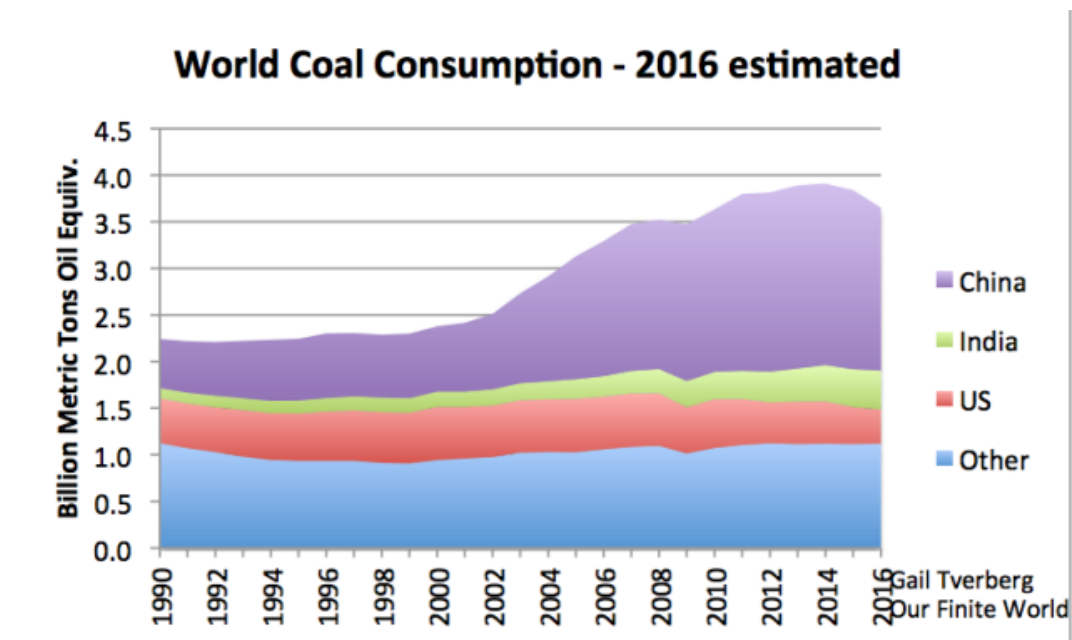
Tādējādi ja ap 1800. gadu vidējais aptuvenais enerģijas patēriņš uz iedzīvotāju ir bijis  $2,5 \times 10^{11}$  J, tad ap 2000. gadu tas jau kļuva  $5,5 \times 10^{12}$  J. Turpinot attīstīties zinātniski tehniskajam progresam, enerģijas patēriņš uz vienu iedzīvotāju varētu vēl vairāk palielināties. Kā redzams ANO pasaules iedzīvotāju skaita prognozēs, atkarībā no tā scenārija, kuram tuvāka izrādīsies patiesība, pasaule nokļūs jaunu enerģijas veidu apgūšanas izaicinājumu priekšā mazāk asā vai asākā formā. Diagrammā (0.5. att.) [11] redzams, ka ievērojama daļa no šobrīd izmantojamiem enerģijas veidiem (dabas gāze, nafta, akmeņogles, kodolenerģija) ir dominējoši kopējā patērētās enerģijas avotu klāstā. Tomēr to atjaunošanās ātrums ir ļoti lēns. Tas nozīmē, ka vēsturiski noteiktā laika posmā šie avoti būs jāaizstāj ar citiem lai nodrošinātu pieaugošo sabiedrības pieprasījumu pēc nepieciešamā enerģijas daudzuma. Satraucoša pazīme ir tā, ka faktiski fosilo enerģijas veidu patēriņš turpina pieaugt straujāk nekā atjaunojamo un nukleārās enerģijas veidu izmantošana (0.6. att.) [11].



0.6. att. Pasaules enerģijas patēriņš (naftas ekvivalenta miljardi tonnas) [11].

Tomēr var jau tagad pamanīt atsevišķas tendences, kuras apliecina situācijas kritiskumu – gan 0.6. att. [11], gan 0.7. att. [11] ir redzams, ka pasaules ogļu patēriņš sāk samazināties.





0.7. att. Strukturēts pasaules ogļu patēriņš (naftas ekvivalenta miljardi tonnas) [11].

Nākotnē palielinoties enerģijas pieprasījumam, un, turpinot izsīkt fosilo enerģijas avotiem, palielināsies atjaunojamo enerģijas avotu nozīme un, līdz ar to, arī šo avotu novērtējums. Jūras un okeānu viļņi ir viens no šādiem enerģijas veidiem. Tāpēc pastāv nepieciešamība radīt jūras un okeāna apstākļiem piemērotu efektīvu viļņu enerģija pārveidošanas iekārtu, un imantot spēkstaciju optimizācijas programmu.

### Darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis – novērtēt viļņu enerģijas apgūšanas iespējas sabiedrībai nozīmīgā līmenī balstoties uz nozares attīstības vēsturi un tās perspektīvām. Dot savu ieguldījumu nozīmīgāko uzdevumu risināšanā.

Darba uzdevumi:

1. Novērtēt viļņu enerģijas potenciālu pasaulē un Latvijas *EEZ*;
2. Definēt viļņu enerģijas pārveidošanas ietekmējošos faktorus;
3. Apzināt, kas notiek pasaulē viļņu spēkstaciju iekārtu izstrādņu jomā;
4. Saklasificēt apskatītās iekārtas;
5. Izvēlēties kādu no iekārtu veidiem un pamatot šo izvēli;
6. Izstrādāt jaunu iekārtas modeli un izmēģināt to laboratorijas vidē;
7. Definēt izstrādātā modeļa attīstīšanas perspektīvas;
8. Dot tehniski ekonomisko novērtējumu viļņu enerģijas izmantošanai uz apskatītā Baltijas jūras Latvijas *EEZ* potenciāla pamata.



## Pētījuma līdzekļi un metodes

Darba pamatošanai, nepieciešamo analīžu, klasifikāciju, aprēķinu veikšanai nepieciešamo vienādojumu iegūšanai izmantoti literatūras avoti. Darbā tika izmantoti *SWAN* modelēšanas programmu aprēķināto viļņu stundas spektru parametru datu bāze. Ar viļņu potenciāla novērtēšanu, ar viļņu stenda eksperimenta rezultātu apstrādi un ar *JVS* tehniski ekonomisko novērtējumu saistīto aprēķinu veikšanai un rezultātu grafisko attēlu iegūšanai tika izmantotai *MS Excel* līdzekļi: rezultātu šķirošana, viendimensiju un divdimensiju histogrammas, loga interpolācija, Furjē ātrā ciparu transformācija. Vizualizācijas rīki tika izmantoti viļņu potenciāla ilgtermiņa darbības virziena attēlošanā ar šim nolūkam izstrādātu viļņu enerģijas virzienu pamatlīniju projekcijas (*VEVPP*) metodi.

Jaunradāmās iekārtas veids tika izvēlēts veicot esošu izgudrojumu apskatu šķirojot (klasificējot) iekārtas pēc noteiktām pazīmēm un izmēģinājumu rezultātu analīzi, un tās modeļa izmēri tika izvēlēti atbilstoši mūsu iespējām laboratorijā. Iekārtas modeļa izmēģināšanai tika lietota eksperimentālā metode. Līdzīga pieeja aprakstīta rakstā „*Coupling Methodology for Studying the Far Field Effects of Wave Energy Converter Arrays over a Varying Bathymetry*” [12], [13], kur gan tiek izmēģinātas citas iekārtas, bet eksperimenta princips saglabājas. Tika izveidota eksperimentālā bāze: Viļņu baseins, viļņu uztvērēja stends ar mēraparatūru viļņu parametru fiksēšanai un apstrādei (dators, lāzermērītāji). Absorbētās viļņu enerģijas noteikšanai tika izmantots “melnās kastes” princips. Modelis tika izmēģināts īpašā turbīnas stendā viļņu laboratorijā. Laboratorijas viļņu parametru ( $H$  un  $T$ ) mērījumi tika iegūti un dati fiksēti veicot automātisku *WEB*-kameru attēla ciparu priekšapstrādi izmantojot īpaši šim procesam radītus rīkus uz Java programmas bāzes.

Viļņu turbīnas modeļa efektivitāte tika novērtēta apstrādājot un analizējot vizuālo informāciju un stenda mērījumu datus.

## Darba rezultāti

Promocijas darba rezultāti izpaužas izvirzīto uzdevumu izpildē:

1. Ir veikta pasaules viļņu enerģijas potenciāla aplēse un Latvijas *EEZ* viļņu potenciāla aprēķini un novērtējums;
2. Ir definēti viļņu enerģijas pārveidošanas ietekmējošie faktori;
3. Ir apskatītas 137 dažādas viļņu spēkstaciju iekārtu tehnoloģiju izstrādes;
4. Ir saklasificētas apskatītās iekārtas;
5. Ir izvēlēts viens iekārtas veids un dots izvēles pamatojums;
6. Ir izveidota viļņu laboratorija, un apzināti tās parametri, kuri ir jāuzlabo;
7. Ir izstrādāts jauns iekārtas modelis, izmēģināts, laboratorijas vidē un iegūti rezultāti;
8. Ir definēti izstrādātā modeļa uzlabojamie parametri;
9. Veikts tehniski ekonomiskais novērtējums iespējamai *JVS* Baltijas jūras Latvijas *EEZ*.



## **Darba zinātniskā novitāte**

Promocijas darba novitāte izpaužas:

1. Pamatota jauna zinātniski-pētnieciskas viļņu laboratorijas struktūra, kura ļauj veikt viļņu pārveidošanas modeļu eksperimentus;
2. Pārbaudītas viļņu laboratorijas iespējas un pierādītas tās priekšrocības un trūkumi, kā arī apzināts kā šos trūkumus novērst/mazināt;
3. Radīti divi strādājoši viļņu hidrokinētiskās turbīnas pašregulējošo lāpstiņu mehānismi;
4. Definēts pašregulējošo lāpstiņu pilnveidošanas uzdevums;
5. Izstrādāta jauna viļņu potenciāla aprēķināšanas metode – viļņu enerģijas virzienu pamatlīniju projekcijas (*VEVPP*) metode.

## **Darba praktiskais lietojums**

Darba praktiskā nozīme ir:

1. Precīzākai viļņa potenciāla novērtēšanai lietot jaunradīto *VEVPP* metodi;
2. Izmantojot sasniegto viļņu pārveidošanas iekārtas modeļa attīstīšanas jomā, turpināt to attīstīt līdz *TRL9* līmenim;
3. Izmantojot sasniegto viļņu laboratorijas jomā, izveidot jaunu laboratoriju ar precīzākiem izmēģinājumu veikšanas rādītājiem;

## **Darba struktūra**

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, piecas nodaļas, secinājumi un priekšlikumi, informācijas avotu saraksts un 1 pielikums. Darba kopapjoms ir 184 lappuses, kurā ietvertas 28 tabulas, 84 attēli, četri pielikumi un 257 izmantotās literatūras avoti.

Pirmajā nodaļā – „Viļņu enerģijas potenciāls un tā izmantošanas ietekmējošie faktori”, ir sniegts literatūras apskats par viļņu enerģijas potenciāla pētījumiem Pasaulē un Baltijā, apskatīti viļņu potenciāla raksturojošie un tā izmantošanas ietekmējošie faktori, kā arī izdarīti secinājumi par situāciju nozarē.

Otrajā nodaļā – „Enerģijas pārveidošanas iekārtas izvēle”, veikts literatūras apskats par šobrīd pasaulē notiekošo viļņu pārveidošanas iekārtu izpēti jomā, pamatota jaunas iekārtas izveides nepieciešamība, kā ir veikta iekārtas izveides izvēle un aprakstīta pilotprojekta iekārta, doti iekārtas modelēšanas rezultāti un pamatota iekārtas novitāte.

Trešajā nodaļā – „Laboratorija un viļņu pārveidošanas iekārtas izmēģinājumi” ir detalizēti aprakstīta laboratorija, kurā tika veikti izmēģinājumi, aprakstītas lietoto datorprogrammu struktūrshēmas, aprakstīta mērīšanas un datu saņemšanas, apstrādes un arhivēšanas shēma, pilotprojekta metodes izvēle un tās pamatojums, aprakstīti veiktie izmēģinājumi, iegūtie rezultāti un izdarītie secinājumi.



Ceturtajā nodaļā – „Viļņu spēkstaciju optimizācija” aprakstīta viļņu spēkstaciju optimizācijas principiālā shēma, optimizācijas uzdevuma nostādne, veikts viļņu spēkstacijas tehniski ekonomiskais novērtējums Baltijas jūras Latvijas *EEZ*, aprakstīti rezultāti, un izdarīti secinājumi.

Piektajā nodaļā – „Darbs nākotnē” ir aprakstīts kādos virzienos turpināsies darbs pie viļņu enerģijas pārveidošanas tēmas.

Nodaļā „Secinājumi un priekšlikumi” ir apkopoti visi pamanītie secinājumi un priekšlikumi, kuri ir radušies darba gaitā.

### **Darba aprobācija**

Galvenie darba rezultāti ir publicēti un divi no tiem ir apspriesti starptautiskās konferencēs. Viļņu pārveidošanas iekārtas modeļa izstrādi un izmēģinājumus, kā arī *VEVPP* metodes izstrādi ir finansējis privātuzņēmums.

### **Konferences**

1. J. Beriņš, J. Beriņš. „Wave Energy Factors and Development Perspective in Latvia”, 56. Enerģētikas un Elektrotehnikas starptautiskā zinātniskā konference, Latvija, Rīga 2015. gada 14. oktobris. (IEEE, Xplore, SCOPUS).
2. J. Beriņš. „Technical Analysis of the Economic Viability of Sea Wave Power Stations”, 57. Enerģētikas un Elektrotehnikas starptautiskā zinātniskā konference, Latvija, Rīga, 2016. gada 14. oktobris. (IEEE, Xplore, SCOPUS).

### **Publikācijas**

Promocijas darba kontekstā Ir publicēti seši raksti par pētāmo disertācijas tēmu:

1. J. Berins, A. Grickus, A. Kalnacs. „Wave Energy Conversion-Overview and Perspectives”. [http://site11936.mozfiles.com/files/11936/Wave\\_enrgy\\_conversion\\_publication\\_2a.pdf](http://site11936.mozfiles.com/files/11936/Wave_enrgy_conversion_publication_2a.pdf) 2015.
2. J. Beriņš, J. Beriņš. „Wave Energy Factors and Development Perspective in Latvia”, 56. Enerģētikas un Elektrotehnikas starptautiskā zinātniskā konference, Latvija, 2015. gada 14. oktobris, (IEEE, Xplore, SCOPUS).
3. J. Beriņš. „Technical Analysis of the Economic Viability of Sea Wave Power Stations”, 57. Enerģētikas un Elektrotehnikas starptautiskā zinātniskā konference, Latvija, Rīga, 2016. gada 14. oktobris. (IEEE, Xplore, SCOPUS).
4. J. Beriņš, J. Beriņš, A. Kalnačs. „Viļņu enerģijas potenciāla noteikšana Latvijas *EEZ*”, Latvijas fizikas un tehnikas žurnāls, 2016. gada Nr. 3.
5. J. Beriņš, J. Beriņš. „New Hydrokinetic Turbine For Free Surface Gravitational Wave Transformation”, Latvijas Fizikas un Tehnikas žurnāls, 2017, Nr. 4.



6. J. Beriņš, J. Beriņš. „Measurements Of Wave Power In Wave Energy Converters Effectiveness Evalution”, Latvijas Fizikas un Tehnikas žurnāls, 2017, Nr. 4.

### **Patenti**

Par promocijas darba tēmu ir saņemts patents:

Patents Nr. LV 14059, Viļņu Enerģijas Pārveidošanas iekārta.



# 1. VIĻŅU ENERĢIJAS POTENCIĀLA PĒTĪJUMI, RAKSTUROJOŠIE PARAMETRI UN APRĒĶINS

## 1.1. Viļņu enerģijas potenciāla pētījumi Pasaulē, Baltijā un Latvijā

### 1.1.1. Pasaulē

Virkne zinātnieku ir pētījuši Pasaules ūdeņu viļņu potenciālu un ieguvuši dažādus rezultātus sākot no 8 000 TWh gadā līdz 80 000 TWh gadā [3].

Pēc G. Mork un citi (2010) [4], [5] pētījumiem Pasaules daļu tuvumā ir dažādi viļņu enerģijas daudzumi (1.1. tabula) [5].

1.1. tabula

Viļņu enerģijas sadalījums pa Pasaules daļām [5]

Pasaules daļa	Viļņu enerģija TWh gadā
Rietumeiropa un Ziemeļeiropa	2800
Vidusjūras zemes un Atlantijas arhipelāgi (Azora salas, kape Verde, Kanāriju salas)	1300
Ziemeļamerika un Grenlande	4000
Centrālamerika	1500
Dienvidamerika	4600
Āfrika	3500
Āzija	6200
Austrālija, Jaunzēlande un Klusā okeāna salas	5600
<b>Kopā</b>	<b>29 500</b>

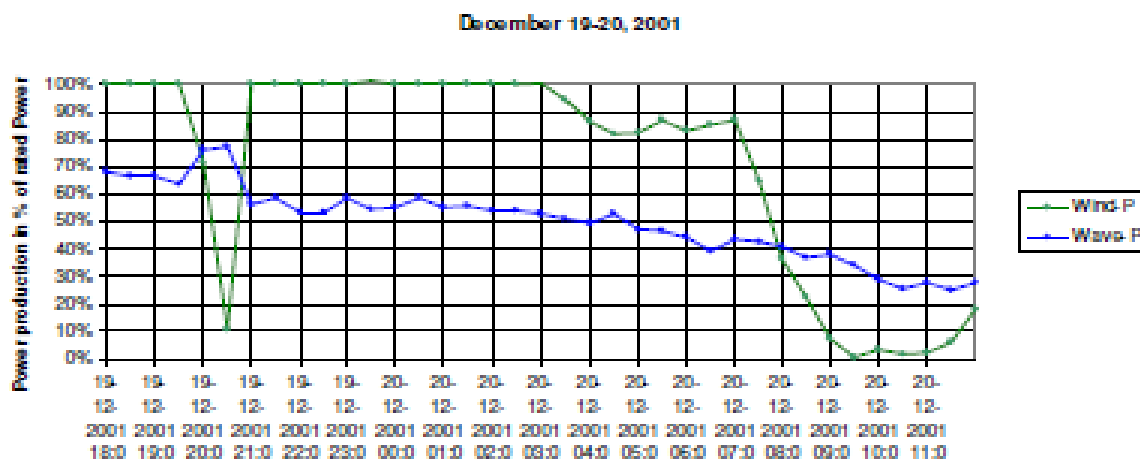
Piezīme: Tabulā minētais kopējais enerģijas daudzums ir mazāks par iepriekš minēto teorētisko viļņu enerģijas daudzumu tā iemesla dēļ, ka tajā uzskatīti viļņi, kuru jauda  $P \geq 5$  kW/m un platuma grādi  $\leq 66,5$  [5].

1.1. tabulas satura autori ir sadalījuši prognozējamo viļņu enerģiju pa Pasaules daļām. Centienos apgūt šo enerģiju būs jāreķinās ar vairākiem faktoriem, kuri ietekmēs šīs enerģijas izmantošanas lietderību. Viens no tiem ir attālums līdz patērētājiem, kuru var risināt optimizējot elektroenerģijas ražošanu un attālumu līdz patērētājiem un/vai radot jaunus patērētājus tuvāk enerģijas avotiem. Otrs faktors ir spēkstaciju iekārtu efektivitāte, jeb jautājums – „Cik lēti iespējams pārveidot enerģiju?” Trešais faktors ir saistīts ar to, kāds ieguldījums radīsies no nozares attīstības CO<sub>2</sub> izmešu mazināšanā un kā to novērtēs sabiedrība klimata izmaiņu mazināšanas kontekstā.

H. C. Sørensen un J. Fernández Chozas (2010.) darbā „The Potential for Wave Energy in the North Sea” [14] apraksta pētījumu par Ziemeļjūras viļņu potenciālu un tā izmantošanas perspektīvām. Tajā ir dots salīdzinājums starp Ziemeļjūras un Atlantijas okeāna īpatnējām viļņu jaudām, kuras atbilstoši ir 12–17kW/m un 24–48kW/m. Tikuši uzskaitīti Ziemeļjūras trūkumi – viļņu potenciāls mazāks nekā, piemēram, Īrijā, Spānijā un Lielbritānijas Ziemeļos un attālums līdz krastam relatīvi tāls



nelielā dziļuma dēļ – Lielbritānijā – 50km, Dānijā – 150km. Tika uzskaitītas arī priekšrocības – iespēja kooperēties ar vēja parkiem, jau tuvākajos gados tiks izbūvēta vēju parku infrastruktūra, iespēja piegādāt elektroenerģiju naftas un gāzes platformām. Tika arī atzīmēts, ka tā iemesla dēļ, ka viļņi vēja iedarbībā rodas pakāpeniski, un turpina viļņoties pēc tam, kad vējš jau samazinājies, pastāv iespēja optimizēt pieslēguma kabeļus (1.1. att.) [14].

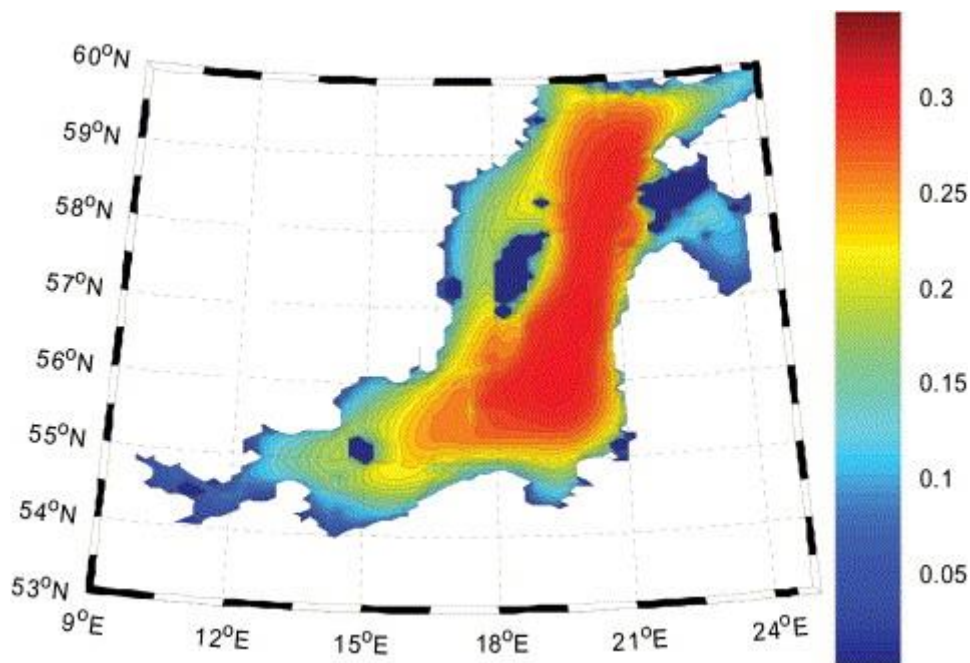


1.1. att. JVS un vēja parku jaudas (%) [14].

### 1.1.2. Baltijā

Henfridsson u.c. (2006.) publikācijā „Wave Energy Potential in the Baltic Sea and the Danish Part of the North Sea, With Reflections on the Skagerrak” [15] analizē iespējamās viļņu spēkstaciju piemērus Baltijas jūrā un Ziemeļjūras Dānijas daļā. Darba rezultāti rāda daudzsološas zonas Ziemeļjūrā un interesantas vairākas Baltijas jūras daļas (1.2. att.) [15]. Pētījums pamatojas uz lineārā ģeneratora tehniku, kura novietota uz jūras gultnes, izmantojot punktveida absorbētājus, kuri izvietoti masīvos līdz pat vairākiem tūkstošiem vienību. Pētījuma mērķis ir parādīt viļņu enerģijas fiziskās iespējas, tostarp viļņu enerģijas ekonomiskās iespējas un vides priekšrocības pat mērenā vēja klimatā, kurš ir raksturīgs Baltijas jūrai. Šis pētījums atspoguļo divus piemērus Baltijas jūrā, vienu Dānijas Ziemeļjūrā un jaunu eksperimentālo pētījumu vietu Zviedrijas Skageraka daļā, un parāda iespējamās viļņu enerģijas izmantošanas ilustrācijas. Projekta piemēri atšķiras pēc attāluma līdz sadales tīklam, tīkla spriegumam, un tādēļ autors uzskata, ka tas var būt ekonomiski izdevīgi. Piemēri parāda arī apsvērumus sabiedrības un dabas aizsardzības jautājumos, tostarp tādos aspektos kā industriālās un militārās intereses, arheoloģijas vai jūras rezervāti un vietējā ģeoloģija. Autori secina, ka viļņu enerģijas elektriskā pārveidošana ir risinājums, kuram jāpievērš lielāka uzmanība un kuram ir vairākas priekšrocības salīdzinājumā ar tradicionālajiem atjaunojamiem avotiem. Ilgtspējīgas viļņu enerģijas konversijas attīstībai ir ieteicama skaņas inženierija, apvienojumā ar ražotāju, patērētāju un plašu sabiedrības viedokli. Publikācijā parādīta uzskatāma viļņu enerģijas diagramma Baltijas jūrā [15].



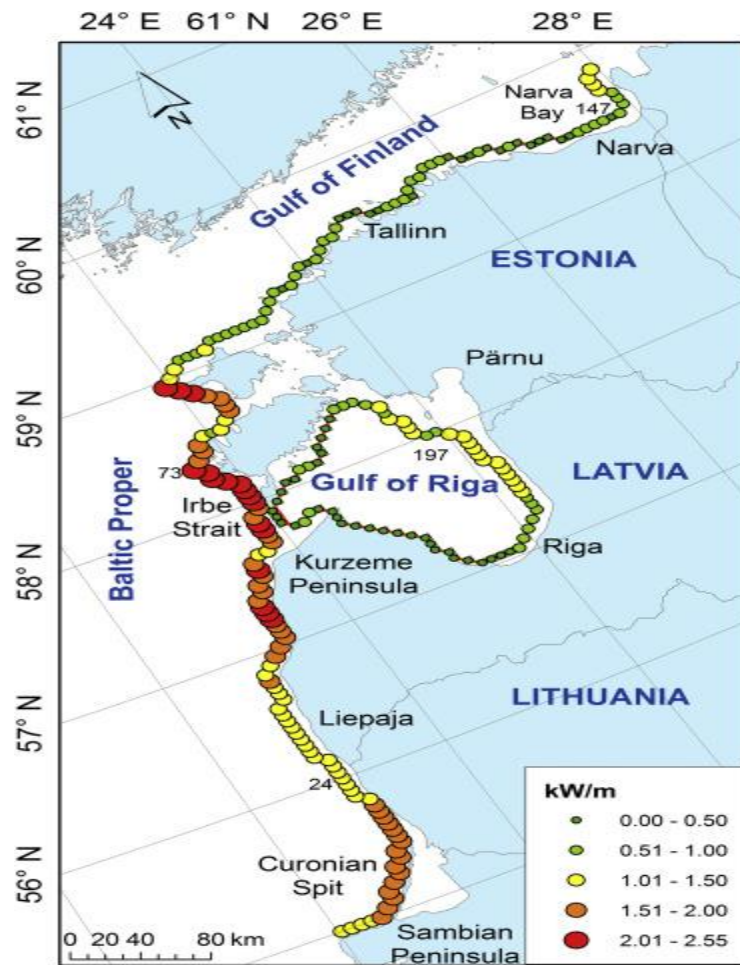


1.2. att. Viļņu enerģijas blīvuma karte Baltijas jūrā ( $\text{Wh/m}^2$ ) [15].

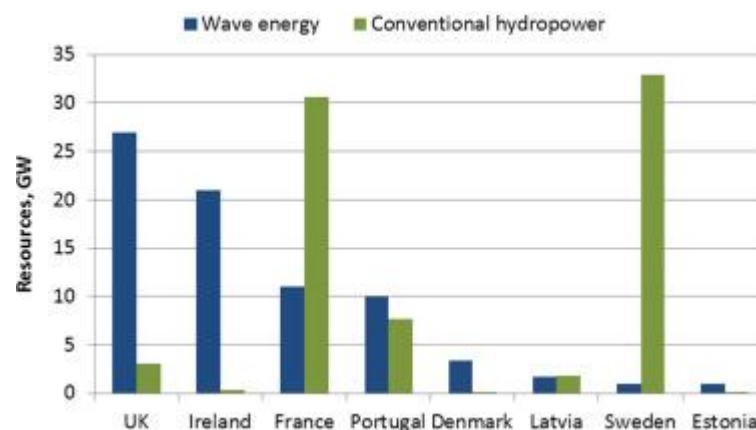
Soomere un Eelsalu (2014.) „On the Wave Energy Potential Along the Eastern Baltic Sea Coast” [16] aprakstījuši pētījumu par gan teorētiskās viļņu enerģijas daudzumu, gan tās praktiski pieejamās daļu vidēja dziļuma akvatorijā ņemot par pamatu Baltijas Jūras Austrumu krastu. 38 gadu vidējā viļņa jauda ir  $1,5\text{kW/m}$ , bet dažās vietās tā sasniedz  $2,55\text{kW/m}$ , Somu Jūras līcī un Rīgas Jūras līcī –  $0,7\text{kW/m}$ . Būtisks viļņu enerģiju ietekmējošais faktors ir ledus. Būtiskākais faktors un viņu secinājums: šajā akvatorijā ir viļņu enerģijas nevienmērīgais sadalījums gada laikā. T. Soomere un M. Eelsalu prognozē, ka lai arī viļņu potenciāls dažās Baltijas jūras vietās varētu izraisīt interesi, tomēr paredz, ka tuvākajā nākotnē tas netiks izmantots elektroenerģijas pieslēgšanai sadales tīkliem to pamatojot ar viļņu enerģijas nevienmērību laikā. Darbā dota pētījuma Baltijas piekrastes vidēja dziļuma viļņu enerģijas vizualizācija (1.3. att.) [16].

Egidijus Kasiulis, Petras Punys un Jens Peter Kofoed publikācijā „Assessment of Theoretical Near-shore Wave Power Potential Along the Lithuanian Coast of the Baltic Sea” [15] pamato uzskatu, ka pakāpeniski palielinot interesi par viļņu enerģijas izmantošanu un attīstot viļņu enerģijas pārveidotājus, lielāka uzmanība tiek pievērsta arī akvatorijām ar mazāku enerģijas potenciālu, piemēram, Baltijas jūra. Tajā tiek sniegts īss pārskats par Eiropas viļņu enerģijas resursiem, vairāk koncentrējoties uz daļēji slēgtām jūrām. Darbā tiek salīdzināts viļņu enerģijas potenciāls un tradicionālais hidroenerģijas potenciāls virknē Eiropas valstu, aprēķiniem lietojot parastā hidroloģiskā metode. Viļņu jaudas plūsmas mēnesī, sezonā un gadā vērtētas pēc augsta, vidēja un zemas intensitātes viļņošanās gadiem. Viļņu enerģijas plūsma gada viļņu augstumam Lietuvas piekrastē svārstās no  $1,6\text{kW/m}$  augstās intensitātes gadā līdz  $0,4\text{kW/m}$  zemas intensitātes gadā, kas padara piekrastes viļņu enerģijas potenciālu visā Lietuvas piekrastē salīdzināmu ar apstākļiem citās Eiropas daļēji slēgtās jūrās. Publikācijas kontekstā sniegtais viļņu enerģijas potenciāla un parastās hidroenerģijas apjomu salīdzinājums dažās Eiropas valstīs ir atšķirīgs (1.4. att.) [15].





1.3. att. Baltijas piekrastes vidēja dziļuma viļņu vidējās jaudas vizualizācija pēc Tarmo Soomere un Maris Eelsalu [16].



1.4. att. Viļņu enerģijas potenciāla un parastās hidroenerģijas apjomu salīdzinājums dažās Eiropas valstīs [15].

### 1.1.3. Latvija

J. Greivulis A. Avotiņš un L. Kalniņš. Publikācijā „Baltijas jūras potenciāls viļņu enerģijas pārveidošanai” [17] autori ir atspoguļojuši apskatītā reģiona divu viļņu parametru –  $H$  un  $T$ , kā arī



vēja ātruma retro analīzi. Pierādījuši, ka ir jāņem vērā viļņu virziens in uzskata, ka apskatītajā akvatorija daļā viļņu potenciāls ir pietiekams lai veidotu jūras enerģijas pārveidotājus. Rakstā minēts arī ieteikums veidot pārveidotājus, kuru frekvence sakristu ar viļņu frekvenci, kas nav sīkāk paskaidrots, kā tas būtu iespējams reālos neregulāru viļņu apstākļos, ja pieņem, ka jebkuram pārveidotājam būs kaut kāda noteikta masa.

## **1.2. Viļņu enerģijas potenciāla aprēķinu metodika Pasaulē, Baltijā un Latvijā**

Pasaulē –

G. Morks un citi aprēķina globālo viļņa potenciālu, balstoties uz datiem, kuri iegūti no globālā viļņu modeļa (validēti un kalibrēti pret satelītu augstuma mērītāja datiem) un mērboju datiem (WorldWaves datubāze). Vispirms tika aprēķināts teorētiskais potenciāls, izmantojot visus pieejamos viļņu datus, un otrajā solī tika izslēgtas jomas, kurās jaudas līmenis ir ļoti zems ( $P \leq 5\text{kW/m}$ ). Trešajā solī tika ievērtētas jūras ledus ietekmētās zonas [18].

Baltijā –

T. Soomeres metode aprakstīta rakstā „On the Wave Energy Potential Along the Eastern Baltic Sea Coast” [16] Tas ir pētījums, kurā ņemti ieejas dati par 1970.–2007. gadu periodu no punktiem ar attālumu 3 jūras jūdzes (5,5km). Dati ir uzskaitīti ik pa 1 stundai. Akvatorija dziļumi, kur datu aprēķini pēc ģeostatisko vēju mērījumiem (No Zviedrijas Meteoroloģijas un Hidroloģijas institūta) ar korekcijām [16] ir no 7m–48m. Šeit gan jāatzīmē, ka minētā dziļumu intervāla dēļ daļa no mērījumiem neatspoguļo dziļūdens viļņu ainu, kā arī iespējamais izmantojamais viļņu potenciāls jau ir refraktēts. Uzskatāmi tas ir redzams viļņu jaudu rezultātos pie Latvijas un Lietuvas Baltijas jūras krastiem (1.7. att.).

Henfridsson u.c. (2006.) publikācijā „Wave Energy Potential in the Baltic Sea and the Danish Part of the North Sea, With Reflections on the Skagerrak” [15] analizē iespējamās viļņu spēkstaciju piemērus Baltijas jūrā un Ziemeļjūras Dānijas daļā, izmantojot vēja-viļņu retranslācijas datus aprēķina viļņu enerģiju pēc klasiskām neregulāru viļņu sakarībām.

Egidijus Kasiulis, Petras Punys un Jens Peter Kofoed publikācijā „Assessment of Theoretical Near-shore Wave Power Potential Along the Lithuanian Coast of the Baltic Sea” [19]. Tiesa, šajā rakstā teorētiskais viļņu enerģijas potenciāls Lietuvas piekrastē tiek novērtēts, izmantojot pieejamos daudzgadu vizuālos novērojumus. Tomēr rakstā nav sīkāk paskaidrots vizuālās mērīšanas algoritms, mērījumu punktu koordinātes un akvatorija dziļumi.

Latvijā –

Viļņu potenciālu Latvijas Baltijas jūras daļā ir pētījuši jau iepriekš pieminētais Igaunņu akadēmiķis Soomere un latviešu zinātnieki J. Greivulis A. Avotiņš un L. Kalniņš. Publikācijā „Baltijas jūras potenciāls viļņu enerģijas pārveidošanai” [17] tās autori apgalvo, ka savu viļņu augstumu un periodu rezultātu iegūšanai ir izmantojuši Ventspils mērījumu stacijas viļņu augstumu un periodu novērojumus, kuri ir tikuši veikti divas reizes diennaktī. Tiesa rakstā nav precizēts, kādas ir



koordinātes mērījumu punktiem, kāds(-i) ir bijis dziļums(-i) un kādā veidā ir konstatēti šie parametri. Tajā nav apskatīti viļņu dominējošo virzienu dati.

### 1.3. Baltijas jūras Latvijas EEZ viļņu enerģijas potenciāla novērtēšanas metode

Baltijas jūras Latvijas EEZ pastāv noteikts viļņu enerģijas potenciāls, kurš varētu tikt izmantots, kā vēl viens atjaunojamās enerģijas avots. Šī mērķa sasniegšanai ir jāpanāk viļņu enerģijas pārveidošanas procesa maksimālas peļnīt spējas sasniegšana, kas nozīmē – no maksimāliem ieņēmumiem atņemt minimālus izdevumus. Ienākumi ir atkarīgi no viļņu parametriem, kurus nevar mainīt, bet – var prognozēt, no iekārtām ar noteiktiem parametriem, kuras var izvēlēties vai radīt no jauna un citiem ietekmes faktoriem. Lai prognozētu viļņu potenciālu nākotnē, var lietot Naivo metodi. Naivā metode balstās uz vēsturisko datu vidējām vērtībām, pieņemot, ka nākotne būs līdzīga pagātnei. Viļņu enerģijas potenciāla raksturošanai izmanto dažādas metodes.

Vienkāršākā no metodēm ir aprēķināt viļņu īpatnējo jaudu un viļņu īpatnējo enerģiju atsevišķos apgabala punktos [2], [17].

Nākamā metode: jūrā tiek novilkta nosacīta viļņu uztvērēju līnija (taisnes nogrieznis vai vairāki nogriežņi lēzeniem lauzuma leņķiem) [16], un tiek aprēķināta visa enerģijas plūsma caur vertikālu plakni, kura iet caur šo nosacīto uztvērēju līniju vienā virzienā. Katra viļņu virziena enerģijas plūsma un viļņu virziena enerģija laikā uz attāluma vienību samazināsies attiecīgi  $\cos \theta$  reizes, kur  $\theta$  – leņķis, kuru viļņa fronte veido ar nosacīto uztvērēju līniju.

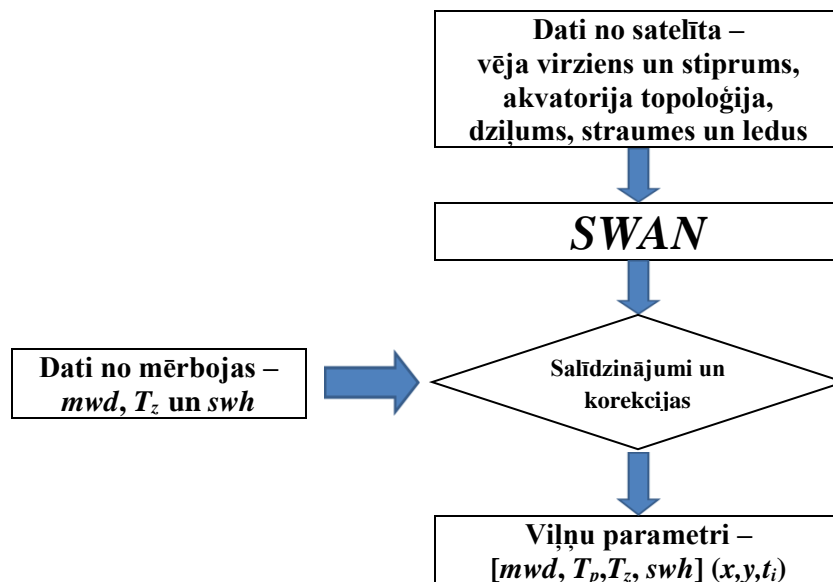
Trešā metode, kur par nosacīto uztvērēju vertikālu virsmu telpā visā enerģijas izdalīšanās dziļumā kalpo visa apgabala robežas. Summāro enerģijas plūsmu gadā (TWh) nosaka vidējā viļņu jauda  $P_{vid}$  (kW/m), jeb viļņa enerģijas plūsma caur šo virsmu – Electric Power Research Institute (EPRI) metodoloģija, [20]. Šīm metodēm ir nepilnības [21].

Lai iespējami precīzāk novērtētu Baltijas jūras Latvijas EEZ viļņu potenciālu izstrādājām jaunu metodi. Šī metode balstās uz no Dānijas Meteoroloģiskā Institūta (DMI) iegūtiem ieejas viļņu parametriem ( $sw_h$ ,  $T_z$  un  $mwd$ ), kuri doti teksta failos ik pa stundai piecu gadu garumā (2010.–2014.). Šos datus DMI aprēķina ar SWAN programmas palīdzību, kura radīta lai no satelīta datiem (Vēja virziens un vēja stiprums) aprēķinātu minētos viļņu parametrus. SWAN programma arī paredz minēto rezultātu korekciju, kuru ievieš ar tuvākās mērbojas viļņu datu mērījumu un virs tās esošo vēja parametru salīdzināšanu, kā arī viļņu augstumu (1.5. att.).

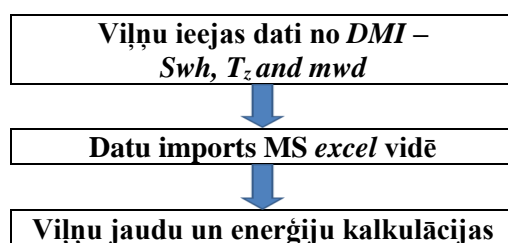
Saņemtie viļņu parametru dati tiek importēti MS Excel programvidē un atbilstoši klasiskajām neregulāru viļņu sakarībām aprēķinātas jaudas un enerģijas.

Lai mazinātu augstāk minēto metožu nepilnības viļņu enerģijas novērtējumā, piedāvājam viļņu enerģijas virzienu pamatlīniju projekcijas (VEVPP) metodi [21], kuras sākotnējie aprēķini atbilst klasiskajiem neregulāru viļņu jaudas un enerģijas aprēķiniem (1.6. att.).





1.5. att. DMI viļņu ieejas datu radīšanas shēma.



1.6. att. Sākotnējā viļņu datu apstrāde un aprēķini.

1. No enerģijas spektra, integrējot frekvenču diapazonā  $[0; \infty]$ , aprēķināsim vidējo viļņu enerģijas blīvumu  $J_{vid}$  laika intervālā  $1\text{ m}^2$  lielā laukumā [22]:

$$J_{vid} = \rho g \int_0^{\infty} S(f) df = \rho g m_0 = \frac{\rho g (H_{m0})^2}{16} = \frac{\rho g (H_s)^2}{16}, \quad (1.1)$$

kur:

$\rho$  – jūras ūdens blīvums ( $\text{kg/m}^3$ ),

$g$  – brīvās krišanas paātrinājums ( $\text{m/s}^2$ ),

$f$  – viļņu frekvence (Hz),

$S(f)$  – viļņu enerģijas spektra funkcija,

$m_0$  – 0-tais spektrālais moments,

$H_{m0} = H_s$  – raksturīgo viļņu augstums (m).

Viļņu grupas fāzes ātrums –  $c_g$  dziļā ūdenī [23]:

$$c_g = \frac{1}{2} c_f = \frac{gT}{4\pi}, \quad (1.2)$$

kur:

$c_f$  – viļņu fāzes ātrums (m/s),



$T$  – Viļņu vidējais periods  $T_z$  (zero crossing), kā iepriekš minēts, tiek aizstāts ar  $T_e$  (s).

Viļņa vidējo jaudu 1m platai viļņa fronteī, jeb viļņa enerģijas plūsmu, caur vertikālu plakni, kura perpendikulāra viļņu kustības virzienam, izsaka izteiksme [23]:

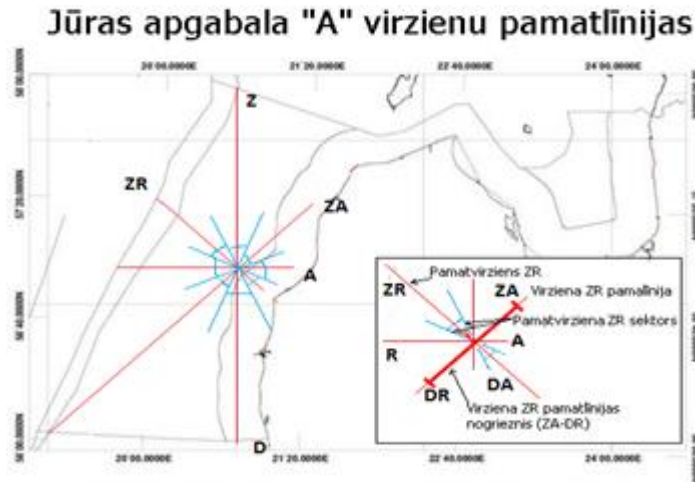
$$P_{vid} = J_{vid} * C_g = \frac{\rho g^2 T (H_s)^2}{64\pi}, \quad (1.3)$$

Attiecīgi neregulāru viļņu enerģiju, kura laika intervālā  $\Delta t$  šķērso plakni perpendikulāri viļņu kustības virzienam, 1m platai viļņa fronteī izsaka izteiksme [23]:

$$\dot{E}(\Delta t) = P_{vid} * \Delta t = \frac{\rho g^2 T (H_s)^2}{64\pi} \cdot \Delta t, \quad (1.4)$$

Saskaņā ar šo izteiksmi (1.4). Aprēķiniem viļņu īpatnējās enerģijas katrā no 6 izvēlētiem kontrolpunktiem  $n$  laika intervālos.

2. Baltijas jūras apgabalā „A” perpendikulāri 8 tradicionālajiem vēja un viļņu pamatvirzieniem (PVxx, kur: xx = (Z; ZA; A; DA; D; DR; R un ZR) nospraužam virzieniem perpendikulāras pamatlīnijas. Tādejādi pastāv 4 līnijas, kuras savstarpēji krustojas vienā punktā un, šķērsojot apgabala robežas, veido 4 virzienu pamatlīniju nogriežņus BN<sub>yy</sub>, kur yy = (Z–D, A–R, ZA–DR, DA–ZR) (1.7. att.).



1.7. att. Viļņu pamatvirzieni un jūras apgabala „A” pamatlīniju nogriežņi [21], [24].

3. Uz līniju nogriežņiem BN<sub>yy</sub> ar perpendikuliem konstruējam un fiksējam kontrolpunktu Km, kur m = (1,2,3,4,5,7) projekcijas Km<sub>Z-D</sub>, Km<sub>A-R</sub>, Km<sub>ZA-DR</sub>, Km<sub>DA-ZR</sub>.

4. Kontrolpunktos viļņu īpatnējās enerģijas virziena sadalījuma novērtēšanai ieviešam selektīvu *mwd* virziena filtru.

$$IF(mwd_i, PVxx_{min}, PVxx_{max}) = 1, \text{ ja } PVxx_{min} < mwd_i \leq PVxx_{max}, \quad (1.5)$$

$$IF(mwd_i, PVxx_{min}, PVxx_{max}) = 0, \text{ ja } mwd_i > PVxx_{max} \text{ vai } PVxx_{min} \geq mwd_i, \quad (1.6)$$



4. Tādejādi summējot viļņu virzienu enerģijas (1.11) laika intervālā  $\Delta t$  katrā no kontrolpunktiem pa sektoriem, tiek uzskaitīta savstarpēji nedublējošu virzienu viļņu enerģija.

$$\dot{E}_n(Km, PV_{xx}) = \Delta t \cdot \frac{\rho g^2}{64\pi} \sum_{i=1}^n IF(mwd_i, PV_{xx_{\min}}, PV_{xx_{\max}})(Te_i(Hsi)^2), \quad (1.7)$$

kur :

$PV_{xx}$  – kāds no *pamatvirzieniem*  $xx$  (Z, ZA, A, DA, D, DR, R, ZR),

$PV_{xx_{\min}}$  – pamatvirziena  $PV_{xx}$  sektora minimālā robeža,

$PV_{xx_{\max}}$  – pamatvirziena  $PV_{xx}$  sektora maksimālā robeža,

$H_{si}$  – zīmīgais viļņu augstums  $i$ -tajā laika intervālā  $\Delta t$  (m),

$Te_i$  – viļņu enerģijas blīvuma spektra vidējais enerģijas periods (s).

$PV_{xx}$  sektora izmērs ir vienāds  $|PV_{xx_{\max}} - PV_{xx_{\min}}| = 45^\circ$  un tas ierobežots ar zilām līnijām (1.7. att.). Šādi summējot dažādu viļņu virzienu enerģijas pa sektoriem, mēs samazinām kļūdu, tajos gadījumos, kad visa enerģija laika intervālā  $\Delta t$  punktā tiek asociēta tikai ar vienu viļņu virzienu  $mwd$ . Rezultātā iegūstam viļņu īpatnējās enerģijas novērtējumu  $\dot{E}_{n,xx}$  (Ws),  $n$  laika intervālos  $\Delta t$  ( $\Delta t = 1$  stunda, jeb 3600 s) astoņos pamatvirzienu sektoros katrā kontrolpunkta, kuru attiecinām uz attiecīgās virziena pamatlīnijas nogriežņa projekcijas punktu  $Km_{xx}$ .

Ja rezultējošā Enerģijas mērvienība ir kWh, tad  $\frac{\Delta t}{3600}/10^3 = 0,001$ , ievietojot  $\rho = 1003 \frac{kg}{m^3}$ ,  $g = 9,81 m/s^2$  un  $\pi = 3,14$  rad., summāro enerģiju varam izteikt kā:

$$\dot{E}_{n,m,xx,yy} = 480,32/10^3 \cdot \sum_{i=1}^n IF(mwd_i, PV_{xx_{\min}}, PV_{xx_{\max}})(Ti(Hsi)^2), \quad (1.8)$$

Šī izteiksme raksturo kontrolpunkta  $K_m$  viļņu enerģijas īpatnējo potenciālu jebkurā pamatlīnijas  $PN_{yy}$  pamatvirziena  $PV_{xx}$  projekcijas punktā laika intervālos, kur skaits  $n$  var atbilst laika intervālam viens mēnesis = 672 h, ja mēnesī ir 28 dienas, vai viens mēnesis = 744 h, ja mēnesī ir 31 diena.

Kontrolpunkta  $P_m$  gada viļņu enerģijas potenciālu 1m platam vilnim  $\dot{E}_g$  aprēķina pēc izteiksmes:

$$\dot{E}_{g,m,xx,yy} = \sum_{n=1}^{12} (E_{n,m,xx,yy}), \quad (1.9)$$

6. Lai, zinot pamatvirzienu sektoru  $PV_{xx}$  īpatnējās enerģijas vērtības  $\dot{E}_n(Pm_{xx})$ , kontrolpunktu projekciju punktos  $Km_{xx}$ , iegūtu virziena  $PV_{xx}$  īpatnējās enerģijas līkni, kura atbilst attiecīgajam pamatlīnijas nogriežnim, izpildām funkcijas aproksimāciju. Salīdzinot dažādu aproksimācijas metožu rezultātus, ieskaitot 4. un 5. pakāpes interpolācijas līknes, izvēlējamies hordu metodi, kura ļauj vienkāršot sekojošo īpatnējās enerģijas funkcijas integrēšanas procesu, tai pat laikā saglabājot rezultāta precizitāti.

Šīs metodes būtība ir punktos zināmas viļņu īpatnējās enerģijas funkcijas aizvietošana ar taisnes nogriežņiem un poligonu laukuma summas aprēķināšana katra virziena pamat līnijas projekcijas nogriežnim  $\Delta L(P1_{xx}, P5_{xx})$ .



7. Virziena pamatlīnijas kontrolpunktu projekcijai atbilstošo enerģiju aprēķinam integrējot pēc attāluma projekcijas robežās tās īpatnējās enerģijas funkciju. Tādejādi integrēšanas process reducējas uz trapeču metodes [25] pielietojšanu, izteiksme:

$$E_{xxyy}(K1,K5)=\sum_{m=1}^{m+1=5} E(\Delta L(m,m+1))_{xx}$$

$$=\sum_{m=1}^{m+1=5} \frac{\dot{E}n(Km)+\dot{E}n(Km+1)}{2} \cdot \Delta L(m,m+1)_{xx}, \quad (1.10)$$

kur:

$m$  – kontrolpunkta  $Pm_{xx}$  kārtas skaitlis – (1,2,3,4,5,7),

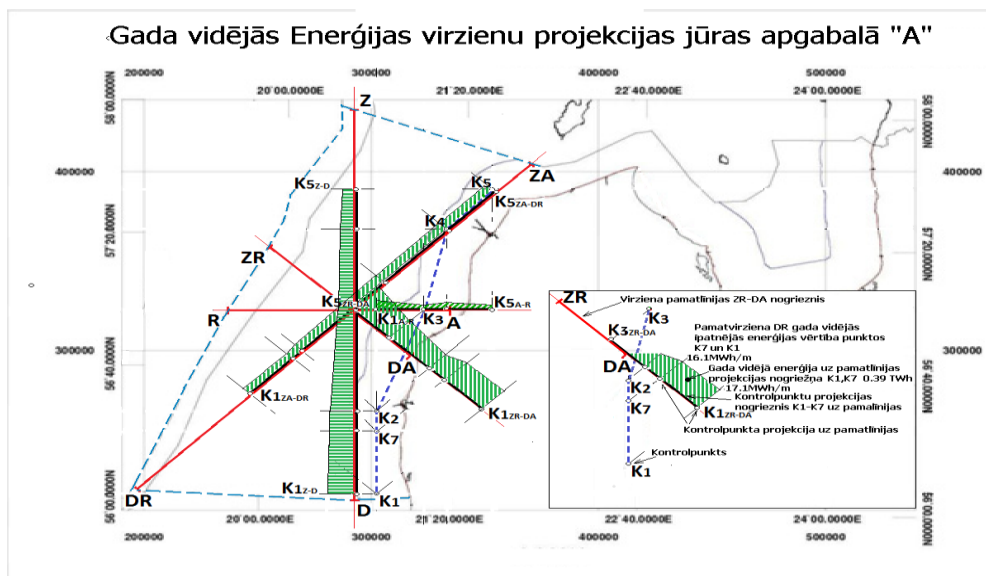
kur:

$m,m+1$ utt. – kontrolpunktu kārtas skaitļi,

$\Delta L(m,m+1)$  – attālumus starp šiem punktu projekcijām uz virziena pamatlīnijas, ņemot vērā pamatlīniju azimutu un kontrolpunktu koordinātes (1.3. tabula).

8. Zinot viļņu enerģijas potenciālu kontroles apgabalā, kurā atrodas kontrolpunkti P1; P2; P3; P4; P5 un P7, kuru iezīmē kontrolpunktu projekcijas uz virziena pamatlīnijām (1.8. att.) un zinot to, ka kontroles apgabals veido ievērojamu, bet ne visu analizējamā apgabala „A” daļu, kā arī pieņemot, ka viļņu enerģijas sadalījums laikā un telpā ir izkliedēts viendabīgi, iespējams novērtēt katra pamatvirziena PV<sub>xx</sub> enerģijas apjomu, palielinot proporcionāli virziena pamatlīnijas nogriežņa Pnyy un kontrolpunktu attiecīgo projekcijas nogriežņu summas L (P1,P5)<sub>yy</sub> attiecībai.

9. Kopējais viļņu enerģijas potenciāls mēnesī/gadā ir 8 potenciālu summa.



1.8. att. Viļņu gada vidējās enerģijas virzienu projekcijas Baltijas jūras apgabalā „A” [21], [24].

10. Tā kā VEVPP metode ietver aprēķinus, kuri saistīti ar rezultāta atkarību no vairāku kontrolpunktu izvietojuma plaknē, tās ticamības pārbaudei lietojām vienkāršāku apgabala viļņu



enerģijas novērtēšanas metodi, kas viena izvēlēta kontrolpunkta (P7, gada īpatnējās enerģijas vidējais apjoms tuvs vidējam analizējamā kontrolpunktu grupā) īpatnējo enerģiju īpašā veidā attiecina uz visu apgabalu. Tās daudzās laika intervālu  $\Delta t$  komponentes  $\dot{E}_n(\Delta t, \theta_n)$  tiek sašķirotas un sasummētas pēc *mwd* pa astoņiem pamatvirzienu PV<sub>xx</sub> (xx = Z, ZA, A, DA, D, DR, R, ZR) 45° sektoriem, iegūstot 8 vidējās īpatnējās enerģijas  $\dot{E}_{g7,xx}$  komponentes. Katru komponenti reizinām ar vienu no atbilstošajiem četrpamatlīniju nogriežņu garumiem PN<sub>yy</sub>, tādējādi iegūstot aptuvenu apgabala enerģijas astoņu virziena sadalījuma vērtējumu  $E_{g7}(PV_{xx}, PN_{yy})$  (yy = Z-D, ZA-DR, A-R, ZR-DA), kura komponentes summējot iegūstam Latvijas EEZ apgabala gada enerģijas salīdzinošo potenciāla vidējo novērtējumu.

Metode atšķiras no citām ar to, ka tiek izvēlēti bāzes pamatvirzieni +/- 22,5° un pa šiem sektoriem tiek sasummētas kontrolpunktu īpatnējās jaudas un īpatnējās enerģijas. Tad ap kontrolpunktiem izveido poligonus, kuri noklāj interesējošā akvatorija platību, ja nepieciešams matemātiski modelē papildus kontrolpunktus un summē iegūtos rezultātus.

#### 1.4. Baltijas jūras Latvijas EEZ viļņu potenciāla aprēķins

Dabiskos apstākļos tajā skaitā Baltijas jūras Latvijas piekrastē viļņi ir neregulāri. Viļņu augstums, periods un viļņu izplatīšanās virziens ir gadījuma lielumi.

##### 1.4.1. Viļņu galvenie ieejas parametri un aprēķinu lielumi

Viļņu enerģijas potenciālu ieejas parametri ir tādi viļņa parametri, no kuriem ir aprēķināmi viļņa potenciāla aprēķinu lielumi – viļņa augstums  $H$ , viļņa periods  $T$ , viļņa garums  $\lambda$  un viļņu virziens *mwd* (Mean Wave Direction).

Tā kā dabiskos apstākļos viļņi ir nelineāri un stohastiski, tad aprēķinu vienkāršošanai lieto vismaz, bet ne tikai – zīmīgo viļņu augstumu *swH* jeb  $H_s$ , vidējo viļņu periodu  $T_z$ , vidējo viļņu garumu  $\lambda_{vid}$  un zīmīgo viļņu virzienu *mwd*. Viļņu potenciāla aprēķina lielumi ir tādi rādītāji, kuri to raksturo – vidējo īpatnējo viļņa jaudu  $P_{vid}$  un vidējo īpatnējo viļņa enerģiju  $E_{vid}$ .

Izvēloties pietiekami īsu laika intervālu un pietiekami mazu jūras virsmas laukumu, piemēram, 1m × 1m varam pieņemt, ka šo parametru (viļņu augstums, periods un izplatīšanās virziens) izmaiņas var aprakstīt ar varbūtību teorijas līdzekļiem kā stacionāru gadījuma procesu. Šajā gadījumā – enerģijas potenciāla aprēķināšanai vispiemērotākais ir viļņu frekvenču enerģijas blīvuma spektrs  $S(f)$ , [26] – viļņu enerģijas sadalījums atkarībā no to izvēlētajā laika intervālā. Viļņu frekvence ir apgriezti proporcionāls lielums viļņu periodam. Šo spektru raksturo parametri, kuri turpmāk lietoti viļņu potenciāla aprēķinā:

$H_s$  – raksturīgo viļņu augstums =  $H_{m0}$  (m), kuru nereti apzīmē ar simbolu *swH* (significant wave height),

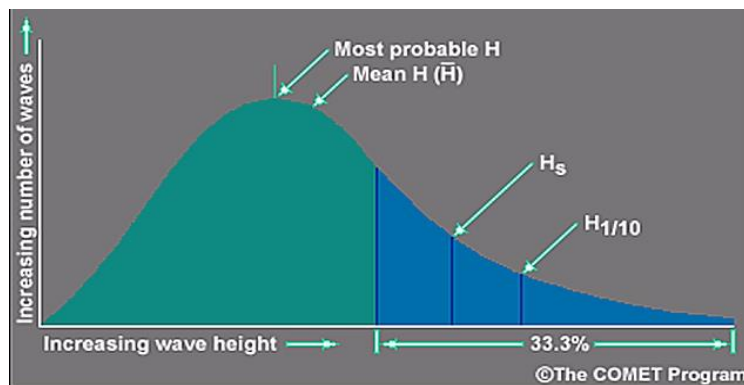
$T_z$  – viļņu vidējais periods (zero crossing) =  $T_e$  (s) atbilstoši datu piegādātāju dotajiem datiem;

$T_p$  – viļņu periods, kuram spektrā atbilst maksimālā enerģija (s),

$\theta_{vid}$  – viļņu izplatīšanās virziena vidējais leņķis (°).



Raksturīgo viļņu augstums –  $sw_h$  ir viļņu parametrs metros, kurš raksturo neregulāras viļņu ūdens virsmas svārstības, un nosaka enerģijas blīvuma spektru.  $sw_h$  tiek pielietots dažādos viļņu enerģijas un jaudas aprēķinos dziļā, vidējā un seklā ūdenī. Cituviet šo parametru apzīmē arī ar  $H_s$ . Vēsturiski raksturīgo viļņu augstums ir vidējais viļņa augstums no 1/3 maksimālo viļņu apskatāmajā laika periodā (1.9. att.) [27].



1.9. att. Raksturīgo viļņu augstuma definīcijas ilustrācija [27].

Pastāv uzskats, ka raksturīgo viļņu augstumu  $H_s$  precīzāk nekā  $H_{1/3}$  raksturo  $H_{m0}$  [28], kuru iegūst apstrādājot enerģijas blīvuma frekvenču spektru  $S(f)$  atbilstoši izteiksmei [28]:

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(f) df, \quad (1.11)$$

kur:

$m_0$  – 0-tais spektrālais moments, gadījuma lieluma jeb variātas 0-tais moments ir konstants, determinēts palīg lielums, kuru izmanto dažādu variātas parametru, tai skaitā  $H_{m0}$  aprēķināšanai [28]:

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0}, \quad (1.12)$$

Vidējais viļņa periods  $T_z$ , ir viļņu parametrs sekundēs, kurš raksturo neregulāru viļņu ūdens virsmas svārstības, kā arī enerģijas blīvuma spektru. Tā kā  $T_z \leq T_e$ , to izteiksmēs izmanto viļņu enerģijas un jaudas novērtēšanai.

$T_e$  ir viļņu enerģijas blīvuma spektra vidējais enerģijas periods, kuru ar enerģijas blīvuma spektra 1-ās un 0- tās kārtas momentiem saista sakarība [28]:

$$T_e = m_{-1}/m_0, \quad (1.13)$$

$m_k$ , jeb k-to spektrālo momentu definē izteiksme [28]:

$$m_k = \int_{f=0}^w f^k S(f) df, \quad (1.14)$$

Variātas k-tais spektrālais moments ir specifisks konstants determinēts palīg lielums punktu kopas formas raksturošanai, kuru pielieto mehānikā un statistikā (varbūtību sadalījumiem un spektriem) (mehānikā  $m_1$  – summārā masa ir masas centrs,  $m_2$  – rotācijas inerce), kur  $k$  var būt: -4, -3, ..., 0, 1, 2, 3,



4. Galvenais virziens  $mwd$  – viļņu parametrs grādos, kurš raksturo neregulāru viļņu ūdens virsmas svārstību un enerģijas virziena spektru. Tas tiek izmantots apgabala, reālas vai nosacītas uztvērēju līnijas viļņu enerģijas potenciāla novērtēšanai. Tas ir virziens, no kura nāk viļņi ar dominējošo viļņu periodu ( $DPD$ ), [29]. Ieejas datus  $mwd$  ir uzdots kā azimuts.

Jūras viļņu enerģijas potenciāla novērtēšanai jādefinē akvatorija apgabals „A” (1.10. att.) informācija par jūras viļņu klimatu, no kura atkarīga viļņu enerģija un tās vienmērīgums telpā un izmaiņas laikā.

#### 1.4.2. Aprēķinā lietoto viļņu sākuma datu apraksts

Lai izvēlētos *kontrolpunktus*, tika izvirzīti šādi kritēriji [21]:

1. Akvatorija apgabals „A” – Baltijas jūras Austrumu daļa Latvijas Ekskluzīvās Ekonomiskās zonas ( $EEZ$ ) ūdeņos ir aptuveni 216km gara un 95km plata;
2.  $DR$  un  $R$  vēji šajā apgabalā ir valdošie [29], un tāpēc arī attiecīgā virziena viļņi ir nozīmīgāki;
3.  $DR$  un  $R$  vēji ir valdošie arī Rīgas Jūras līča Austrumu daļā – tāpēc tika pieņemts lēmums paplašināt projekta sākotnējo uzdevumu, izpētot viļņu potenciālu ne tikai jūras apgabalā „A”, bet arī jūras apgabalā „B” (1.10. att.);
4. Apgabals „B” – Rīgas Jūras līča A daļā varētu būt potenciāls viļņu enerģijas avots;
5. Tika izvēlēti seši kontrolpunkti Baltijas jūras apgabalā „A” pie Latvijas krastiem un viens punkts Rīgas Jūras līcī iepretim Salacgrīvai – apgabalā „B”;
6. Fiksētas kontrolpunktu koordinātes un tur esošie dziļumi (1.3. tabula). Izveidota kontrolpunktu vizualizācija (1.10. att.);
7. Vairums viļņi nebūs garāki par 70m. Tas nozīmē, ka minimālais dziļums ir 17,5 m, jo līdz 95 % no viļņu enerģijas ir izkliedēti slānī starp ūdens virsmu un dziļumu, kurš vienāds ar ceturtdaļu viļņa garuma [21].

Pastāv iespēja netieši noteikt viļņu parametru statistiskos datus tādās vietās, kā Baltijas jūra Latvijas  $EEZ$   $R$  piekrastē, kur mērījumi nav veikti pietiekamā apjomā un kvalitātē, lai tie ļautu novērtēt šī apgabala enerģijas potenciālu. Tās pamatā ir dati par vēja virzienu un stiprumu un atbilstošo apstrādes algoritmu koriģēšana punktos, kur rezultātu salīdzināšana ar tiešajiem mērījumiem ir iespējama [21]. Aprēķinam izmantoti dati kuri ir balstīti uz  $DMI$  viļņu modeļa datiem, un ir koriģēti ar programmu  $SWAN$ . Tie ir iegūti ar īpašas modelēšanas programmas palīdzību, apstrādājot satelīta vēja virziena un ātruma rādītājus kā arī satelīta datus par viļņu augstumu. Tā kā mūsu rīcībā nav lokālo tehnisko līdzekļu, kuri nodrošinātu datus šī spektra parametru koriģēšanai, lietojam viļņu sākuma datus [21]. Tie ir  $H_s$  ( $swh$ ),  $T_z$  un  $mwd$  dati, kuri ir apkopoti par pieciem gadiem (2010.–2014.) Šo datu pieraksta ilustratīvs piemērs ir 1.2. tabulā. Bez minētajiem rādītājiem būtisks ir arī akvatorija dziļums  $h$ .



Viļņu sākuma dati

Gads	Mēnesis	Datums	St.	Min	mwd	swh	Tz
2010	1	1	0	0	329	0,906	4,828
2010	1	1	1	0	328	0,875	4,707
2010	1	1	2	0	328	0,832	4,637
2010	1	1	3	0	329	0,777	4,637
2010	1	1	4	0	330	0,734	4,590
2010	1	1	5	0	330	0,693	4,555
2010	1	1	6	0	331	0,648	4,586
2010	1	1	7	0	333	0,613	4,559

Viļņu enerģijas potenciāla aprēķinam lietojam ieejas datus sešiem kontrolpunktiem, attiecinot to uz visu Latvijas *EEZ* akvatoriju jūrā un vienam kontrolpunktam – atbilstoši Rīgas Jūras līča akvatorijām (1.10. att.). Aprēķina sākuma dati satur jūras viļņu enerģijas blīvuma spektru raksturīgos parametrus sešos kontrolpunktos un to dziļumus. Par katru stundu 24 stundas dienā, katru dienu mēnesī un katru mēnesi – 12 mēnešus gadā, katru gadu, piecus gadus pēc kārtas (2010.–2014.). Pieņemot, ka meteoroloģiskie un hidroloģiskie apstākļi mūsu izvēlētajā apgabalā ir pietiekami viendabīgi, aprēķina rezultātus var attiecināt uz tam pieguļošo jūras apgabalu +/- 5km. *DMI* dati ir ar soli aptuveni 10km [30].

No viļņu sākuma/ieejas datiem ir redzams, ka *mwd* lielumi ir skatīti ik pa 1° vienībai 360° spektrā. Turklāt šis parametrs norāda tikai dominējošo, bet ne visus viļņu virzienus katras stundas laikā.

Izvēlēto kontrolpunktu koordinātes un akvatorija dziļumi tajos [21]

Kontrolpunkts	Lat	Lon	Dziļums, m
P1	56.100	20.833	24
P2	56.500	20.833	24
P3	57.000	21.167	24
P4	57.400	21.333	56
P5	57.600	21.667	21
P6	57.700	24.167	31
P7	56.400	20.810	24



1.10. att. Ilustratīvs kontrolpunktu izvietojums, kuriem veikti aprēķini [21].



### 1.4.3. Viļņu enerģijas potenciāla aprēķina rezultāti

Lietojot *VEVPP metodi*, tika iegūti rezultāti Latvijas *EEZ* apgabalā „A” (1.10. att.) – 6,51 TWh gadā [21]. Kopējā potenciāla aprēķins tika veikts arī ar vienkāršotu metodi, kuru nosaucām par  $Z_0$  metodi un rezultāts bija 6,46TWh gadā [21], kas liecina, ka rezultāts ir ticams. Aprēķini ir veikti detalizēti (1.4. tabula).

1.4. tabula

Baltijas jūras Latvijas *EEZ* viļņu enerģijas potenciāla aprēķinu detalizācija

Aprēķinu nosaukumi	Kontrollpunkti						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
<i>E</i> pa mēn. atkarībā no <i>H<sub>si</sub>/T<sub>e</sub></i> (kWh/m)	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014
<i>E</i> pa mēnešiem atkarībā no <i>H<sub>si</sub>/T<sub>e</sub></i> (%)	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014
<i>E</i> sadalījums laikā (kWh/m)					2010.12.		
<i>P</i> atkarībā no <i>H<sub>si</sub></i> (W/m)	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014	2010-2014
<i>P</i> sadalījums laikā (W/m)	2010/2011						
Viļņu sadalījums pa $\lambda$ intervāliem	2011						
<i>E P5</i> pa virz. un pa mēnešiem (kWh/m)					2010-2014	2010-2014	2010-2014
<i>E P5</i> pa mēnešiem (kWh/m)					2010		
<i>E P5, P6, P7</i> pa mēnešiem (kWh/m)					2010-2014	2010-2014	2010-2014
<i>E P6</i> pa virz. un pa mēnešiem (kWh/m)					2010-2014	2010-2014	2010-2014
<i>E P7</i> pa virz. un pa mēnešiem (kWh/m)					2010-2014	2010-2014	2010-2014

Vēl bez tam ir veikti šādi matemātiski aprēķini:

1. Papildus 13 kontrollpunktu enerģijas (kW/m gadā);
2. Enerģijas punktos ņemot vērā nosacītās uztvērēju līnijas virzienus (kWh/m gadā);
3. Enerģijas pamatvirzienu projekcijas pa mēnešiem/ gadiem (MWh, TWh);
4. Poligonu līknes apstrāde (integrālis) teorētiskais potenciāls līnijā P1, P7, P2, P3, P4, P5;
5. Poligonu līknes apstrāde (integrālis) potenciāls ar  $\cos \vartheta$  līnijā P1, P7, P2, P3, P4, P5;
6. Poligonu līknes apstrāde (integrālis) potenciāls ar  $\delta$  leņķu filtru sektoru pamatlīniju P1, P7, P2, P3, P4, P5 projekcijām;
7. Apgabala „A” kontrollaukuma bāzes līniju projekciju proporcionāla pārnese uz bāzes līniju nogriežņiem.

#### 1.4.3.1. Viļņu enerģiju aprēķini pa mēnešiem sakarībā no viļņu augstumiem un periodiem

Aprēķinātas viļņu īpatnējās enerģijas (kWh/m) kontrollunktos P1, P2, P3, P4, P5, P6 un P7 pa mēnešiem un gadiem Aprēķinu tabulas fragments parādīta 1.5. tabulā. Rezultāti kWh/m (1.6. tabula) un procentos (1.7. tabula) sagrupēti pa vidējo periodu garumu  $T_e$  (0,5 s) un viļņu augstumu  $H_{si}$  intervāliem (0,1m). Ir būtiski, cik ilgi un cik lielas enerģijas viļņi pastāv gada laikā (1.11. att.).

1.5. tabula

Viļņu īpatnējās enerģijas aprēķinu tabulas fragments no kontrollunkta P1 2010. gada maijs

Datums	St.	Min	<i>mwd</i>	<i>swh</i>	<i>T<sub>z</sub></i>	<i>E(kWh/m)</i>
1	0	0	245	1,367	5,055	4,537
1	1	0	245	1,438	5,184	5,149
1	2	0	246	1,481	5,262	5,544
1	3	0	247	1,439	5,312	5,283

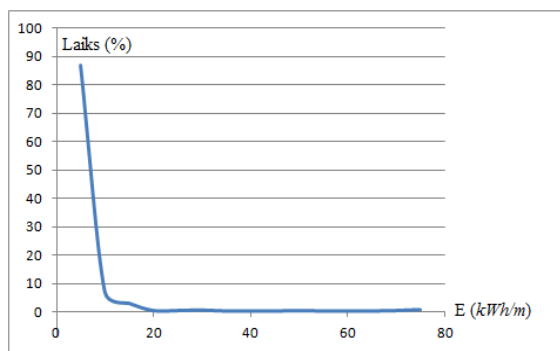


Vilņu īpatnējās enerģijas atkarībā no  $H_{si}$  un  $T_e$  kontrolpunktā P1 2010. gada maijs

	Vilņu enerģija 1m platam vilnim kontrolpunktā P1 2010. gada maijs (kWh/m)											
	Vilņu vidējais periods <i>T<sub>e</sub></i> stundā											KWh/m
<i>H<sub>si</sub></i>	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	
0,2	0,14	0,31	0,77	-	-	-	-	-	-	-	-	1,21
0,3	1,35	5,32	4,61	1,93	-	-	-	-	-	-	-	13,21
0,4	2,59	12,39	4,58	3,38	1,77	-	-	-	-	-	-	24,71
0,5	0,28	7,98	4,14	7,20	6,01	-	1,79	1,13	-	-	-	28,54
0,6	-	5,58	4,14	5,15	6,97	1,39	-	-	-	-	-	23,25
0,7	-	1,83	14,74	9,69	5,10	1,03	-	-	-	-	-	32,39
0,8	-	-	11,04	18,16	11,59	24,06	1,55	1,60	1,75	-	-	69,75
0,9	-	-	10,82	22,69	15,70	25,67	-	4,33	3,95	-	-	83,17
1	-	-	-	11,71	18,89	20,76	8,75	-	-	-	-	60,10
1,1	-	-	-	13,79	21,90	24,26	8,33	-	-	-	-	68,29
1,2	-	-	-	-	12,87	15,01	19,62	-	-	-	-	47,51
1,3	-	-	-	-	6,45	21,00	23,63	-	-	-	-	51,08
1,4	-	-	-	-	-	16,25	14,28	4,95	-	-	-	35,48
1,5	-	-	-	-	-	13,92	37,25	22,75	-	-	-	73,92
1,6	-	-	-	-	-	-	12,10	6,51	14,19	7,94	-	40,73
1,7	-	-	-	-	-	-	-	14,43	-	8,87	-	23,30
1,8	-	-	-	-	-	-	-	8,25	-	-	20,66	28,91
1,9	-	-	-	-	-	-	-	9,58	10,36	23,17	-	43,10
2	-	-	-	-	-	-	-	-	11,23	11,85	-	23,08
Kopā												771,72

Vilņu īpatnējās enerģijas sadalījums atkarībā no  $H_{si}$  un  $T_e$  kontrolpunktā P1 2010. gada maijs (%)

	Vilņu procentuālais sadalījums pa vilņu augstumiem un vidējiem periodiem $T_e$											Kopā, %
	Vilņu vidējais periods $T_e$ , (s)stundā											
$H_{si}$	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	
0,2	0,018	0,040	0,100	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16
0,3	0,175	0,689	0,598	0,250	-	-	-	-	-	-	-	1,71
0,4	0,335	1,606	0,594	0,438	0,229	-	-	-	-	-	-	3,20
0,5	0,036	1,033	0,537	0,933	0,779	-	0,232	0,147	-	-	-	3,70
0,6	-	0,723	0,537	0,668	0,904	0,181	-	-	-	-	-	3,01
0,7	-	0,238	1,910	1,256	0,660	0,133	-	-	-	-	-	4,20
0,8	-	-	1,430	2,354	1,502	3,118	0,201	0,208	0,226	-	-	9,04
0,9	-	-	1,403	2,940	2,034	3,326	-	0,561	0,512	-	-	10,78
1	-	-	-	1,518	2,447	2,690	1,133	-	-	-	-	7,79
1,1	-	-	-	1,787	2,838	3,144	1,080	-	-	-	-	8,85
1,2	-	-	-	-	1,668	1,945	2,543	-	-	-	-	6,16
1,3	-	-	-	-	0,836	2,721	3,063	-	-	-	-	6,62
1,4	-	-	-	-	-	2,105	1,851	0,642	-	-	-	4,60
1,5	-	-	-	-	-	1,804	4,827	2,948	-	-	-	9,58
1,6	-	-	-	-	-	-	1,567	0,843	1,839	1,028	-	5,28
1,7	-	-	-	-	-	-	-	1,869	-	1,150	-	3,02
1,8	-	-	-	-	-	-	-	1,069	-	-	2,677	3,75
1,9	-	-	-	-	-	-	-	1,241	1,342	3,002	-	5,59
2	-	-	-	-	-	-	-	-	1,455	1,536	-	2,99
Kopā, %	0,564	4,329	7,107	12,144	13,897	21,166	16,496	9,529	5,374	6,716	2,677	100,00



1.11. att. Vilņu īpatnējās enerģijas sadalījums laikā kontrolpunktā P5 2010. gada decembris (kWh/m).



### 1.4.3.2. Viļņu jaudu aprēķini

Aprēķinātas viļņu jaudas 1m platam vilnim stundas intervālā kontrolpunktos P1, P2, P3, P4, P5, P6 un P7 W/m (1.8. tabula). Rezultāti sagrupēti pa viļņu augstumu  $H_{si}$  intervāliem kW/m (1.9. tabula).

1.8. tabula

Viļņu īpatnējās jaudas aprēķina tabulas fragments P1 2010. gada februāris

Datums	Stunda	min.	$mwd$	$swb$	$T_z$	Jauda W/m
1	0	0	214	0,690	3,86	0,25
1	1	0	214	0,670	3,93	0,24
1	2	0	218	0,639	4,09	0,22
1	3	0	226	0,605	4,34	0,21
1	4	0	229	0,595	4,50	0,21
1	5	0	229	0,601	4,55	0,22
1	6	0	230	0,601	4,65	0,22
1	7	0	234	0,585	4,85	0,22
1	8	0	238	0,565	5,05	0,21
1	9	0	240	0,548	5,17	0,21
1	10	0	242	0,529	5,25	0,20
1	11	0	243	0,509	5,27	0,18
1	12	0	243	0,488	5,25	0,17
1	13	0	243	0,468	5,20	0,15
1	14	0	244	0,453	5,03	0,14

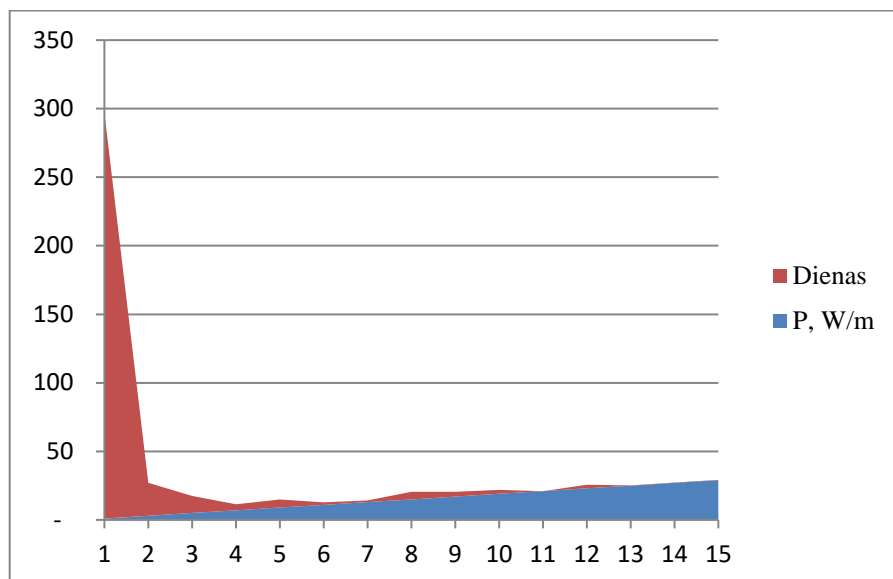
1.9. tabula

Viļņu īpatnējās jaudas aprēķinu rezultāti atkarībā no  $H_{si}$  P1 kontrolpunktā 2010. gada februāris

Nr. p.k.	$H_{si}$ intervāli m	$H_{si}$ m	Vid. $P$ W/m	Laiks h	Laiks %
2	0,1	0,2	0,01	68,00	10,12
3	0,2	0,3	0,02	77,00	11,46
4	0,3	0,4	0,04	75,00	11,16
5	0,4	0,5	0,09	106,00	15,77
6	0,5	0,6	0,14	99,00	14,73
7	0,6	0,7	0,20	56,00	8,33
8	0,7	0,8	0,31	27,00	4,02
9	0,8	0,9	0,40	32,00	4,76
10	0,9	1,0	0,51	33,00	4,91
11	1,0	1,1	0,64	21,00	3,13
12	1,1	1,2	0,82	14,00	2,08
13	1,2	1,3	1,04	13,00	1,93
14	1,3	1,4	1,21	15,00	2,23
15	1,4	1,5	1,52	5,00	0,74
16	1,5	1,6	1,61	5,00	0,74
17	1,6	1,7	1,99	10,00	1,49
18	1,7	1,8	2,23	2,00	0,30
19	1,8	1,9	2,70	4,00	0,60
20	1,9	2,0	3,20	5,00	0,74
21	2,0	2,1	3,57	5,00	0,74
Mēn. st. int. vidējā jauda			0,33	672,00	100,00

Būtisks akvatorija viļņu potenciāla rādītājs ir jaudu sadalījums pa laikiem (1.13. att.).





1.12. att. Jaudu sadalījums pa laikiem 2010. gadā kontrolpunktā P1.

#### 1.4.3.3. Viļņu sadalījums pa garumiem

Piemēram izvērtēsim viena kontrolpunkta (P1, 2010. gads) viļņu garumu sadalījumu atkarībā no tā tipa, pieņemot, ka dziļūdens viļņiem  $h \geq \lambda/2$  un seklūdens viļņiem  $h < \lambda/2$ . Lai noskaidrotu, kāds ir vidējo viļņu sadalījums pa viļņu garumiem tika aprēķināti 2011. gada viļņu garumi kontrolpunktā P1(1.10. tabula) (1.13. att.).

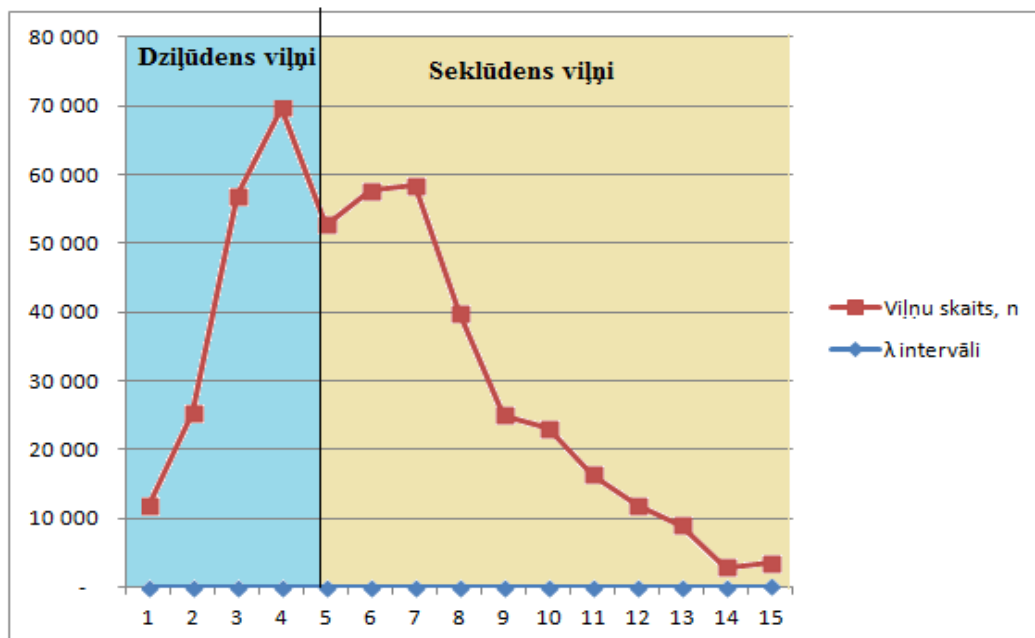
1.10. tabula

Vidējo viļņu sadalījums pa garumiem kontrolpunktā P1 (dziļums – 24m) 2011. gadā

Viļņu tips	$\lambda$ intervāli	Viļņu skaits, n
Dziļūdens viļņi	10	11 756
	20	25 339
	30	56 848
	40	69 666
Seklūdens viļņi	50	52 639
	60	57 537
	70	58 439
	80	39 799
	90	24 944
	100	23 056
	110	16 235
	120	11 827
	130	8907
	140	2732
	150	3356
Dz. ūd. viļņi		163 609
Sekl. ūd. viļņi		299 471

Analizējot jebkuru kontrolpunktu, ir svarīgi novērtēt ikvienu kontrolpunktu līdzīgā veidā lai novērtējot viļņu enerģijas zudumus varētu starp iepriekš aprakstīto dziļūdens un seklūdens viļņu zonām izveidot vidēja dziļuma viļņu zonu. Šī vidēja dziļuma viļņu zona bieži varētu būt vispiemērotākā JVS izvietojšanai, optimizējot ienākošo enerģiju un attālumu līdz patērētājiem.

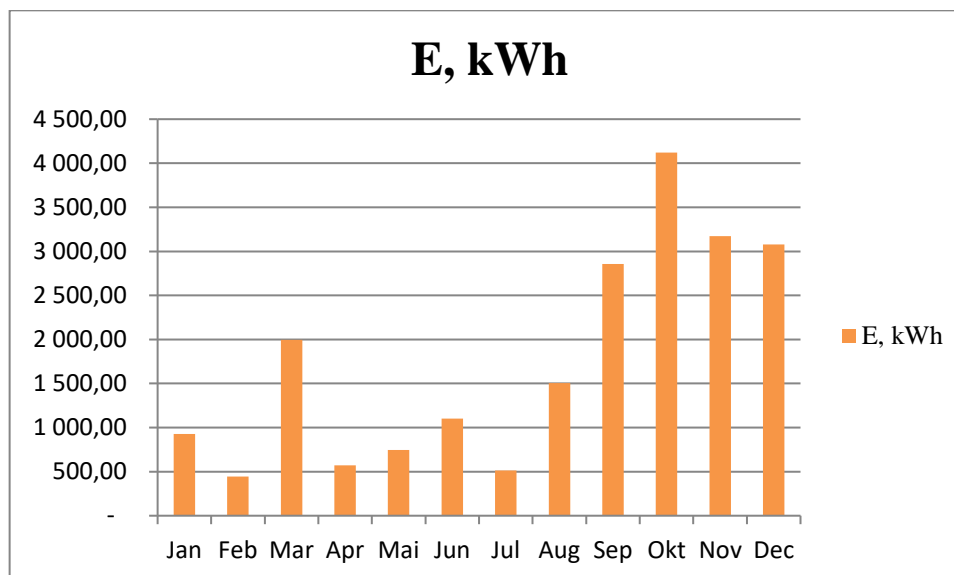




1.13. att. Vidējo viļņu sadalījums pa garumiem kontrolpunktā P1 (dziļums – 24 m) 2011. gadā  
( $x$  ass vērtības jāreizina ar 10).

#### 1.4.3.4. Enerģiju sadalījums pa mēnešiem un virzieniem

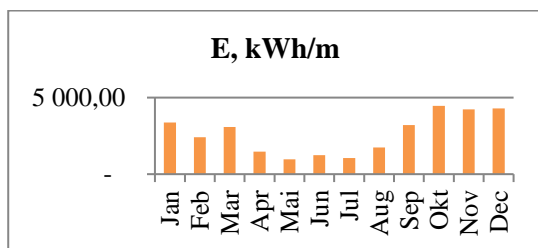
Enerģijas pārveidošanai būs svarīgs viļņu potenciāla sadalījums pa mēnešiem (1.14. att. un 1.15. att.).



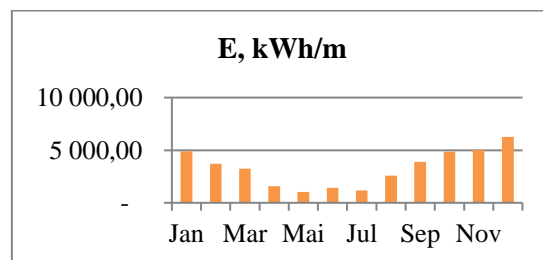
1.14. att. Kontrolpunkta P5 2010. gada enerģiju sadalījums pa mēnešiem (kWh/m) [21].



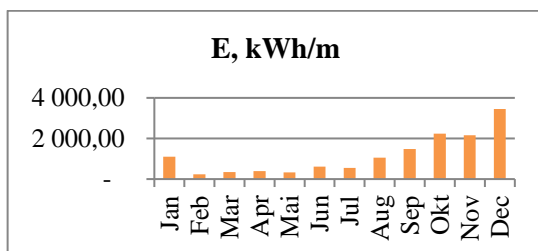
P5



P7



P6



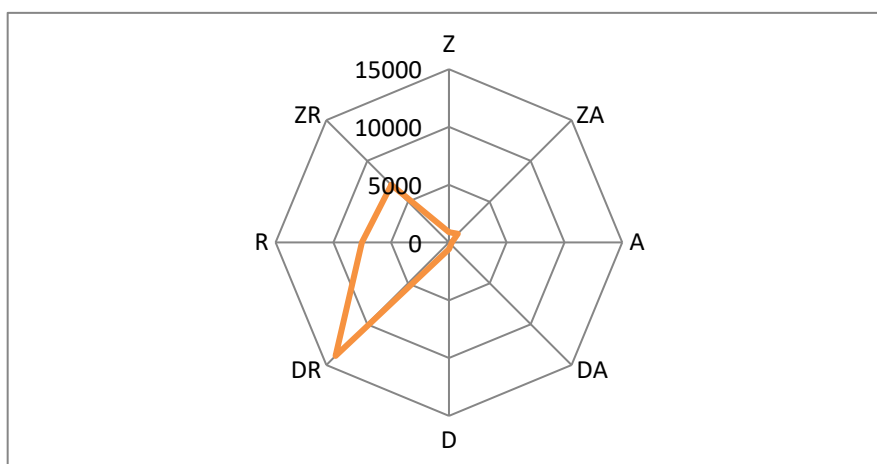
1.15. att. P5, P7 un P6 kontrolpunktu īpatnējo enerģiju (kWh/m) sadalījums pa mēnešiem [21].

Aprēķinātas un sagrupētas pa *mwd* grupām (virziens +/- 22,5°) Baltijas jūras Latvijas EEZ enerģijas potenciāls balstoties uz kontrolpunktu P5, P6 un P7 datiem (1.11. tabula) (1.16. att., 1.17. att., 1.18. att.).

1.11. tabula

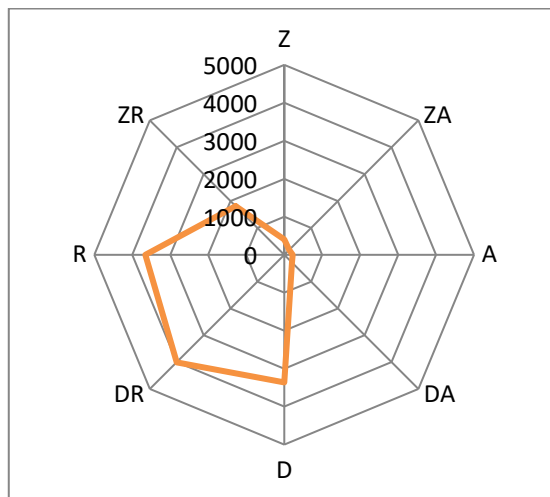
Enerģijas aprēķins izejot no kontrolpunktu P5, P6 un P7 datiem (pēc  $Z_0$  metodes [18])

	ZA	A	DA	D	DR	R	ZR	Kopā, kWh/m
<b>P5</b>	1 088,58	263,98	242,51	575,79	13 872,39	7 527,08	7 064,72	<b>31 538,34</b>
<b>P6</b>	185,04	224,14	293,47	3 361,94	4 006,71	3 655,91	1 808,86	<b>13 940,58</b>
<b>P7</b>	336,40	218,43	459,77	3 157,73	10 209,42	16 707,20	5 210,83	<b>39 692,46</b>
<b>%</b>	0,85	0,55	1,16	7,96	25,72	42,09	13,13	<b>100,00</b>
<b>Att.,km</b>	100	216	199	95	100	216	199	
<b>TWh</b>	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>	<b>0,09</b>	<b>0,30</b>	<b>1,02</b>	<b>3,61</b>	<b>1,04</b>	<b>6,46</b>

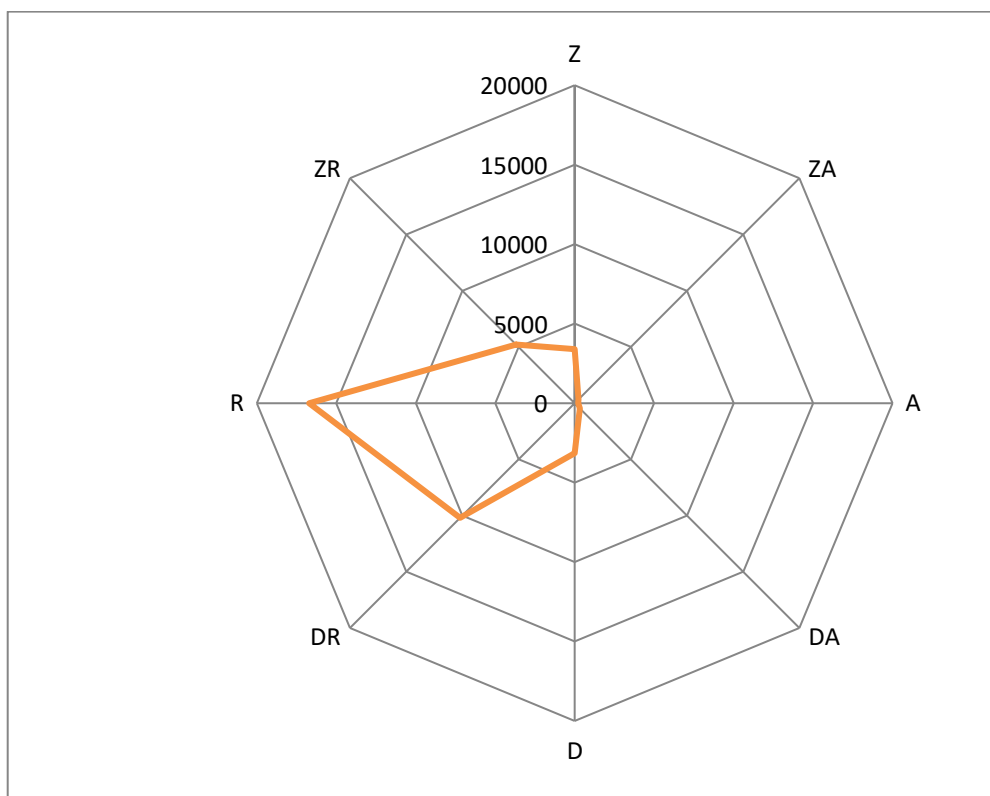


1.16. att. Vidējais īpatnējās enerģijas potenciāls kontrolpunktā P5 (dziļums 21m) (2010.–2014.) (kWh/m).





1.17. att. Vidējais īpatnējās enerģijas potenciāls kontrolpunktā P6 (dziļums – 31m) (2010.–2014.) (kWh/m).

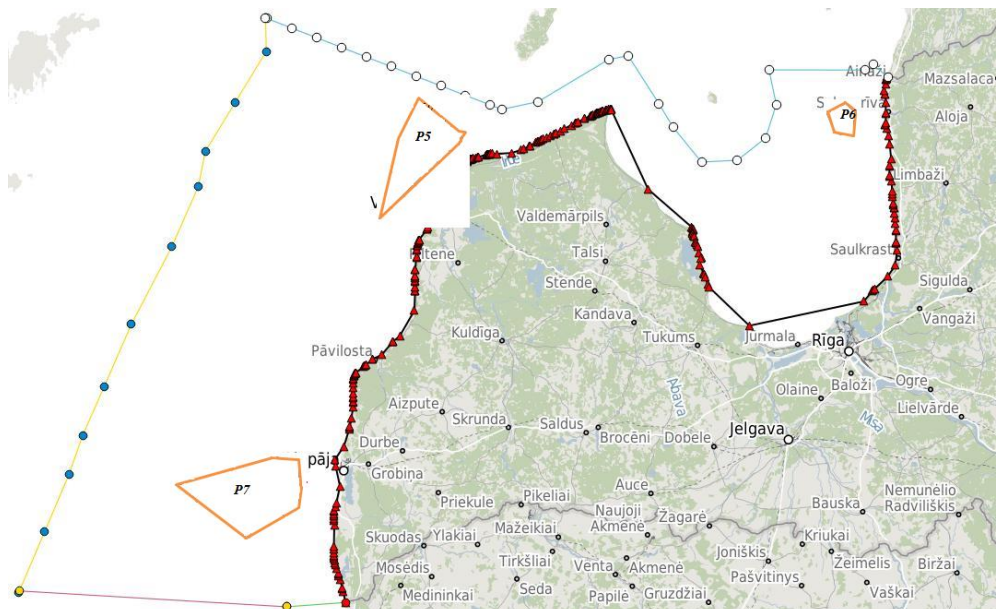


1.18. att. Vidējais īpatnējās enerģijas potenciāls kontrolpunktā P7 (dziļums – 24m) (2010.–2014.) (kWh/m)

Kontrolpunktu P5, P6 un P7 gada (vidēji no 2010.–2014.) īpatnējo enerģiju sadalījums pa virzieniem uz Baltijas jūras Latvijas *EEZ* grafisks attēls parādīts 1.20. att. [24].

Aprēķinā veikti arī īpatnējo enerģiju sadalījumi kontrolpunktos P5, P6 un P7 pa virzieniem katru mēnesi no 2010.–2014.

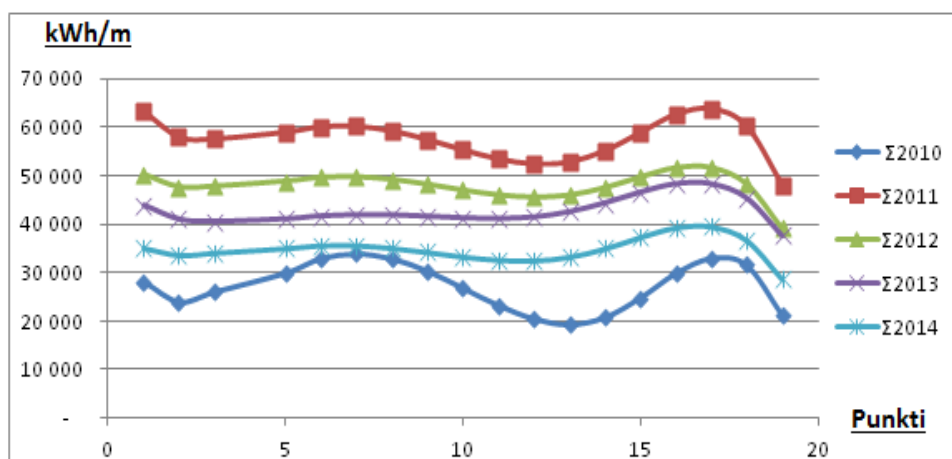




1.19. att. Kontrolpunktu P5, P6 un P7 gada (vidēji no 2010.–2014.) īpatnējo enerģiju sadalījums pa virzieniem uz Baltijas jūras Latvijas EEZ grafisks attēls (kWh/m) [24].

#### 1.4.3.5. Papildus kontrolpunktu matemātiskās modeļēšanas rezultāti

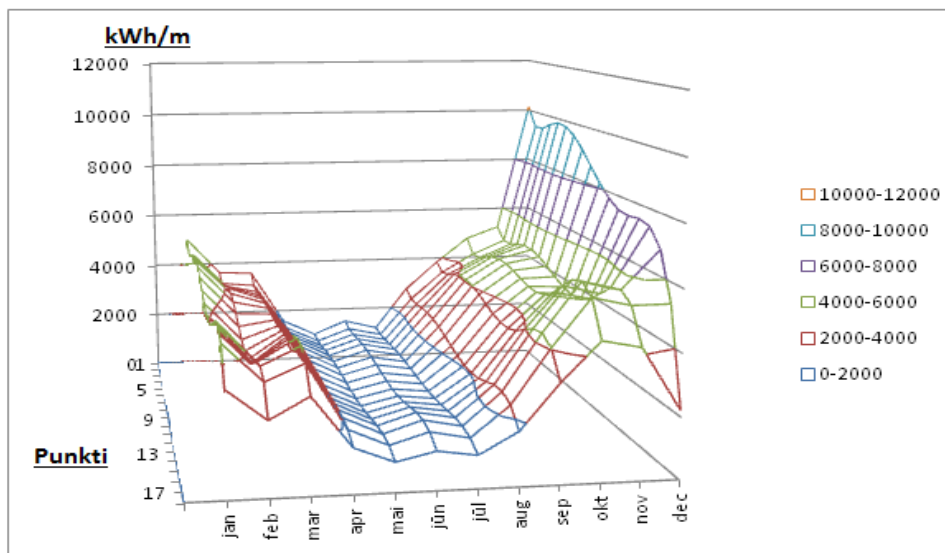
Nepieciešamība pēc papildus kontrolpunktu modeļēšanas radās lai pie mazākām ieejas datu izmaksām iegūtu ticamākus rezultātus. Tika uzmodelēti papildus 13 kontrolpunkti un iegūti īpatnējās enerģijas sadalījumi tajos (1.20. att.).



1.20. att. Baltijas jūras viļņu enerģijas gada īpatnējie viļņu enerģijas vidējie gada potenciāli (2010.–2014.) punktos P–P19 (kWh/m) [21].

Kontrolpunktos P1; P2; P3; P4; P5 un P7. ir aprēķināti, apkopoti īpatnējo potenciālu dati pa mēnešiem, kā arī interpolējot šos rezultātus, iegūts īpatnējās enerģijas potenciāla novērtējums punktos P1–P19 (1.21. att.).





1.21. att. Mēnešu vidējie (2010.–2014.) īpatnējās enerģijas potenciāli vidēji pa mēnešiem punktos P1–P19 (kWh/m) [21].

## 1. nodaļas kopsavilkums

Dažādās valstīs ir atšķirīga politika pret tām pieejamiem viļņu enerģijas potenciāliem – citas jau rada vidi šī enerģijas veida apguvei, kamēr citas nepieļauj šādu iespēju.

Katras valsts tās rīcībā esošā viļņu potenciāla izmantošanu nosaka ne tikai, bet arī šo valstu valdību pieņemtie lēmumi. Savukārt lēmumu pieņemšanu nosaka galvenokārt atbilstošo valdību izpratne par viļņu potenciālu nozīmīgumu.

Pie jebkura akvatorija viļņu potenciāla novērtēšanas ir svarīgi apzināties, kā šis akvatorijs sadalās pa zonām (dziļūdens, piekrastes un seklūdens) un kāds ir enerģijas blīvums šajās zonās. No šejienes atšķirības viļņu potenciāla rezultātos un no tiem izrietošajos secinājumos par Latvijas Baltijas jūras piekrastes viļņu enerģijas potenciāla iespējamo izmantošanu – no vienas puses akadēmiķis Tarmo Sommere, no otras Dāņu zinātnieki Urban Henfridsson, Viktoria Neimane, Kerstin Strand, Robert Kapper, Hans Bernhoff, Oskar Danielsson, Mats Leijon, Jan Sundberg, Karin Thorburn, Ellerth Ericsson un Karl Bergman. Tai pat laikā ir jārespektē T. Soomeres atdzinums par viļņu potenciāla nevienmērību.

Baltijas jūras Latvijas *EEZ* viļņu potenciāla aprēķins [21] liecina, ka:

1. Rīgas jūras līcī viļņu enerģijas daudzums uz 1 m viļņa platuma ir ap 3 reizes mazāks nekā atbilstošais rādītājs Baltijas jūras Latvijas *EEZ*. Uzskatāms, ka galvenie cēloņi ir viļņu veidošanās attālumu un ledus apstākļu atšķirībās.
2. No *DR*, *R* un *ZR* pamatvirzieniem nāk vismaz 90 % no viļņu enerģijas Baltijas jūras Latvijas *EEZ* daļā.
3. Sarežģītais enerģijas virzienu sadalījums norāda uz to ka potenciālo *JVS* izvietojums būs atkarīgs no to uztvērēju darbības leņķa diapazona.
4. Rēķinot Baltijas jūras apgabala „A” viļņu enerģijas potenciālu ar *VEVPP* metodi rezultāts ir 6,51 TWh gadā. Pielietojot salīdzinošo novērtējumu, kurš iegūts ar *Z<sub>0</sub>* metodi [18], kura



ir balstīta uz atšķirīgu kontrolpunktu izvietojuma principu, tas ir vidēji 6,46 TWh gadā (– 0.77 %) [21], iegūtie rezultāti ir tuvi, kas nozīmē, ka ar jauno *VEVPP* metodi veiktais viļņu enerģijas sadalījuma novērtējums ir ticams. Viļņu enerģijas virzienu projekcijas metode, salīdzinot ar tradicionālajām metodēm, vienmērīgāk, un pilnīgāk uzskaita dažādu virzienu enerģiju apgabalā.

5. *VEVPP* kalpo uztvērēja līnijas vai cita *JVS* izvietojuma precīzākai noteikšanai apgabalā un tai sekojošai potenciāli uztveramās enerģijas precīzākai novērtēšanai.

*JVS* iekārtu optimālam izvietojumam ir nepieciešami ieejas dati par viļņu potenciāla kopainas sastādīšanu. Šie dati ir koordinātes, dziļumi, paisuma/bēguma reģistri,  $H$ ,  $sw_h$  un  $T$ , kuri piesaistīti konkrētiem laikiem.

Optimālākai *JVS* projektēšanai ir nepieciešami dati par to, kā mainās viļņu potenciāls tā mijiedarbībā ar iekārtām. Šādus datus var iegūt modelējot *JVS* ar konkrētām iekārtām.

Viļņu virzieni vienmēr būs ietekmes faktors jebkuras *JVS* izveidē.

Viļņu enerģijas potenciāla sadalījums pa mēnešiem (1.21. attēls ) liecina, ka pastāv iespēja viļņu enerģiju kombinēt ar kādiem no vasaras periodā pieejamām enerģiju veidiem, piemēram, Saules enerģiju.



## 2. ENERĢIJAS PĀRVEIDOŠANAS IEKĀRTAS IZVĒLE

### 2.1. Iekārtu apskats

Pēdējās desmitgadēs pasaulē ir un tiek īstenoti vairāki viļņu enerģijas pārveidošanas projekti. Lūk, daži no tiem sadalījumā pa valstīm:

Portugāle:

Pasaulē pirmā viļņu spēkstacija bija Akuadura (Portugāle). Tur izmantoja trīs Pelamis viļņu enerģiju pārveidotājus ar kopējo uzstādīto jaudu 2,25 MW. Spēkstacija sāka ražot elektroenerģiju 2008. gada jūlijā [31]. Viļņu spēkstacija tika slēgta divus mēnešus pēc oficiālās atklāšanas 2008. gada novembrī sakarā ar globālās ekonomiskās krīzes izraisīto Babcock & Brown finanšu sabrukumu. Šis projekts nebija sekmīgs arī tehnisku problēmu dēļ. Projekta otrajā posmā tika plānots palielināt uzstādīto jaudu līdz 21 MW, izmantojot vēl divdesmit piecas Pelamis mašīnas [32], tomēr pēc Babčoka finansiālā sabrukuma tas netika īstenots.

Lielbritānija:

Viļņu spēkstacija Islay LIMPET tika instalēts un savienots ar Nacionālo Tīklu 2000. gadā un ir Pasaulē pirmā komerciālā viļņu darbināta instalācija. Skotija finansēja 3 MW viļņu spēkstacijā Skotijā 2007. gada 20. februārī, izmaksājot vairāk nekā 4 miljonus GBP, kā daļu no 13 miljonu GBP finansējuma paketes jūras spēkiem Skotijā. Pirmā mašīna tika iedarbināta 2010. gada maijā [33]. Vides centrs, kurš pazīstams kā viļņu centrs, ir izveidots Anglijas Kornvolas Ziemeļu krastā, lai veicinātu viļņu enerģijas apgūšanu. Viļņu centrmezgls darbosies kā milzīga kabeļu sistēma, kura ļaus savienot viļņu enerģijas ražošanas ierīces ar elektrotīklu. Viļņu centrmezgls sākotnēji ļaus pieslēgt 20 MW jaudas, ar iespējamo paplašināšanos līdz 40MW. Četri ierīču ražotāji līdz šim ir izrādījuši interesi tam pieslēgties [34], [35]. Zinātnieki ir aprēķinājuši, ka viļņu enerģijai, kura savākta pie viļņu centra, pietiek, lai darbinātu līdz pat 7500 mājāsaimniecībām. Nākamajos 25 gados kopš projekta izveides vietne var ietaupīt siltumnīcefekta gāzu emisijas aptuveni 300 000 tonnu oglekļa dioksīda [36]. Stratclades universitātes un Imperiālās koledžas 2017. gada pētījums liecina, ka nav izveidojušās lietošanai gatavas viļņu enerģijas ierīces neraugoties uz to, ka Lielbritānijas valdība pēdējo 15 gadu laikā ir veltījusi vairāk nekā 200 miljonus GBP šim nolūkam [37].

Austrālija:

„Bombora viļņu spēks” [38] atrodas Perth (Rietumaustriālija), un šobrīd izstrādā *mWave* [39] elastīgu membrānas pārveidotāju. Pašlaik Bombora gatavojas komerciālam izmēģinājuma projektam Peniche (Portugāle).

*CETO* viļņu spēkstacija pie Rietumaustriālijas krastiem darbojas, lai pierādītu komerciālo dzīvotspēju, un pēc iepriekšējas ietekmes uz vidi novērtējuma tika attīstīta tālāk [40], [41]. 2015. gada sākumā tīklam tika pieslēgta 100 miljonu ASV dolāru multi MW sistēma, no kuras tika nopirkta visa elektroenerģija, kura tika pārdota *HMAS Stirlingas* jūras spēku bāzei. Divas pilnīgi iegremdētas bojas, kuras tika piestiprinātas jūras gultnei, pārveido okeāna viļņu enerģiju hidrauliskā spiediena veidā uz sauszemes. Tas piedzen elektrogeneratoru, kā arī ražo saldūdeni. 2015. gadā tika plānots uzstādīt trešo boju. [42], [43].



*Ocean Power Technologies (OPT Australasia Pty Ltd.)* 19MW jaudas viļņu spēkstacija, kura savienota ar tīklu netālu no Viktorijas (Portlandes). Projekts ir saņēmis Austrālijas finansējumu 66,46 miljonus ASV dolāru apmērā [44].

*Oceanlinx* līdz 2013. gada beigām paredzēja izveidot komerciālā mēroga demonstrācijas ierīci Port MacDonnell (pie Dienvidaustrālijas krastiem). Šai ierīcei ar nosaukumu *GreenWAVE* elektriskā jauda ir 1MW. Šo projektu atbalstīja *ARENA*, izmantojot jauno atjaunojamo enerģijas avotu programmu. *GreenWAVE* ierīce ir grunts stiepes gravitācijas struktūra, kura neprasa enkurojumu vai pamatus jūras gultnē un tā ir bez kustīgām daļām zem ūdens virsmas [45].

ASV:

Reedsport, Oregona – komerciāla viļņu spēkstacija ASV Rietumu krastā, kura atrodas 2,5 jūdžu attālumā no krasta, netālu no Reedsportas (Oregona). Šī projekta pirmais posms tika paredzēts desmit *PB150 PowerBuoys* jeb 1,5MW jaudas. [46], [47] Reedsport spēkstacija tika plānota uzstādīt 2013. gada pavasarī [48]. 2013. gadā juridisko un tehnisko problēmu dēļ projekts tika apturēts [49].

Kaneohe Bay Oahu, Hawaii – flotes enerģijas izpētes vieta (*WETS*), kurš pašlaik izmēģina Azura viļņu barošanas ierīci [50]. Azura viļņu barošanas iekārta ir 45 tonnu viļņu enerģijas pārveidotājs, kurš atrodas 30 m dziļumā Kaneohe Bay [51].

Eugen Rusu darbā „Evolution of the Wave Energy Conversion Efficiency in Various Coastal Environments” sniedz informāciju par viļņu stāvokļiem un viļņu enerģijas pārveidošanas efektivitāti trīs dažādos piekrastes vides veidos: okeāna piekrastes kontinentālās daļas (Ibērijas rietumu krasts), salu vidi (Kanāriju salu un Madeiras arhipelāgs) un jūras vidi (Melnā, Kaspijas un Ziemeļjūras). Apskatā ir novērtēti vairāki pārveidotāju veidi, kuri aptver lielu diapazonu no esošajām piekrastes un jūras iekārtām [52]. Autors uzskata, ka nākotne pieder pārveidotājiem ar maināmu jaudu. Autors raksta, ka efektivitātes līknes iekārtām dod to ražotāji un apgalvo pašsaprotamu lietu, ka dažādos viļņu apstākļos vienai un tai pašai iekārtai būs dažādi enerģijas pārveidošanas daudzumi, jo tā strādās dažādos efektivitātes līknes diapazonos.

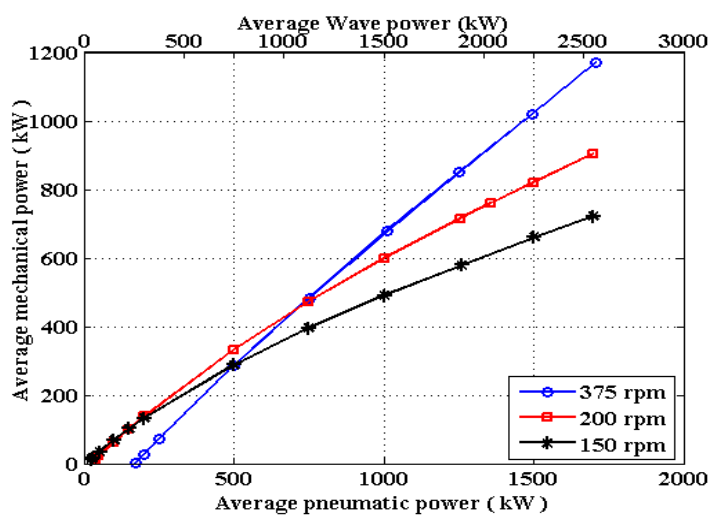
Autori V. Jayashankar, K. Mala, S. Kedarnath, J. Jayaraj, U. Omezhan, V. Krishna raktā „Design of a 100GWh Wave Energy Plant” [53] augsti novērtē oscilējošās kolonnas perspektīvas ražot komerciālu elektroenerģiju. Tiek aprakstītas iekārtas ar vidējo enerģiju 24kW/m un spēju ražot 100 GWh divos gados. Projekts paredz apvienot vairākas kolonnas vienā modulī. Simulācijas rāda, ka turbīnas efektivitāte var pārsniegt 60 % no (10–100 %) nominālās jaudas. Ir pierādīts, ka apmēram 660 m viļņu garums ar 11 turbīnu generatoriem ir pietiekams, lai atbilstu projektēšanas prasībām, un vidējais vilnis nodrošina efektivitāti aptuveni 36 %. 60 %, protams, ir augsts lietderības koeficients, tomēr iekārta ir ļoti masīva, un tāpēc, domājams – dārga (2.1. att.).



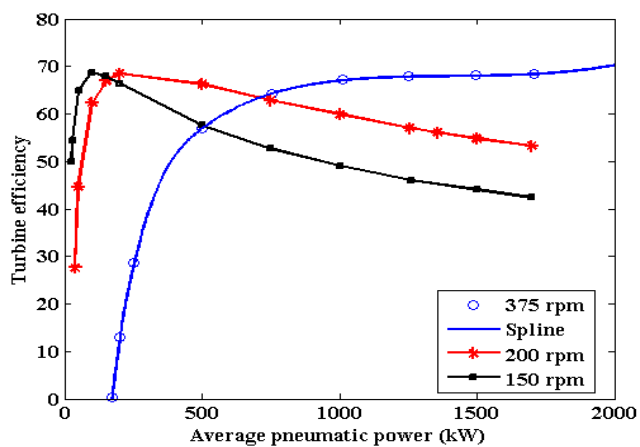


2.1. att. Indiānas viļņu enerģijas pārveidotājs (OWC) [53].

Tiesa augstais lietderības koeficients ir rēķināts nevis no viļņa jaudas, bet gan no vidējās gaisa plūsmas jaudas. To pamato divas diagrammas no raksta (2.2. att., 2.3. att.) [53].



2.2. att. 4,5 m turbīnas vidējās mehāniskās jaudas pie mainīga ātruma [53].



2.3. att. 4,5 m turbīnas vidējā efektivitāte pie mainīga ātruma [53].

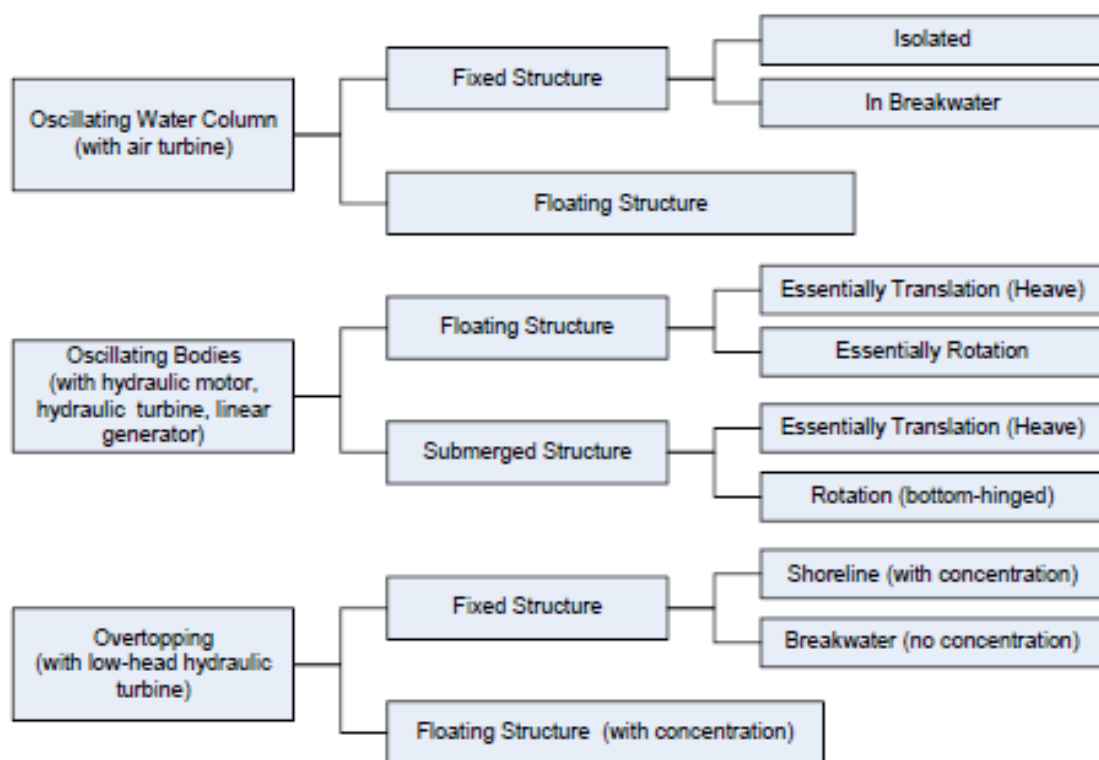


Tas nozīmē, ka patiesībā te labākajā gadījumā te runa ir par efektivitāti ap 30 %. Tik masīva iekārta pie 30 % efektivitātes jau izskatās mazāk pievilcīga.

Promocijas darbā ir apskatītas 370 viļņu pārveidošanas iekārtas, no kurām interesantākās 119 ir pievienotas darba 1. pielikumā.

## 2.2. Iekārtu klasifikācija

Vērtējot šī brīža notiekošo Pasaulē viļņu pārveidošanas jomā, izrādās, ka aktīvi ir ap 240 dažādu projektu un. Iekārtas atšķiras pēc to darbības principiem, pēc kuriem tās var saklasificēt. *ITTC* rakstā „Wave Energy Converter Model test experiments” [54] tiek sniegta viļņu pārveidošanas iekārtu novērtēšana atkarībā no tā vai struktūra ir fiksēta vai peldoša (2.4. att.).



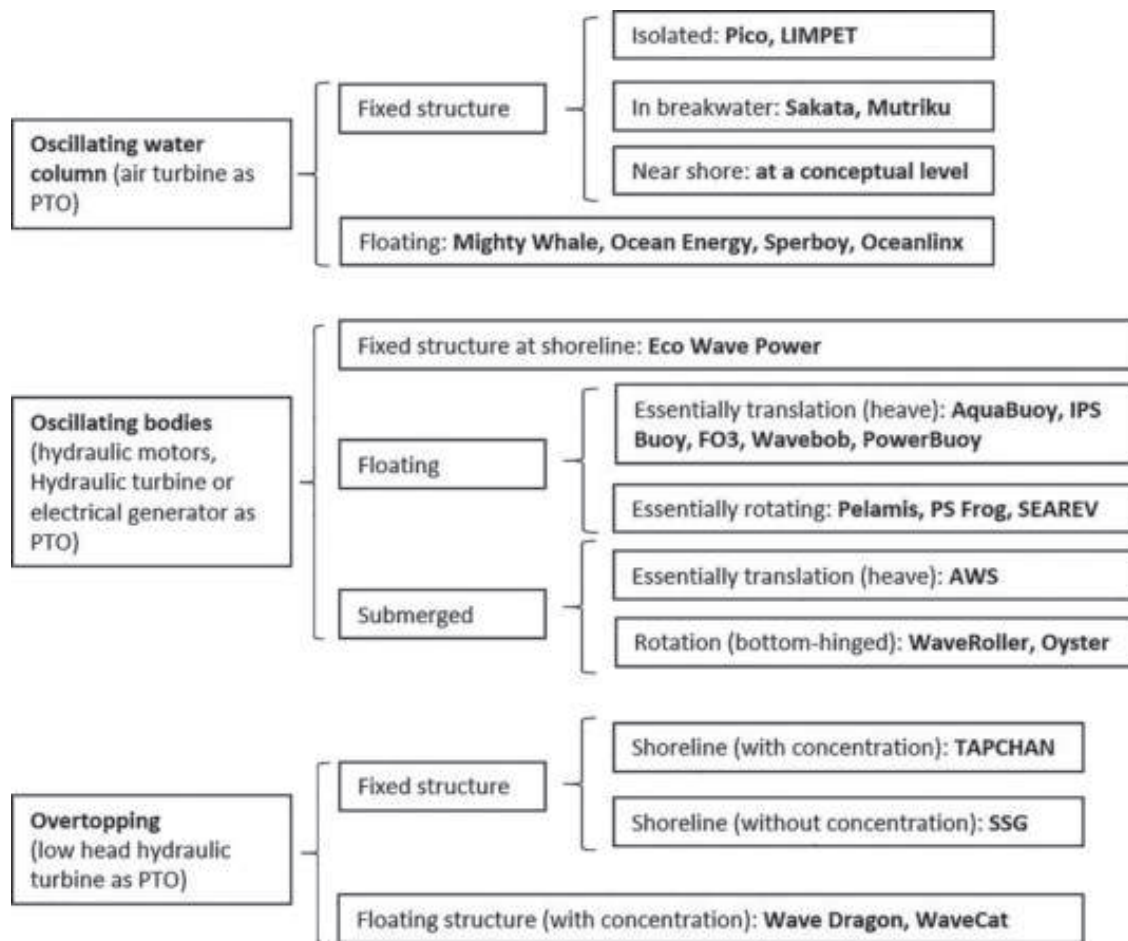
2.4. att. *ITTC* viļņu pārveidošanas iekārtu klasifikācija [54].

*IRENA* rakstā „Wave Energy technology Brief” [55] arī iekārtu klasifikācijas pamatprincips balstās uz to, vai struktūra ir fiksēta vai peldoša un tad sīkāk izvērstā atkarībā no izvietojuma vietas (2.5. att.).

Piedāvājam iekārtas klasificēt pēc darbības principa un izvietojuma zonas – seklūdens, vidēja dziļuma un dziļūdens zonām. (2.1. tabula).

Piedāvājam viļņu pārveidošanas iekārtas novērtēt un salīdzināt pēc mūsu izvirzītiem kritērijiem un izvietojuma iespējamības zonas. (2.1. tabula).

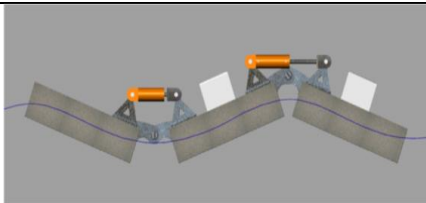
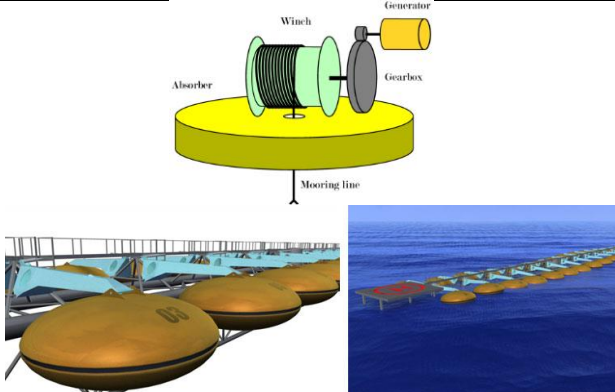




2.5. att. IRENA viļņu pārveidošanas iekārtu klasifikācija [55].




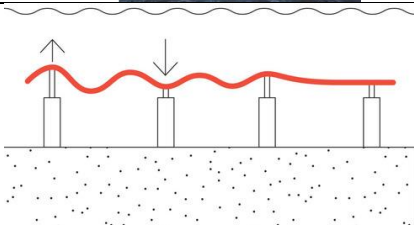


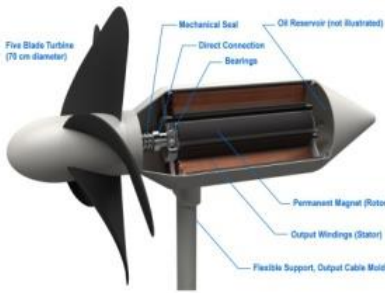

2.1. tabula

Viļņu pārveidošanas iekārtu klasifikācija

	Pārveidotāja tips	Ilustrācija	Krasta zona	Vidēja dziļuma zona	Dziļūdens zona
1	Virsmas slāpētāji [56]			X	X
2	Pludiņa tipa absorbētājs [57], [58], [59]		X	X	X



2.1. tabulas turpinājums

	Pārveidotāja tips	Ilustrācija	Krasta zona	Vidēja dziļuma zona	Dziļūdens zona
3	Svārstošs viļņu plūsmas pārveidotājs [60]		X		
4	Gaisa spiediena kamera [61]		X	X	X
6	Pārplūdes pārveidotājs [62]		X	X	X
7	Zemūdens spiediena starpības uztvērējs [63],[ 64]		X	X	
8	Gaisa burbuļa dzinējs [65]			X	X
9	Rotējoša masa [66]			X	X
10	Plūsmas turbīna ar horizontālu asi [67]		X	X	
11	Plūsmas turbīna ar vertikālu asi [68]		X	X	X



## 2.3. Pārveidotāja modelis

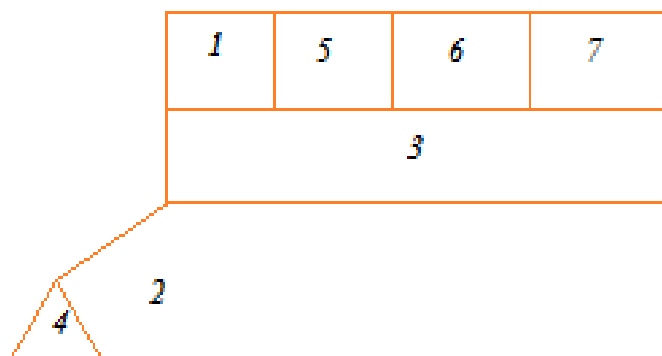
### 2.3.1. Viļņu pārveidošanas iekārtas blokshēma

Pasaulē ir radītas iekārtas ar dažādu attiecību *CAPEX*, *OPEX* un lietderības koeficientu raksturlielumiem. Pie dažādām elektroenerģijas vairumtirdzniecības cenām kļūs izdevīgāk lietot vienas vai citas iekārtas un/vai papildināt spēkstaciju ar papildus iekārtu rindu. Tomēr, ņemot vērā iespējamās *JVS* investīciju apjomus un viļņu potenciāla nevienmērību sezonas laikā, optimālāk būtu izvēlēties iekārtas, ar kurām var nodrošināt pakāpenisku *JVS* paplašināšanu un viļņu potenciāla apgūšanu. Tātad *JVS* iekārtai ir jābūt tādai, kura var nodrošināt konkurētspējīgu *LCOE* atbilstoši laikam. Savukārt šo iekārtu blokshēmai – tādai, kura atbilst šādai iekārtai.

*JVS* iekārtas blokshēmu nosaka tās funkcijas, kuras tai ir jāizpilda:

- a) viļņu enerģijas uztveršana,
- b) uztvērēja pozicionēšana darba virzienā,
- c) uztvērēja pozicionēšana optimālā dziļumā attiecībā pret *jvl.* (2.6. att.),
- d) iekārtas noenkurošana ar mērķi saglabāt tās atrašanās pieļaujamo lokāciju,
- e) uztvertās enerģijas pārveidotājs,
- f) viļņu enerģijas pārveidošana mainīgas *AC* enerģijā,
- g) mainīgas *AC* enerģijas pārveidošana *DC* enerģijā.

Tādejādi *JVS* iekārtas blokshēma sastāv no sešām komponentēm/ mehānismiem (2.2. tabula).



2.6. att. *JVS* iekārtas blokshēma.

1. Uztvērējs;
2. Pozicionēšanas mehānisms;
3. Elevators;
4. Enkurojums;
5. Pārveidotājs;
6. *AC* ģenerators;
7. *AC/DC* konvertors.



JVS iekārtas blokshēmas komponentes un funkcijas

<b>JVS iekārtas funkcija</b>	<b>Funkcijas nodrošināšanas mehānisms</b>
Viļņu enerģijas uztveršana	Uztvērējs
Uztvērēja pozicionēšana darba virzienā	Pozicionēšanas mehānisms
Uztvērēja pozicionēšana optimālā dziļumā	Elevators
Iekārtas noenkurošana	Enkurojums
Uztvertās enerģijas pārveidotājs	Pārveidotājs
Viļņu enerģijas pārveidošana mainīgas AC enerģijā	AC ģenerators
Mainīgas AC enerģijas pārveidošana DC enerģijā	AC/DC konvertors

### 2.3.2. Apskatītās tehnikas analīze

Raksturosim apskatītās iekārtas:

Virsmas slāpētājiem ir ierobežotas iespējas tos pasargāt no pārmērīgi lieliem viļņiem iegremdējot dziļāk zem *jvl*. Un ir nepieciešams pozicionēšanas mehānisms attiecībā pret *mwd*. Brīvi peldošiem pludiņa tipa absorbētājiem tehniski sarežģīts būs elektro-pievada risinājums. Nostiprinātiem pludiņa tipa pārveidotājam būs komplicēts iegremdēšanas mehānisms lai to pasargātu no pārmērīgi lieliem viļņiem. Svārstošam viļņu plūsmas pārveidotājiem grūtības radītu akvatoriji ar lielām paisuma/bēguma svārstībām. Gaisa spiediena kameras un pārplūdes pārveidotāju iekārtas ir masīvas un materiālu ietilpīgas. Zemūdens spiediena diferenciāļi ir atkarīgi no paisuma/bēguma situācijas un nereti grūti pozicionējami attiecībā pret *mwd*. Gaisa burbuļa dzinēja mehānismi ir viegli pozicionējami pret *mwd*. un pasargājami no pārmērīgi lieliem viļņiem. Tomēr tie ir materiālu ietilpīgi. Turbīnas ar horizontālu asi ir viegli pozicionējamas attiecībā pret *mwd*. Lāpstīņu diametru ierobežo ne tikai to ārējās aploces vektoriālā ātruma limits, bet arī griezes momenta atšķirības starp lāpstīņām sakarā ar to atrašanos dažādos dziļumos.

Izmantot jau izstrādātu iekārtu būs dārgi.

Šajā darbā piedāvājam balstīt viļņu pārveidošanas iekārtu analīzi uz konservatīviem principiem:

1. Seklūdenī viļņu enerģija refleksijas un refrakcijas dēļ būtiski samazinājusies. Tāpēc iekārtas, kuras paredzētas šai zonai ignorējam;
2. Dziļūdens zona atrodas pārāk tālu no tradicionāliem enerģijas patērētājiem. Tāpēc tās ir vērts paturēt kā nākotnes iekārtas tiem patērētājiem, kuri šo zonu tuvumā tiks radīti;
3. Izvirzām vidēja dziļuma zonu kā perspektīvo, jo tā atrodas tuvāk tradicionālajiem enerģijas patērētājiem un tajā ir dabiski optimizējušies lielo viļņu parametri, kuri atrodas tālu no viļņu enerģijas blīvuma centra. Savukārt tos viļņus, kuri dod galveno enerģiju jūras gultne ir ietekmējusi mazāk. Tāpēc izvēlamies kā perspektīvās iekārtas tās, kuras piemērotas šai zonai.



Apskatot viļņu pārveidošanas iekārtu apskatu, secinām, ka visas iekārtas var strādāt vidēja dziļuma zonā. Tāpēc acīmredzot ir jāizvirza papildus kritēriji lai izvēlētos perspektīvās iekārtas. Kā papildus kritērijus var izvirzīt perspektīvo iekārtu darbībai nepieciešamos kritērijus:

1. Iegremdēšanas dziļuma mainīšanas iespēju un/vai šīs iespējas vienkāršumu;
2. Iekārtas pozicionēšanu pret *mwd* un/vai šīs pozicionēšanas vienkāršumu.

Novērtēsim iekārtas (2.1. tabula) izejot no šiem diviem izvirzītajiem kritērijiem (2.3. tabula).

2.3. tabula

Viļņu pārveidošanas iekārtu novērtējums pēc to iegremdēšanas vienkāršuma un pozicionēšanu pret *mwd*

	<b>Pārveidotāja tips</b>	<b>Iegremdēšana</b>	<b>Pozicionēšana pret <i>mwd</i></b>
1	Virsmas slāpētājs	Sarežģīta	Nepieciešams mehānisms
2	Pludiņa tipa pārveidotājs	Sarežģīta	Mehānisms nav nepieciešams
3	Svārstošs viļņu plūsmas pārveidotājs	Sarežģīta	Nepieciešams mehānisms
4	Gaisa spiediena kamera	Sarežģīta	Var būt nepieciešams mehānisms
5	Pārplūdes pārveidotājs	Ļoti sarežģīts	Var būt nepieciešams mehānisms
6	Zemūdens spiediena starpības uztvērējs	Var būt nepieciešams mehānisms	Var būt nepieciešams mehānisms
7	Gaisa burbuļa dzinējs	Sarežģīta	Nepieciešams mehānisms
8	Rotējoša masa	Sarežģīta	Nav nepieciešams mehānisms
9	Plūsmas turbīna ar horizontālu asi	Ir nepieciešams mehānisms	Ir nepieciešams mehānisms
10	Plūsmas turbīna ar vertikālu asi	Ir nepieciešams mehānisms	Nav nepieciešams mehānisms

Balstoties uz 2.3. tabulā veikto novērtējumu, ir vērts apskatīt 6. pozīciju (zemūdens spiediena starpības pārveidotāju) un 10. pozīciju (plūsmas turbīnu ar vertikālu asi). Lai izvēlētos perspektīvāko no šiem diviem iekārtu veidiem, izvirzīsim papildus kritērijus:

1. Iespēja fiksēt uztvērēju nepieciešamā dziļumā;
2. Iespēja pārveidot viļņa enerģiju rotācijas kustībā.

Salīdzināsim divus izvēlētos iekārtu veidus balstoties uz šiem kritērijiem (2.4. tabula).



Tādejādi izvēlētā iekārta ir turbīna ar vertikālu asi.

2.4. tabula

Viļņu pārveidošanas iekārtu novērtējums pēc to iespējas fiksēt uztvērēju noteiktā dziļumā un iespējas viļņu spēku pārvērst rotācijas kustībā

	Pārveidotāja tips	Iespēja fiksēt	Iespēja pārvērst rotācijā
7	Zemūdens spiediena starpības pārveidotājs	Sarežģīta	Sarežģīta
11	Turbīna ar vertikālu asi	Vieglāk risināma	Elementāra

### 2.3.3. Izvēlētās tehnikas pamatojums

Tehnikas izvēles pamatojums balstās uz veikto iekārtu analīzi. Neraugoties uz to, ka turbīnas diametru arī ierobežo tās aplozes vektoriālais ātrums, tomēr šī tipa turbīnām nav nepieciešams pozicionēšanas mehānisms attiecībā pret *mwd*. Tas nozīmē, ka 2.6. att. ilustrētajā blokshēmā 2. pozīcija konkrētajā mehānismā jau ir iestrādāta pašā mehānismā. Šāda tipa turbīnas iespējams kombinēt ar ofšoru vēja parkiem, par ko ir sagatavots patenta pieteikums promocijas darba kontekstā.

Jebkurai no jauna izstrādājamai iekārtai pirms *TRL* 9 stadijas veikšanas ir nepieciešams aplēst svarīgākos parametrus, kuri nosaka kāds ir šīs iekārtas izdevīgums. Definēsim, kādi ir šie parametri:

1. Sagaidāmās kapitāla izmaksas (*CAPEX*);
2. Sagaidāmās ekspluatācijas izmaksas (*OPEX*);
3. Iekārtas lietderības koeficienta līkne.

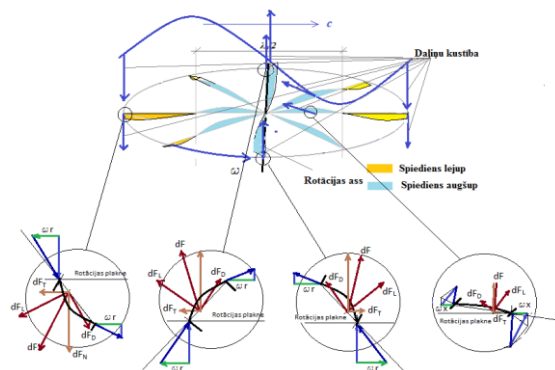
*CAPEX* ir jāsadala divās komponentēs, jo daļa no šī izdevuma posteņa var būt kredīta procenti, kuru likmes ir atkarīgas tikai no finansu tirgus, bet ne no tehniskā risinājuma. Tiesa – kredīta procentu kopējā summa naudas izteiksmē ir atkarīga no aizņēmuma daļas ieguldījumos. Tāpēc ir svarīga *CAPEX* otra daļa – ieguldījumi. Iespējams, veiksmīgākais ieguldījumu novērtējuma rādītājs ir iekārtas amortizācija, jo tā ir atkarīga no sākotnējā ieguldījuma un nolietošanās laika.

*OPEX* ir atkarīgas no tehnisko apkopju (*TA*) un remontu (*R*) izmaksām.

Iekārtas izmantošanas koeficienta līkne būs atkarīga no tā, cik efektīvi tā pārveido viļņos pastāvošos spēkus konkrētajos viļņu potenciāla apstākļos.

Nemot vērā iepriekš definētos parametrus izvērtējot iekārtu apskatā minētās iekārtas izvēlētais viļņu pārveidošanas modelis ir turbīna ar vertikālu rotācijas asi un pašregulējošām lāpstiņām (*PL*) (2.7. att.).





## 2.7. Turbīna ar vertikālu rotācijas asi un *PL*.

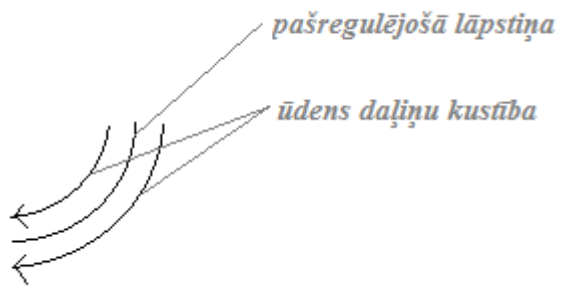
Novērtēsim, kā izvēlētais iekārtas modelis atbilst izvirzītajiem kritērijiem:

1. *CAPEX* – iekārtas vienkāršības dēļ kapitāla izmaksas varētu būt zemas. Tomēr pastāv iespēja, ka *PL* uzbūve un arī materiāli varētu radīt sadārdzinājumu. Iekārtai nav vajadzīgs pozicionēšanas mehānisms attiecībā pret *mwd*, jo tā vienmēr atrodas darba pozīcijā. Tomēr tai ir nepieciešams elevēšanas mehānisms un nostiprināšanas konstrukcijas.
2. *OPEX* – iekārtas vienkāršības dēļ, tai varētu būt nelielas *TA* izmaksas. Tomēr nav zināms, cik ilgmūžīgas būs *PL* kustošo daļas, kas varētu sadārdzināt uzturēšanas izmaksas. *PL* kustošo daļu nomaiņa varētu būt salīdzinoši vienkārša, jo darbi var tikt veikti paceļot ar elevācijas mehānismu turbīnu virs ūdens, kā arī pati *PL* demontāža/montāža arī varētu būt vienkārša. *PL* materiālu ilgmūžību varēs precizēt pēc atbilstošo materiālu izvēles vai izstrādes.
3. Lietderības koeficienta līkne – turbīnas *PL* mehānisma piemērotība viļņa spēku uztveršanai un citu turbīnas parametru atbilstība varētu nodrošināt labu lietderības koeficienta raksturlīkni konkrētā akvatorijā apstākļiem. Tiesa – bažas rada turbīnas ātruma ierobežojumi vides pretestības dēļ un mainīgais griezes moments uz *PL*, kas rada kopējā griezes momenta zudumus.

Sekojošā principam par iespējami mazāku enerģijas vienības izmaksas iegūšanas nepieciešamību, būtu jāizvēlas viļņu enerģijas pārveidošanas mehānismi, kuriem ir mazāki *CAPEX* un *OPEX* attiecībā pret saražoto enerģiju. Tomēr, pieaugot elektroenerģijas cenām, būs nepieciešamība intensificēt viļņu enerģijas pārveidošanu.

Vēlamai reaktīvai ūdens daļiņu kustībai ap *PL* ir jābūt pēc iespējas perpendikulārai rotācijas asij (2.8. att.).





2.8. att. Ūdens daļiņu kustība ap pašregulējošo lāpstīņu.

## 2. nodaļas kopsavilkums

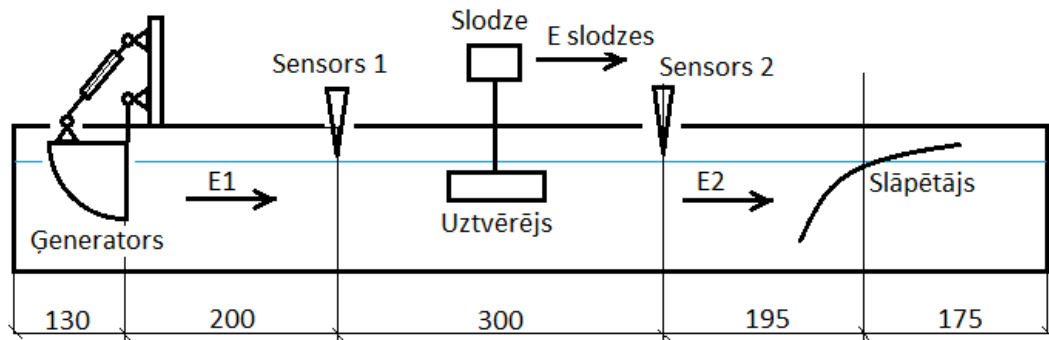
1. Pasaulē ir interese par viļņu tehniku, šobrīd nav atdzītas tehnikas, kura dod vispusējas priekšrocības, izvēles metodoloģijas nav.
3. Turbīna ar vertikālu asi un pašregulējošām lāpstīņām varētu būt perspektīva viļņu enerģijas pārveidošanas iekārta.



### 3. LABORATORIJA UN VIĻŅU PĀRVEIDOŠANAS MODEĻU IZMĒGINĀJUMI

#### 3. 1. Laboratorijas apraksts

Lai varētu veikt viļņu pārveidošanas iekārtu modeļus tika izveidota laboratorija, kurā ietilpa 1,25m dziļš, 1,0m plats un 10,0m garš baseins. Baseins tika aprīkots ar viļņu ģeneratoru, viļņu pārveidošanas modeļa instalācijas aprīkojumu, viļņu parametru mērīšanas un datu arhivēšanas aprīkojumu, kuram izveidotas divas datorprogrammas un viļņu slāpētāju (3.1. att.) [69].



3.1. att. Laboratorijas sastāvdaļu principiālā shēma [69].

Bez tam viļņu baseins aprīkots ar ūdens pieplūdes, novadīšanas un sānu novērošanas aprīkojumu un dažiem rokas mērinstrumentiem un foto/video kameru.

##### 3.1.1. Viļņu ģenerators

Viļņu radīšanai izveidojām ģeneratoru, ar kura palīdzību var regulēt viļņu parametrus  $T$  un  $H$ . Viļņu ģenerators sastāv no rāmī iekārta peldoša svārsta, kuru groza ap asi pneimocilindrs (3.2. att.).



3.2. att. Viļņu ģenerators.

Pneimo sistēmai saspiesto gaisu ražo kompresors (3.3. att.).





3.3. att. Pneimosistēmas kompresors.

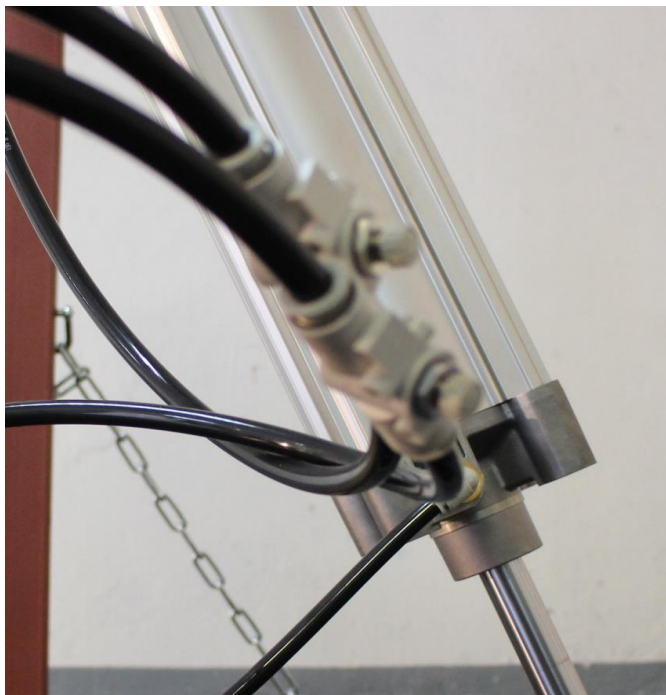
Nepieciešamo spiedienu sistēmā nodrošina spiediena regulators (3.4. att.).



3.4. att. Spiediena regulators.

Spiedienu regulēšanu pneimocilindru galos veic ar manuāli regulējamiem ventiļiem (3.5. att.).





3.5. att. Manuāli regulējami ventīļi.

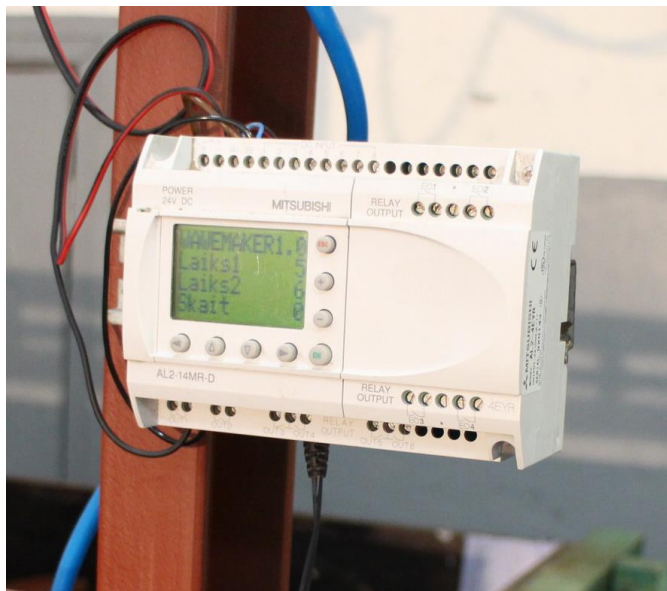
Gaisa spiediena impulsu funkciju veic sadalītājs (3.6. att.).



3.6. att. Sadalītājs.

Sadalītāja darba režīmus iestāda ar procesoru (3.7. att.), tādējādi iestādot viļņus radošā svārsta gājiena frekvenci un attālumu.

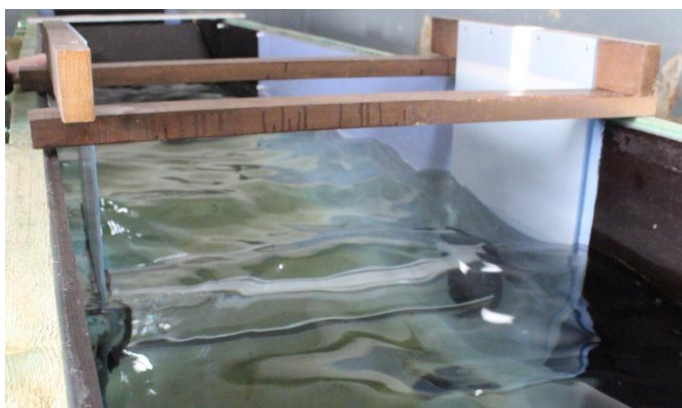




3.7. att. Procesors.

### 3.1.2. Viļņu pārveidošanas modeļa instalācijas aprīkojums

Viļņu pārveidošanas modeļu instalācijas aprīkojums tika pielāgots katra modeļa veidam (3.8. att.).



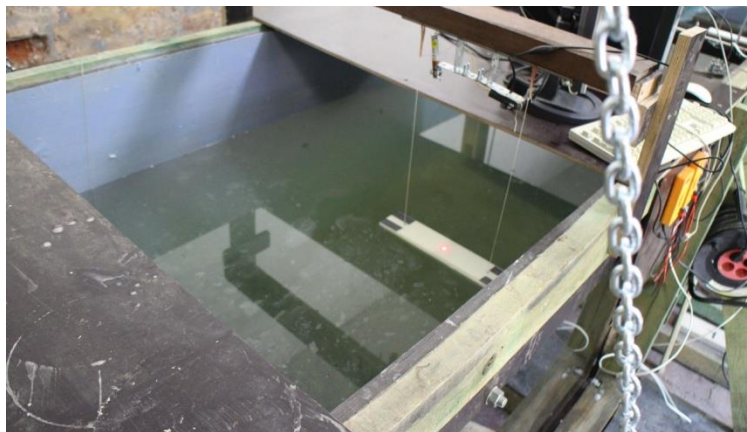
3.8. att. Viļņa modeļu instalācijas aprīkojums.

### 3.1.3. Viļņu parametru mērīšanas un datu arhivēšanas aprīkojums

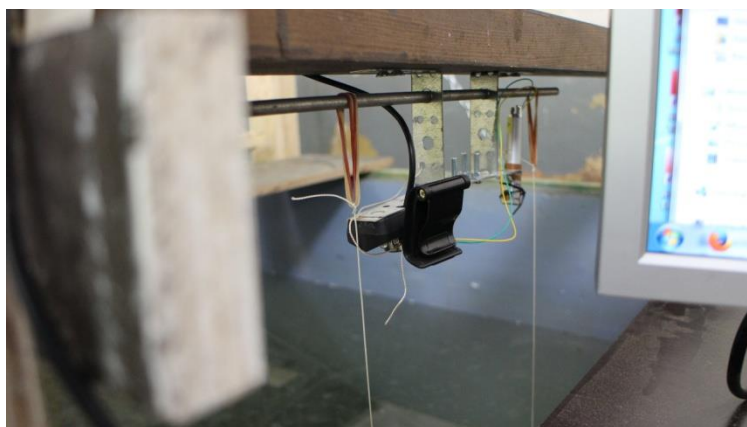
Viļņu parametru mērīšanas un arhivēšanas aprīkojums sastāv no:

1. Diviem putuplasta pludiņiem, kuri kopē ūdens virsmas svārstības (3.9. att.);
2. Diviem lāzera sensoriem, kuri uztver pludiņu svārstības, un nodod signālus tālāk procesoram (3.10. att.);
3. Datu analizators, kurā tiek saņemti un apstrādāti signāli un arhivēti dati (3.11. att.);
4. Datu uztveršanas/apstrādes procesorā tika instalētas divas datorprogrammas signālu saņemšanai, apstrādāšanai un datu arhivēšanai.

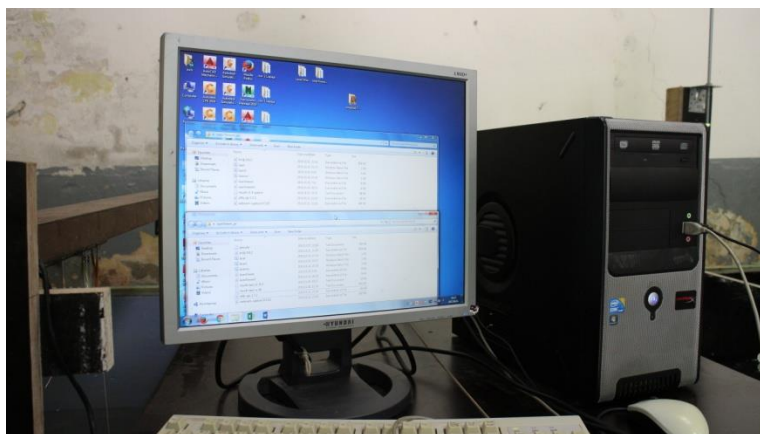




3.9. att. Pludiņš.



3.10. Lāzera sensors.



3.11. Datu analizators.

Precizēsīm, kā strādā lāzera sensors.

Attāluma noteikšanai izveidota sensora optiskā shēma (3.12. att.) [69], kura balstīta uz ūdenī peldoša pludiņu-ekrānu īpaši virzīta lāzera stara fokusa punkta nobīdes no sensora optiskās ass fiksēšanu.

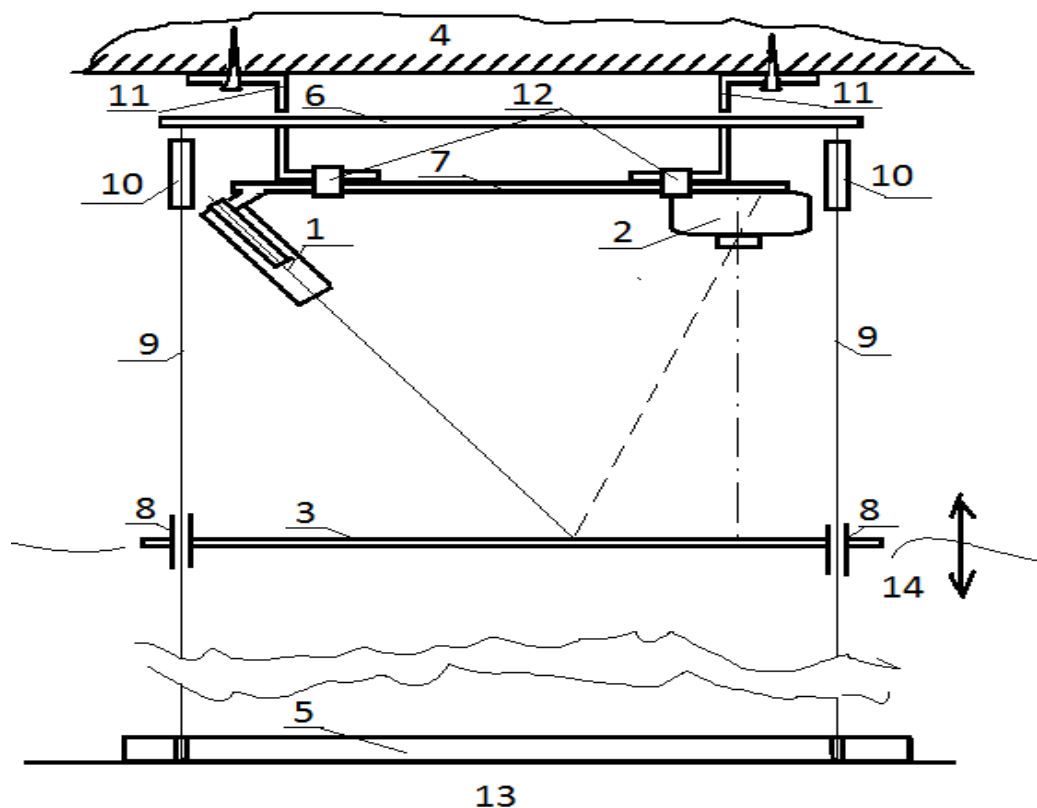






$H_0$  – attālums starp kameru un ūdens nulles līmeni.

Izvēlētas sensora komponentes *USB WEB*-kamera, lāzera stara avots, pludiņš- ekrāns, pludiņa brīvības pakāpju fiksācijas mehānisms (atsvars, stīgas un vadules/slīdņi), kā arī sensora konstruktīvais risinājums (3.13. att.) [69].



- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1 Lāzera stara avots;                    | 8 Slīdņi;                        |
| 2 <i>WEB</i> kamera;                     | 9 Stīgas;                        |
| 3 Pludiņš- ekrāns;                       | 10 Stīgas spriegošanas atsperes; |
| 4 Atbalsta konstrukcija;                 | 11 Kronšteini;                   |
| 5 Nospriegojošais atsvars;               | 12 Stiprinājuma skrūves;         |
| 6 Pludiņa plaknes pieskaņošanas stienis; | 13 Baseina grīda;                |
| 7 Sensora bāzes stiprinājums;            | 14 Ūdens virsmas robeža.         |

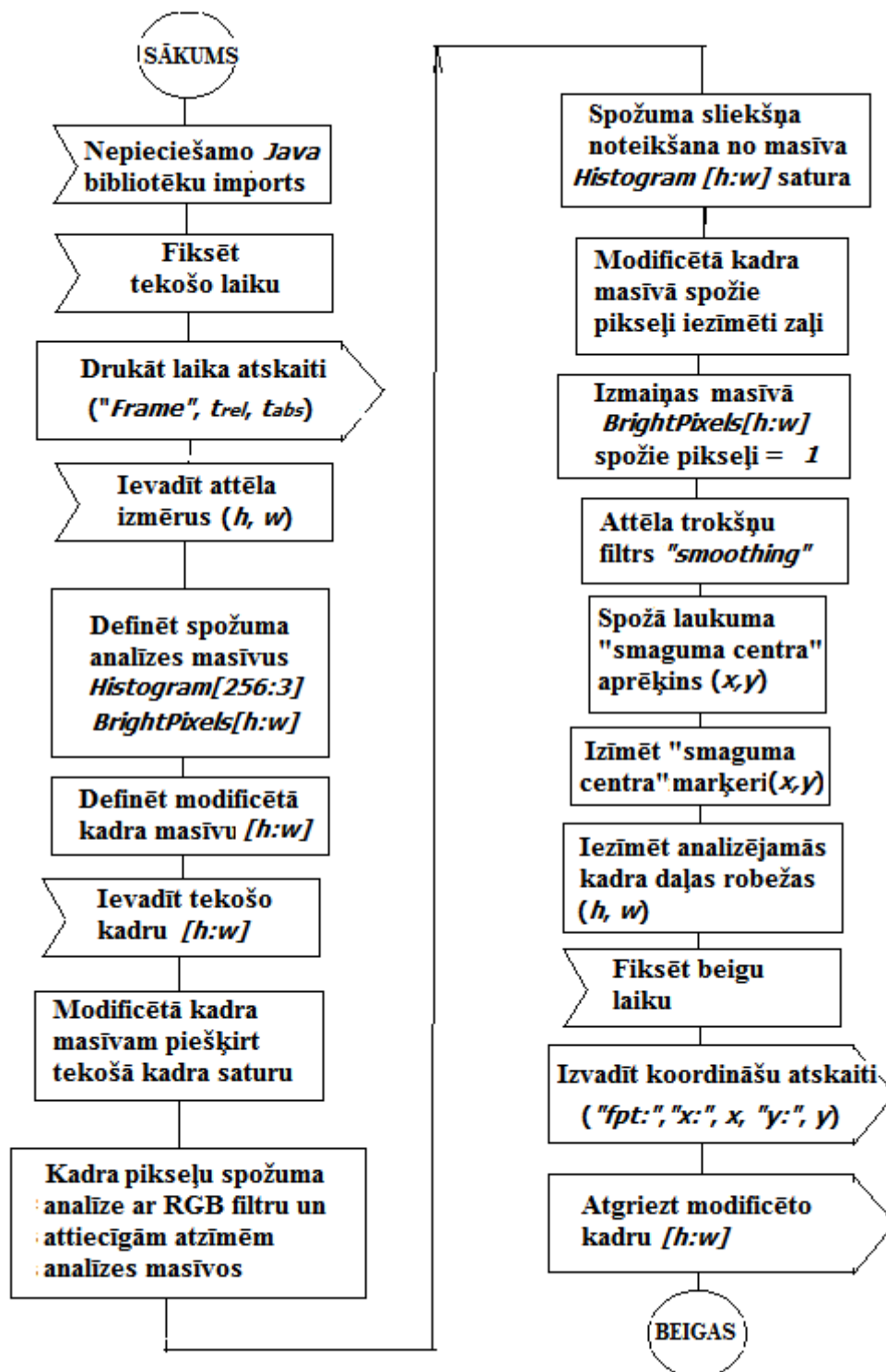
3.13. att. Lāzera sensora konstruktīvais risinājums [69].

### 3.1.4. Datorprogrammas

#### 3.1.4.1. Lāzera stara koordināšu noteikšanas attēla apstrādes programma

Tika izveidots *WEB*-kameras attēla apstrādes algoritms un sastādīta programma mērījuma lāzera stara koordināšu noteikšanai leņķa mērvienībās un to fiksēšanai un reģistrēšanai datora absolūtajā laikā. Programmēšanas valoda *Jawa*. Programmas teksts ir datu apstrādes algoritma formāls pieraksts. Programmas struktūr-shēma un valoda ir parādīta 3.14. att.



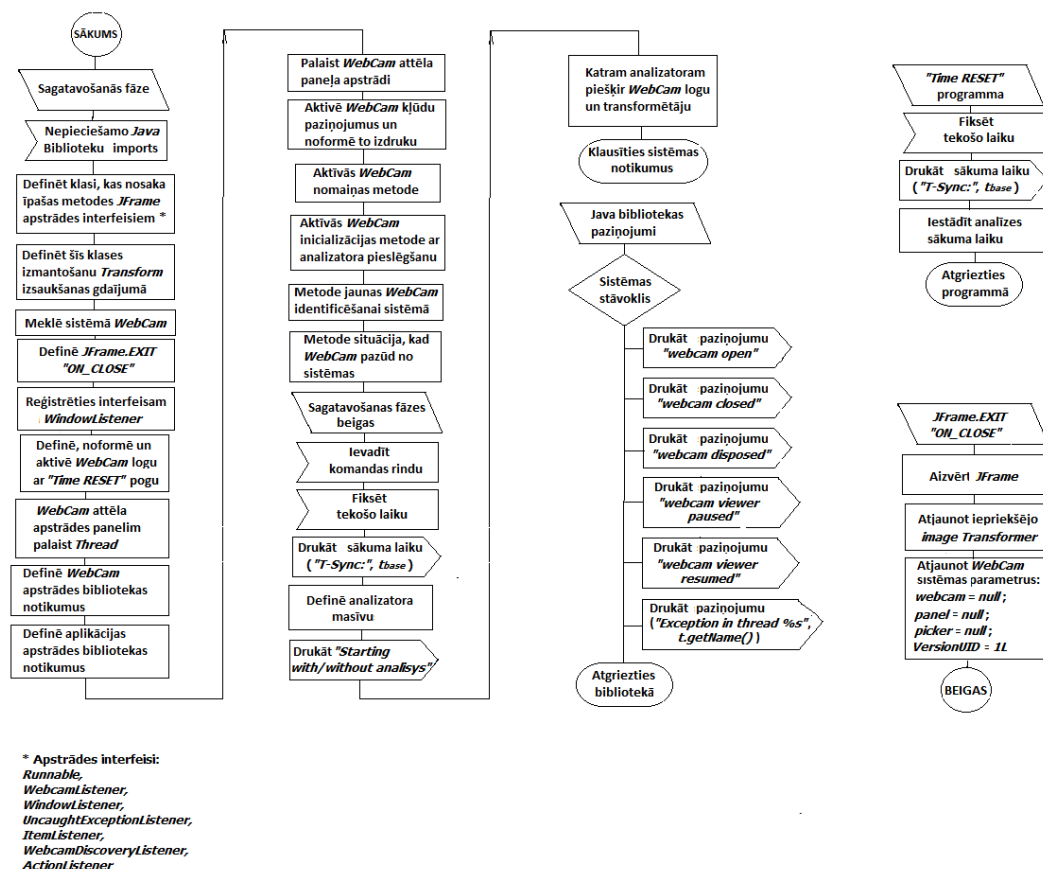


3.14. att. Lāzera stara koordināšu noteikšanas attēla apstrādes programmas struktūrshēmas un valodas apraksts.

### 3.1.4.2. WEB-kameras attēla datu fiksēšanas programma

Tika izveidota WEB-kameras attēla datu fiksēšanas programma, kuras teksts apraksts tās algoritmu. Struktūrshēmas un valodas apraksts parādīts 3.15. att. Ar programmas kompilatora palīdzību programmas teksts pārvērsts funkcionējošā programmas kodā vai programmā, ar kuras palīdzību tika vākti un apstrādāti mērījumu dati starprezultātu iegūšanai.





3.15. att. WEB-kameras attēla datu fiksēšanas programmas struktūr-shēmas un valodas apraksts.

### 3.1.5. Viļņu slāpētājs

Viļņu slāpētājs tika izgatavots no rāmja ar sietu, kura slīpumu var regulēt ar rokas vinčas palīdzību. Uz sieta aptuveni 10cm biezā slānī uzbērtas 2–4cm frakcijas dolomīta šķembas (3.16. att.).



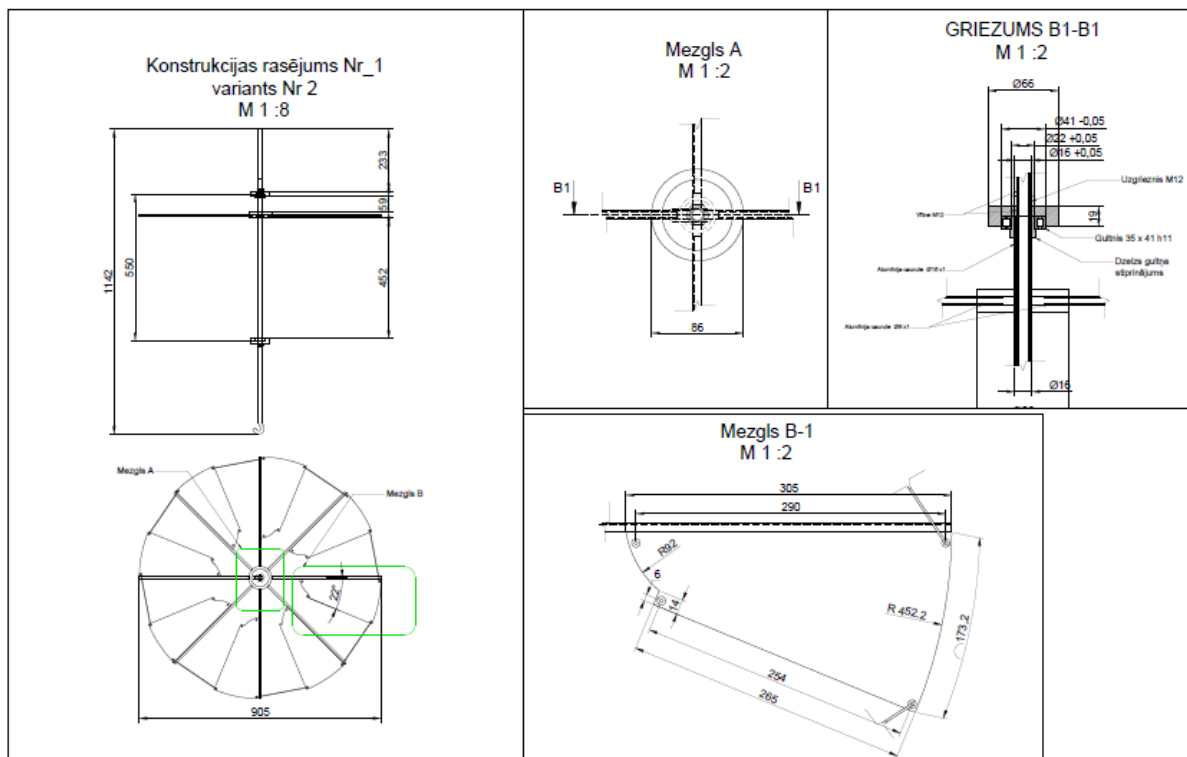
3.16. att. Viļņu slāpētājs.



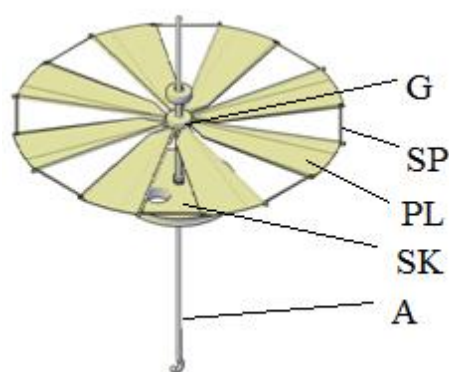
## 3.2. Pilotprojekta īstenošana

### 3.2.1. Pilotprojekta modeļa risinājums

Tika izstrādātas aksiālas pašregulējošu lāpstiņu hidrokinētiskas turbīnas (*APRLHK* turbīna) skices (3.17. att., 3.18. att.), pēc kurām tika izgatavots pats turbīna modelis.



3.17. att. *APRLHK* turbīnas rasējums.



3.18. att. *APRLHK* turbīnas uzbūve (*G* – gultnis, *SP* – spriegotājs, *PL* – pašregulējošā lāpstiņa, *SK* – skriemelis, *A* – ass).



Uz vertikālas nekustīgas ass *A* (3.18. att.) tika ar gultņiem nostiprināts un savstarpēji savienots skriemelis *SK APRLHK* turbīnas mehāniskai slogošanai un turbīnas rats ar *PL*, uz kurām iedarbojas viļņu spēks.

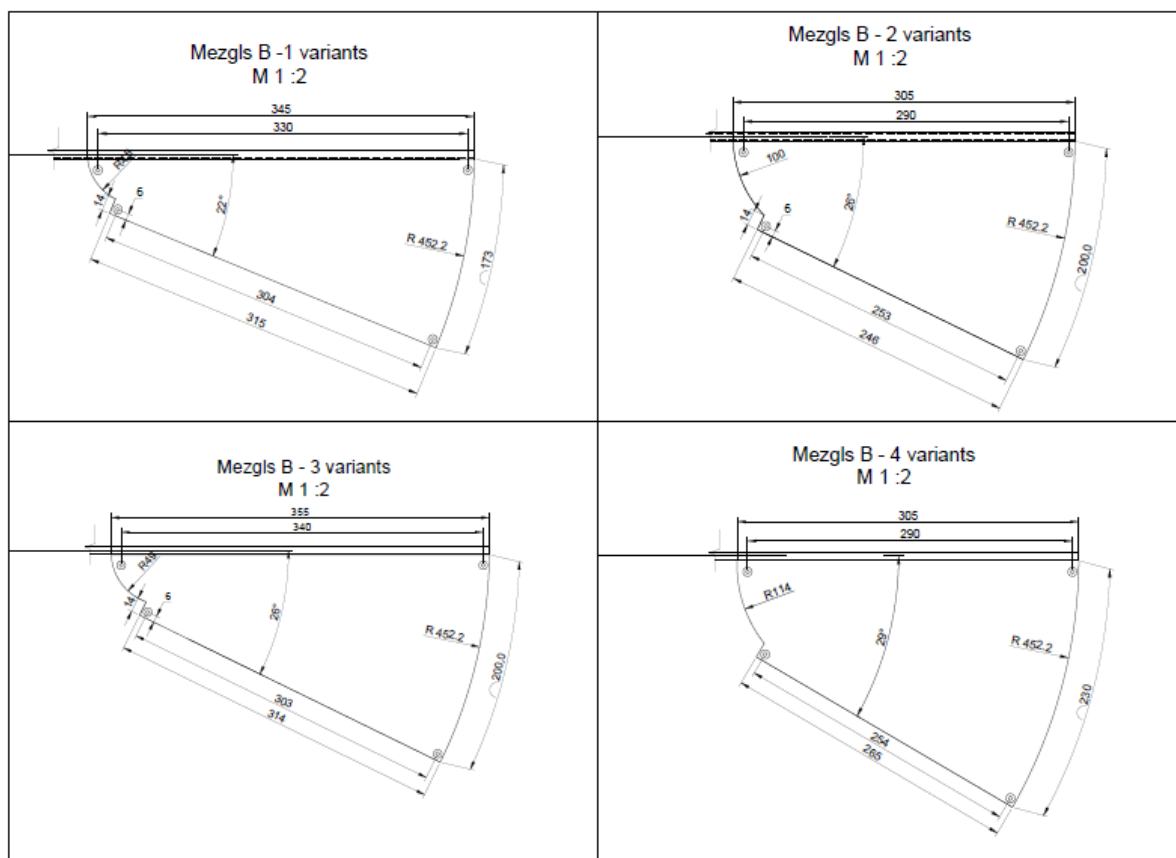
### 3.2.2. Pilotprojekta īstenošanas metodes izvēle

Pilotprojekta īstenošanai tika izvēlēta eksperimentālā metode. Laboratorijas eksperimentus ar modeļa turbīnu pielieto, lai izpētītu turbīnas darbību un noskaidrotu tās parametrus..

Līdz šim bija zināmas hidrokinētiskās turbīnas darbināšanai mainīga virziena plūsmās ar *PL*, kurās, nepieciešamo kustību nodrošināšanai kā *PL* vienas eņģu grupas atbalstam lietoja gredzenu, kurš veidoja turbīnas ārējo diametru. Šāda veida turbīnām bija trūkums – atbalsta gredzens veidoja būtisku papildus pretestību un arī palielināja turbīnas masu.

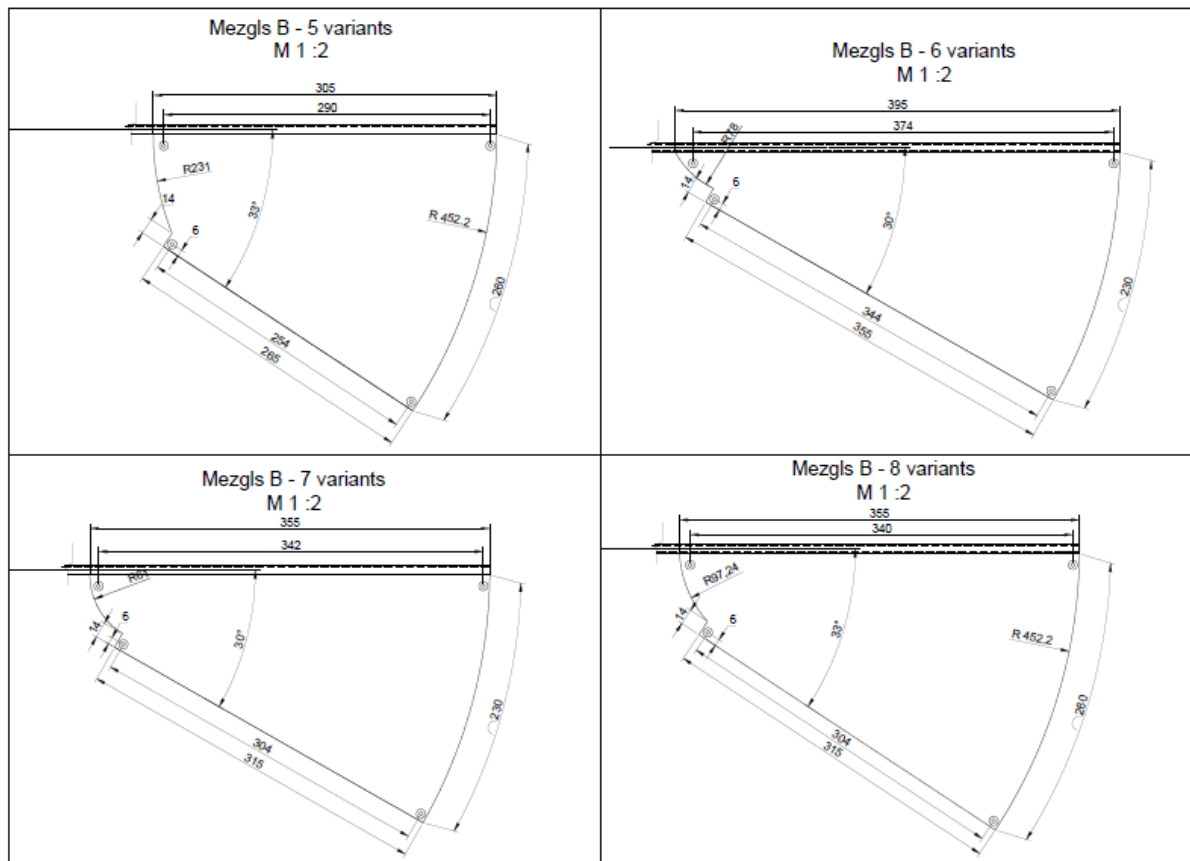
Pilotprojektā tika izstrādāta *APRLHK* turbīna ar buras veida *PL*. Tai nav nepieciešams gredzens. Veicot turbīnas izstrādni tika izvirzīta pētāmā problēma:

Ar kādas formas lāpstiņām turbīnas griezes moments būs vislielākais laboratorijas apstākļos radīto viļņu ietekmē (3.19. att., 3.20. att. 3.21. att.)?

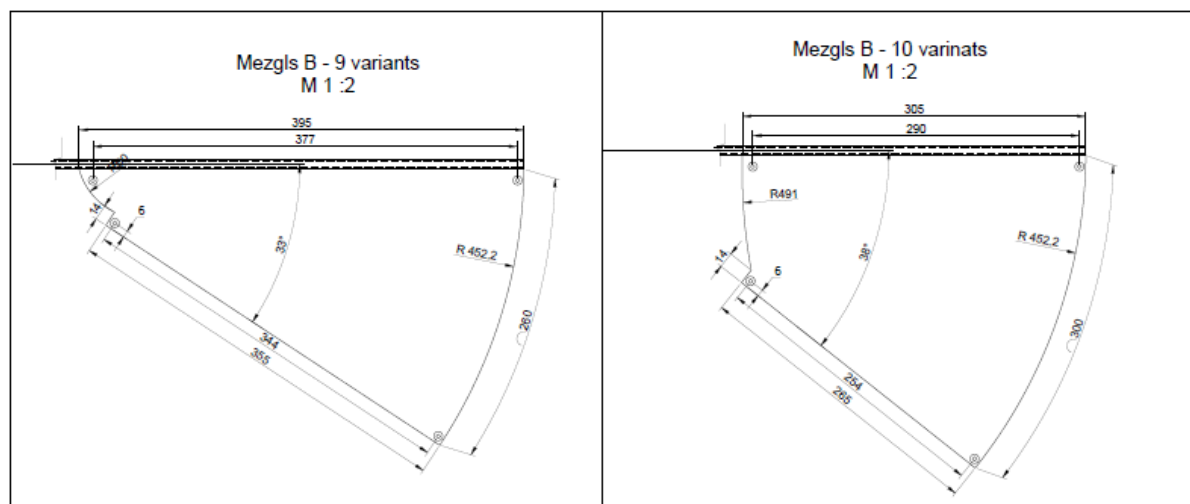


3.19. att. *PL* formas (1–4).





3.20. att. PL formas (5–8).



3.21. PL formas (9–10).

Tika izvirzīta hipotēze:

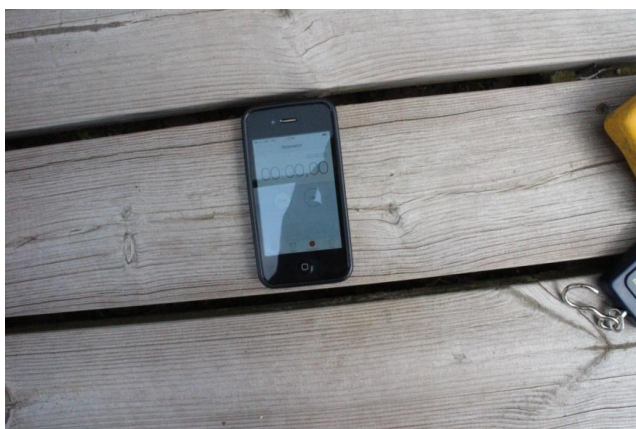
Jo lielāks turbīnas spārnu laukums, jo lielāku viļņa spēku tas var uztvert. Pieaugot turbīnas spārnu laukumam un tā kustības ātrumam, pieaug pretestība. Šeit jārespektē arī turbīnas lāpstiņu dažādu punktu vektoriālā ātruma atkarība no attāluma līdz rotācijas centram. Lai to noskaidrotu tika pieņemts lēmums izmantot eksperimentālo metodi. Eksperimenta veikšanai tika izveidoti viļņu pārveidotāju modeļi un laboratorija, kur iespējams radīt viļņus ar maināmiem parametriem.



### 3.2.3. Izmēģinājumi

Laboratorijas izmēģinājumos tika izmantoti piederumi:

1. Izmēģinājums veikts laboratorijā atbilstoši eksperimenta procedūrai;
2. Turbīna ar dažādām lāpstiņu formām (3.19. att., 3.20. att., 3.21. att.);
3. Viļņu parametru reģistrēšanas sistēma, kura, kā iepriekš minēts, sastāv no diviem lāzera sensoriem, diviem pludiņiem, datu analizatora un datorprogrammas;
4. Mobilā telefona hronometrs „*Stopwach*” (3.22. att.);
5. Nekalibrēti elektroniskie virtuves svāri *HD -301 059580* (3.23. att.);
6. Bīdmērs 12 cm +/- 0.1 mm Nr. *Y62216* (3.23.att.);
7. Lentēs mērs *ProErgo Dura NY Coat KOMELON PE105 10m* (3.23.att.);
8. Elektronisko viļņa parametru mērīšanas aprīkojums aprakstīts literatūras avotā [69];
9. Monitors 17" *LCD Hundai L90+* (3.11. att.);
10. Dators *Capital SN 3113* (3.11. att.);
11. Klaviatūra *Mitsumi KFK-EA4XT* (3.11. att.);
12. Optiskā pele *Logitech SBF 90* (3.11.att.);
13. Lāzera sensori uz *WEB* kameras *HV-N5081* bāzes 2 gab. (3.10. att.).



3.22. Mobilā telefona hronometrs „*Stopwach*”.



3.23. Nekalibrēti elektroniskie virtuves svāri *HD -301 059580*, bīdmērs 12 cm +/- 0.1 mm Nr. *Y62216*, lentēs mērs *ProErgo Dura NY Coat KOMELON PE105 10*.



Izmēģinājumos tika ievērota procedūra:

1. Iedarbinām un ieregulējam viļņu generatoru ar tā kontrolieri, Pneimocilindra turp – atpakaļgaitas regulatoriem un spiediena regulatoru. Viļņu augstuma un periodu mērījumus veicam ar sensoru palīdzību, kuri fiksē pludiņu pozīcijas maiņu laikā un padod signālus uz datu reģistratoru, kurš tos pārveido, reģistrē un arhivē;
2. Visus mērījumus reģistrējam izmēģinājumu protokolos;
3. Darbinām turbīnas nostiprinot to rotācijas asis pie iepriekš izveidotiem kronšteinu tā lai izslēgtu turbīnas pārvietošanos vertikālā virzienā. Ievietošanas dziļums  $h$  no efektīvā ūdens līmeņa līdz turbīnas centram ir 90mm;
4. Nosveram turbīnu. Tās kustīgās daļas svars ir 0,722kg;
5. Sagatavojam mērīšanas sesijas objektu.

Mērīšana:

- a) sākam mērījumu sesiju,
- b) iedarbinām sensoru mērījumu vadības programmu,
- c) veicam ūdens virsmas līmeņa svārstību mērījumus,
- d) apturam mērījumu vadības programmu un beidzam mērījumu sesiju,
- e) ierakstam mērījumu failus attiecīgās dienas direktoriājā faila nosaukumā fiksējot sensora nosaukumu (A, B), sesijas laiku (kontrolei), kā arī tās mērķi (darbs, kalibrēšana) un nepieciešamības gadījumā izdarām īpašās piezīmes, kuras īsi raksturo mērījums sesijas objektu, vai apstākļus, kādos mērījums tiek veikts).

Kalibrēšana :

kalibrēšana ir nepieciešama mērījumu sistēmas datu apstrādes koeficientu precizēšanai.

Mērījumu apstrāde:

- a) mērījumu failu importējam mērījumu apstrādes programmā,
- b) iegūstam līmeņa svārstību laika grafiku,
- c) filtrējam/dzēšam kļūdainos mērījumus,
- d) izvēlamies padziļinātas datu analīzes intervālu,
- e) veicam mērījumu datu loga interpolāciju,
- f) veicam interpolēto datu Furjē analīzi,
- g) aprēķinam svārstību harmoniku amplitūdu periodu, fāzes ātrumu un jaudu,
- h) viļņa harmoniku amplitūdu un jaudas spektrus attēlojam grafiski uzskatāmībai,
- i) apstrādes rezultātu failu saglabājam attiecīgās dienas direktoriājā.

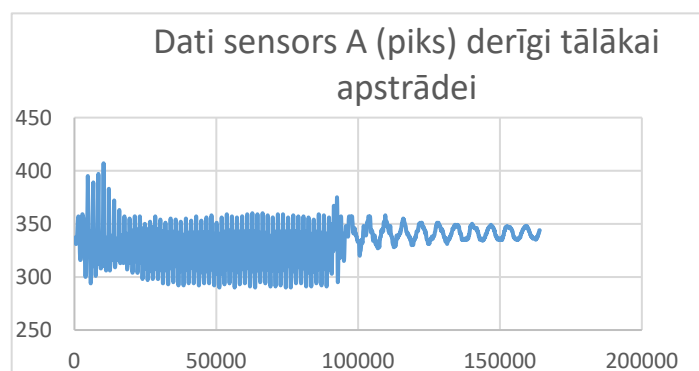


Rezultātu analīze:

- a) var tikt pieņemts lēmums veikt papildus kalibrēšanu,
- b) var tikt pieņemts lēmums veikt papildus mērījumu apstrādi,
- c) var tikt pieņemts lēmums veikt izmaiņas mērīšanas sesijas objektā.

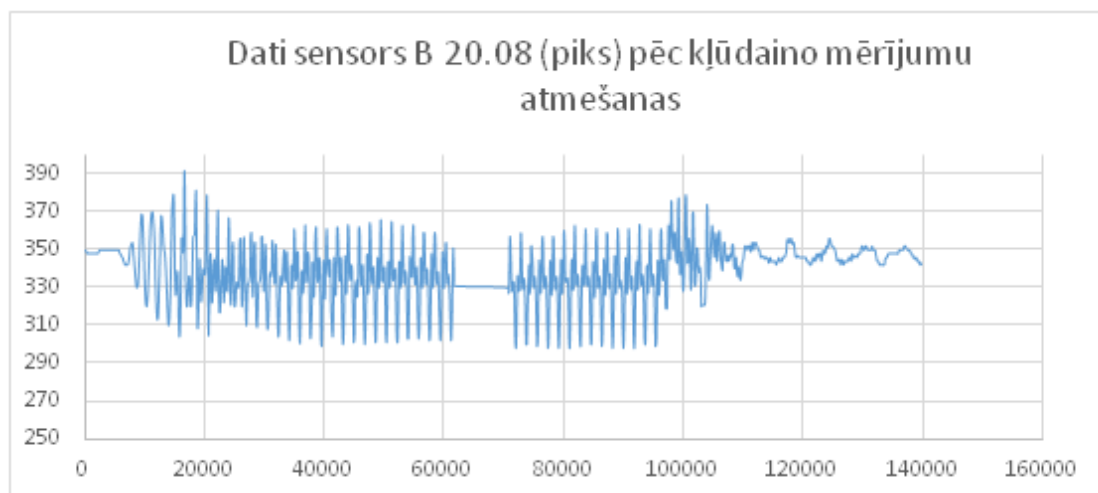
Eksperimentālās izstrādes viļņu parametru mērījumu iegūšanas darbi:

1. Izveidot ienākošo un izejošo viļņu mērījumu sensorus, no tiem ienākošo signālu reģistrēšanu ar tādām apstrādes iespējām, lai varētu iegūt visus notikušos viļņu augstumus un periodus, izstrādāta vilnu enerģijas absorbcijas pakāpes mērīšanas stenda shēma (2.31. att.) un pieņemts lēmums par to, ka viļņu augstums un periods tiks noteikti ar ūdenslīmeņa augstuma lāzera mērītāju;
2. Nodrošināt iespēju ienākošo datu ( $H$  un  $T$ ) reģistrēšanai, arhivēšanai matemātiskai un grafiskai apstrādei. Izstrādāts algoritms un izveidota programma viļņu datu vektora attāluma aprēķināšanai no lāzera stara leņķiskajām koordinātēm piesaistot tās sensora optiskās ass projekcijai pludiņa ekrānā. Izstrādāts algoritms un veikta sensoru un attāluma pārrēķinu programmas koeficientu kalibrēšana. Šī algoritma būtība ir koeficientu noteikšana fiksēta attāluma gadījumā. Pretēja darbība mērīšanai: divas attāluma vērtības ir zināmas, ir zināms, sensora rādījumi ir zināms tiek aprēķināti sensora bāzes  $A$  un fokusa  $WO$  attālumi (2.32. att.). Izstrādāts algoritms un izveidota programma elektronisko tabulu formātā Excel virsmas svārstību datu vektora segmentu plūsmas interpolēšanai un diskrētās Furjē transformācijas pielietošanai virsmas svārstību  $H$  un  $T$  iegūšanai, kā arī viļņu komponentu jaudas (enerģijas plūsmas) sadalījuma novērtēšanai. Ieviesta viļņu datu strukturēta glabāšanas sistēma;
3. Veikt visus  $H$  un  $T$  mērījumus Projekta ietvaros. Veikti sākotnējie salīdzinošie mērījumi izmēģinājumu baseinā bez ievietota viļņu enerģijas uztvērēja un veikti  $H$  un  $T$  aprēķini tā sastāvdaļu kvalitātes novērtēšanai. Veikti viļņu parametru izmaiņas, attiecīgi viļņu enerģijas slāpēšanas mērījumi ar ievietotiem viļņu enerģijas uztvērēju prototipiem un to fiksācija;
4. Aprakstīt laboratorijā notiekošo viļņu procesu (3.24. att., 3.25. att., 3.26. att., 3.27. att.).



3.24. att. Viļņi tukšā baseinā sensora A plaknē.

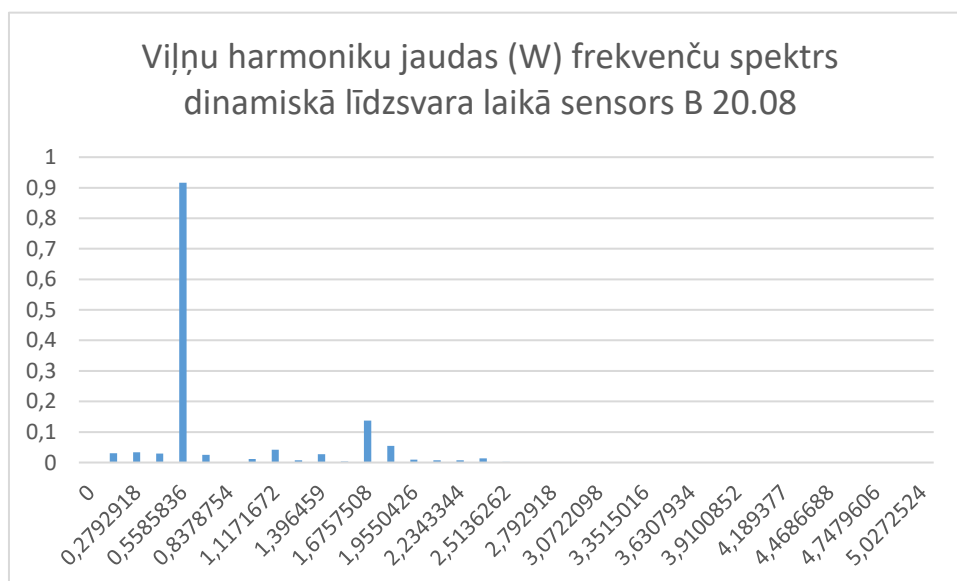




3.25. att. Viļņi tukšā baseinā sensora B plaknē.



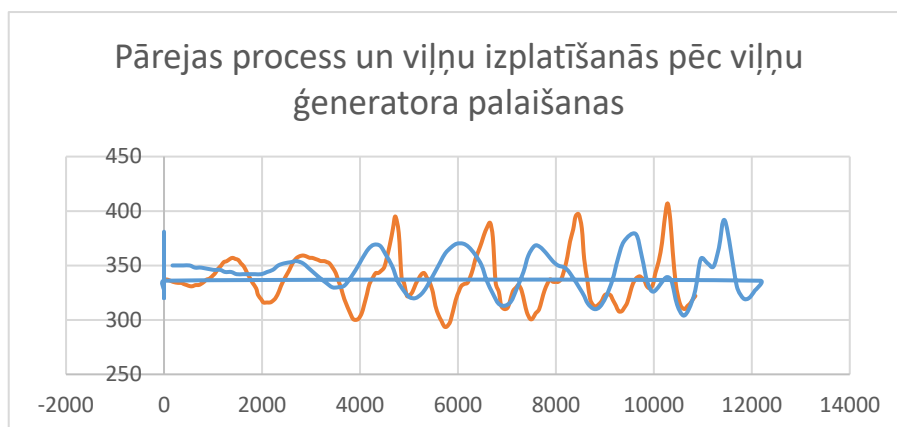
3.26. att. Viļņa harmoniku jaudas spektrs tukšā baseinā sensora A plaknē.



3.27. att. Viļņa harmoniku jaudas spektrs tukšā baseinā sensora A plaknē.

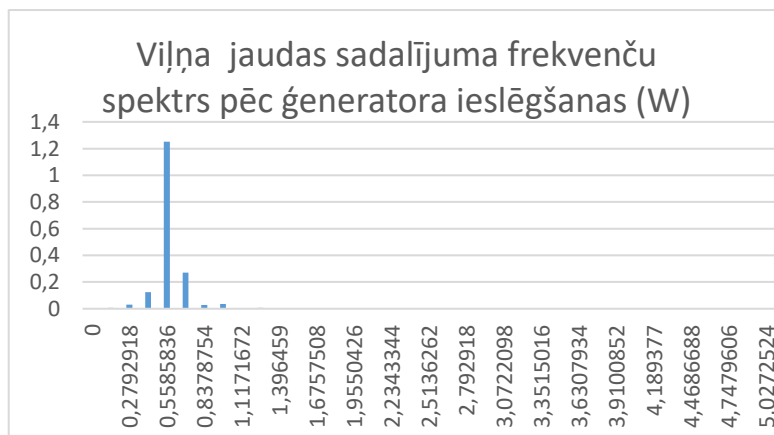


Viļņu baseinā darbojoties ģeneratoram ir novērojamas pastāvīgas stacionāras svārstības (3.24. att., 3.25. att.) Spektrālā analīze (3.26. att., 3.27. att.) rāda, ka viļņu formu veido galvenokārt divu viļņu harmoniku summa. Šo harmoniku frekvence ir 0,56Hz un 1,68Hz un to amplitūda ir attiecīgi 12,0mm un no 10,5mm (A) līdz 7,7mm (B). Tā kā viļņi, kuriem ir dažāda frekvence dispersijas iespaidā pārvietojas ar dažādu (fāzes) ātrumu (3.28. att.), iedarbinot viļņu baseina ģeneratoru, novērojam šai parādībai atbilstošu pārejas procesu viļņiem.



3.28. att. Viļņi izplatīšanās pārejas process pēc ģenerators ieslēgšanas tukšā baseinā pie sensora A (oranžā līkne) un pie sensora B (zilā līkne).

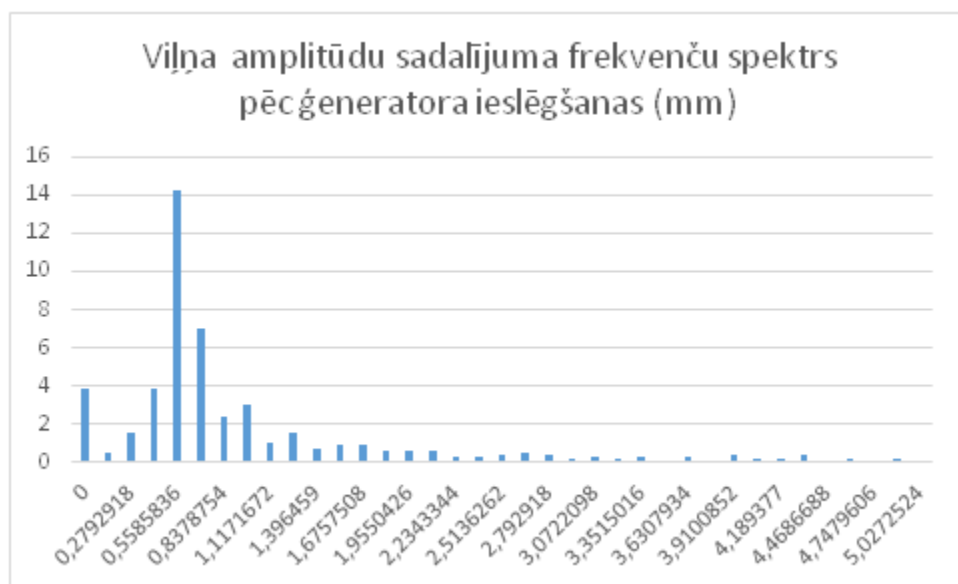
Izplatoties no ģenerators pirmais A sensoru sasniedz ātrākais 0,56Hz vilnis. 1,68Hz vilnis to sasniedz un sāk veidot interferences ainu pēc 2,5sek. B sensoru 1,68Hz vilnis sasniedz 5,7 sekundē. To ka līdz šim brīdim šī viļņa harmonika neparādās vilnī liecina arī spektrālā analīze, kura norāda uz pieaugošu izteiktu 0,56Hz viļņa harmonikas klātbūtni (3.28.att., 3.29. att.).



3.29. att. Viļņa enerģijas frekvenču spektrs tukšā baseinā pie B sensora pēc ģenerators ieslēgšanas.



1,68Hz viļņa iespaidam palielinoties baseinā ir novērojama abu viļņu interferences pārejas procesa aina, kuras laikā harmoniku fāzes nobīdes stabilizējas, un pēc tās baseinā iestājas dinamisks līdzsvars (3.30. att.).

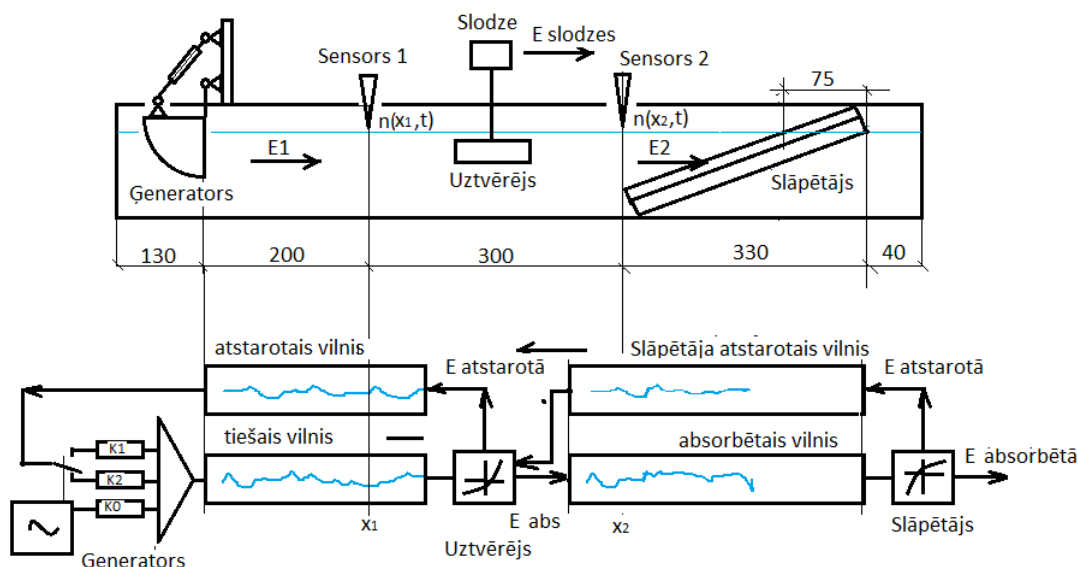


3.30. att. Viļņa amplitūdas frekvenču spektrs tukšā baseinā pie B sensora pēc ģeneratora ieslēgšanas.

Viļņu dinamiskā procesa laikā Stoka nobīdes [23] darbības rezultātā baseina tālajā galā tiek sastumts ūdens. Sensori šo procesu fiksē, kā līmeņa pazemināšanos viļņošanās laikā. Pie A sensora tie ir 10mm, bet B sensora rajonā tie jau ir 20 mm. Šī procesa izpausmi varam novērot 1. un 2. fāzē pēc ģeneratora izslēgšanas, kad Stoka nobīdes ietekme beidzas. 1. fāzē šim procesam paralēli vērojams dispersijas iespaids. 0,56Hz vilnis beidzas. Bet 1,68Hz vilnis un citas augstākas frekvences harmoniku viļņi sava mazākā fāzes ātruma dēļ turpina pienākt. No ģeneratora līdz sensoram A ir mazāks attālums tādēļ šī pārejas process ir īsāks. Līdz sensoram B abiem viļņiem ir jāpārvar par 3m lielāks attālums, tādēļ tas aizņem vairāk laika (3.22. att., 3.23. att.). Beigu pārejas procesa pēdējā fāzē dominē 0,16Hz vilnis, kura cēlonis ir atbrīvotais pie baseina sienas Stoka nobīdes sastumtais ūdens. Šī viļņa periods ir 6,13 sekundes un viļņa garums salīdzināms ar visa viļņu baseina garumu. Tā kā saskaņā ar teoriju šādi zemas frekvences viļņi pasīvi ir grūti slāpējami, pēc ģeneratora izslēgšanas šīs svārstības ir novērojamas ievērojamu laiku (3.22. att., 3.23. att.).

No šī apraksta seko ka viļņu procesu analīzes shēmu (3.31. att.) [69] viļņu enerģijas uztvērēju enerģijas absorbēšanas mērījumiem ir jāizmanto viļņu dinamiskā līdzsvara režīms.





3.31. att. Viļņu procesa analīzes shēma [69].

Novērojumi:

Visātrāk turbīnas griežas pie vizuāli noteiktā ieņemšanas horizonta 90mm no *vjl*. Turbīna ar astoņiem spārniem griežas ātrāk nekā turbīna ar četriem spārniem. Jo vairāk izliecas lāpstiņas garā brīvā mala, jo turbīna griežas lēnāk. Lāpstiņas nepilnīgāk izliecas, ja nav pietiekosa kustības brīvības pakāpe vai kustība ap lāpstiņas nesošo zaru tiek bremsēta. Lāpstiņas labāk ieņem izteikti ieliektāku formu, ja materiāls ir lokanāks. Kļūdoties turbīnas vertikālās ass nostiprināšanās vertikālā virzienā vizuāli vērojama rotācijas kustības ātruma samazināšanās.

Izmēģinājumos tika konstatēts, un veikts:

- Perspektīvākās lāpstiņas formas izvēle – atbilstoši izmēģinājumu protokolos atspoguļotajiem rezultātiem izvēlamies to turbīnu ar, kuras lāpstiņu formu un sakaitu apgriezību skaits ir vislielākais – lāpstiņas forma Nr. B-1 (3.19. att.),
- Perspektīvākās turbīnas izmēģinājumi – sakarā ar to, ka perspektīvākās lāpstiņas formas izvēles izmēģinājumu rezultātu analīzes gaitā tika konstatēti ar viļņu slāpētāju saistīti trūkumi, esošais viļņu slāpētājs tika nomainīts ar efektīvāku. Lai noteiktu turbīnas spēku, tika nomērīta maksimālā slodze, kāda 150mm no turbīnas centra to slogojot.

Mērījumu dati:

Dati no sensora B 02.11 14.20.

Datu apjomā dēļ šajā pielikumā ietverta tikai viena lapa no 128 (3.1. tabula).



T-Sync: 1478088690827

Uzsāk ar analīzi Web-kamera – atvērta

Frame	96479	1478088787306fpt:	34	x:	358	y:	254
Frame	96567	1478088787394fpt:	41	x:	358	y:	254
Frame	96639	1478088787466fpt:	35	x:	358	y:	254
Frame	96732	1478088787559fpt:	34	x:	358	y:	254
Frame	96801	1478088787628fpt:	32	x:	358	y:	254
Frame	96881	1478088787708fpt:	32	x:	358	y:	254
Frame	96960	1478088787787fpt:	32	x:	358	y:	254
Frame	97051	1478088787878fpt:	59	x:	358	y:	254
Frame	97120	1478088787947fpt:	32	x:	358	y:	254
Frame	97204	1478088788031fpt:	32	x:	359	y:	254
Frame	97283	1478088788110fpt:	32	x:	358	y:	254
Frame	97384	1478088788211fpt:	37	x:	358	y:	254
Frame	97440	1478088788267fpt:	32	x:	358	y:	254
Frame	97524	1478088788351fpt:	32	x:	358	y:	254
Frame	97618	1478088788445fpt:	32	x:	359	y:	254
Frame	97697	1478088788524fpt:	33	x:	358	y:	254
Frame	97776	1478088788603fpt:	33	x:	358	y:	254
Frame	97858	1478088788685fpt:	33	x:	358	y:	254
Frame	97945	1478088788772fpt:	61	x:	358	y:	254
Frame	98029	1478088788856fpt:	36	x:	358	y:	254
Frame	98099	1478088788926fpt:	37	x:	358	y:	254

Pikseļu perspektīvas problēma un sensora kalibrēšana:

Attēlu kamerā veido pikseli (punkti). Parastā kamerā to veido  $640 \times 480$  pikseli. To sauc par standarta VGA attēla izšķirtspēju. Attālumu novērtēšana mērīšana starp diviem punktiem kameras attēlā nav iespējama nekā savādāk kā šajās mērvienībās. Tanī pat laikā jāņem vērā, ka pikselis ir leņķiska mērvienība. Katrā attālumā tam atbilst cits lineārais izmērs. Sadzīves pielietojumos tam nav izšķiroša nozīme, bet mērīšanas gadījumā, zināt kameras pikseļa lineāros izmērus un sekot to izmaiņām dažādā attālumā no kameras objektīva (lēcas centra) ir obligāti. Tas nozīmē, ka, ņemot vērā to, ka kameras optiskās ass koordinātes attēlā kamerā ir  $x = 320$ ;  $y = 240$ , izteiksmē (1) nogriezni  $X$  (3.12. att.), izsakot tā lineāros izmēros no novērojāmā kontrastpunkta koordinātēm, iegūstam:

$$X = (x - 320) \times p_{xo} \times (1 + (x - x_o)/H_o), \quad (3.4)$$



kur

$p_{xo}$  – pikseļa lineārais horizontālais izmērs līmenī  $H_0$ .

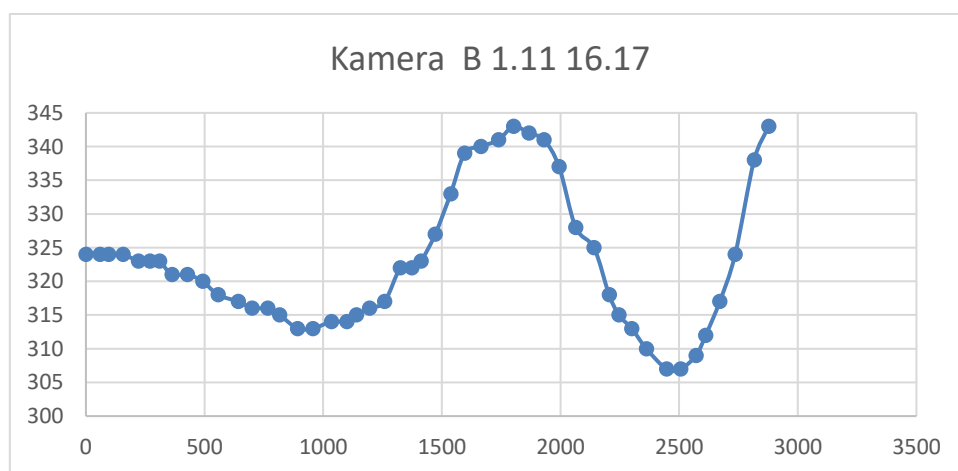
Dažādām kamerām un, pat, viena ražotāja vienam kameras modelim praksē konstruktīvu atšķirību vai nobīžu iespaidā pikseļa atbilstošie lineārie izmēri var atšķirties. Tāpat pēc izgatavošanas var atšķirties mērīšanas iekārtu bāzes nogriežņa  $A$  izmēri kā arī mainīties stara leņķis attiecībā pret kameras optisko asi. Konkrētā gadījumā izvēlējamies risinājumu, kurā iekārtu mehānisko detaļu izgatavošanas precizitāte nav noteicoša. Skaitliskās konstantes, kuras nepieciešamas mērījumu rezultātu apstrādei, tiek iegūtas kalibrējot iekārtu laboratorijas apstākļos. Tās būtība ir mērāmo lineāro attālumu skaitlisko vērtību fiksēšana laboratorijas apstākļos. To ievietošana attāluma  $h$  un novirzes  $X$  aprēķina izteiksmē (1) (3.32. att.). Tā kā nezināmo skaits ir 2, tad nepieciešama divu neatkarīgu vienādojumu sistēma, attiecīgi jāfiksē sistēmas parametri divos mērījumos.

Konkrētā tehniskā risinājuma īpatnība ir tā, ka stara un optiskās ass leņķis ir maināms atkarībā no mērījuma apstākļiem un šī mērījumu korekcija tiek veikta katra eksperimenta sākumā, fiksējot nobīdi  $X_0$  attālumā  $H_0$  (ūdens 0- līmenis).

Kameras attēlā tiek fiksēts koordināšu logs, kurā kontrastpunktam ir “jātrāpa”. Tas tiek darīts ar mērķi samazināt attēla apstrādes laiku kā arī samazināt dažādu atspīdumu radītus traucējumus sistēmā.

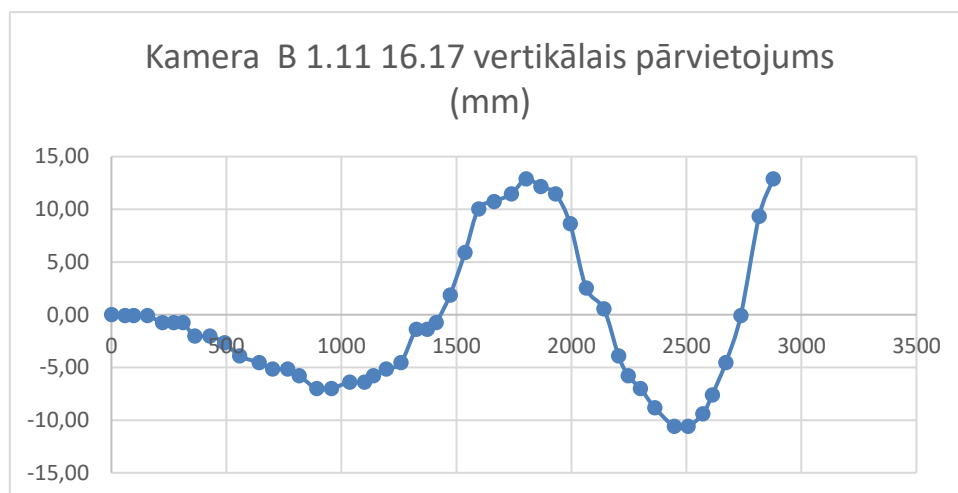
Mērījumu apstrāde:

Mērījumu apstrāde sākas ar attēla apstrādi: kontrastpunkta vidējo koordināšu, jeb Smaguma centra koordināšu aprēķinu, un to fiksēšanu (pikseļos) rezultātu failā sinhroni ar eksperimenta sesijas relatīvo un mērījuma absolūto sistēmas laiku (mikrosekundēs). Grafiski šādas datu virknes piemērs parādīts (3.32. att., 3.33. att.).



3.32. att. B kameras sākotnējo datu virknes fragmenta grafisks attēlojums.





3.33. att. Datu virkne pēc apstrādes  $P_{x0} = 0,31\text{mm}$ ,  $A = 166,17\text{mm}$ .

Šāda veida datu virkne ir pietiekama lai varētu izdarīt secinājumus par viļņu formu vai līmeņu nobīdēm, bet nav “parocīga” dažādai analīzes rīku pielietošanai šo svārstību tālākai analīzi, tai skaitā komponentu enerģijas novērtēšanai. Datu apstrādei esam izvēlējušies universālu datoru, kuru vada *OS MS Windows 7*. Šim risinājumam, ir virkne priekšrocību: lietotāja grafiskais interfeiss, iekārtu draiveri (pieslēgšanas interfeisi un vadības programmas), plašs datu pārraides iespēju spektrs, datu apstrādes, uzkrāšanas un glabāšanas iespējas). Tanī pat laikā sarežģītā procesa pārtraukumu prioritāšu sistēma konkrētajā gadījumā nenodrošina vienmērīgus laika intervālus starp mērījumiem, kuri noved pie nākamā datu apstrādes soļa, kura pamatā ir neregulāru laika intervāla datu aizvietošana ar iespējami tuvu un gabaliem gludu funkciju  $f = z(t)$ , kura ļauj iegūt mērāmā mainīgā vērtības jebkuros laika momentos.

Loga interpolācija:

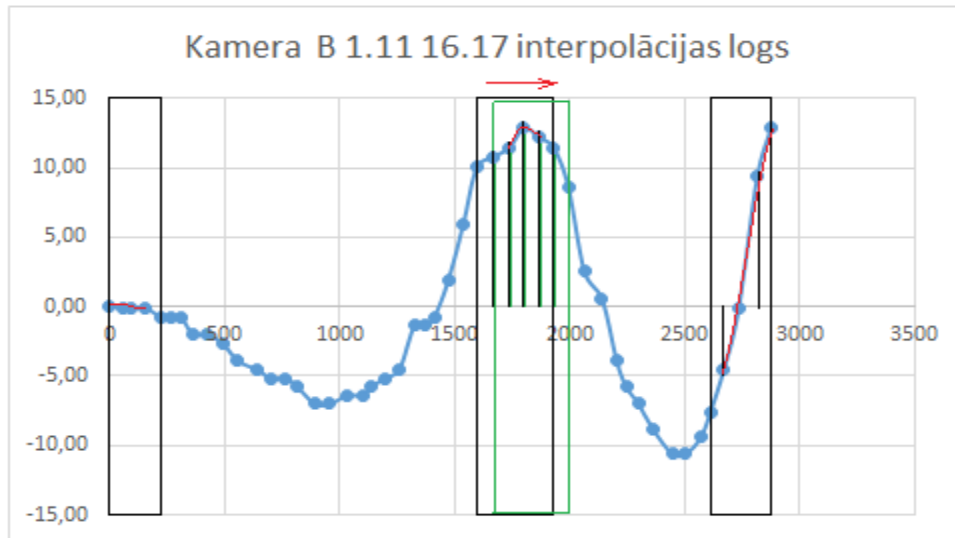
Eksistē vesela virkne mainīgā funkcijas interpolācijas matemātisko rīku šīs problēmas risināšanai. Problēma, kuru mēs risinājam neiedziļinoties standarta risinājumos, ir liels mainīgā definēto punktu skaits (vairāki tūkstoši): ieviesām “interpolācijas loga” (3.34. att.) un “interpolācijas segmenta” jēdzienus. Interpolācijas logā ir galīgs skaits  $n$  mainīgā  $h_i$  vērtību laikā. Interpolācijas process notiek divos posmos. Pirmajā posmā, izmantojot regresijas analīzi ar *EXCEL LINEST* masīva funkcijas polinoma modifikāciju. Šajā logā ar vismazākā kvadrāta metodi tiek aprēķinātas statistiskas  $n$ -tās pakāpes polinoma koeficientu vērtības  $K_i:K_{i+N+1}$  aizvietošanas funkcijas izteiksmēm:

$$\{K_i:K_{i+N+1} = \text{LINEST}(h_i: h_{i+N}; t_i: t_{i+N} \wedge (1,2,...,N))\}, \quad (3.5)$$

$$z(t) = K_i x t^N + K_{i+1} x t^{N-1} + \dots + K_{i+N} x t + K_{i+N+1}, \quad (3.6)$$



Interpolācijas logs tiek nobīdīts par vienu soli ( $i + 1$ ) un polinomu koeficientu aprēķini tiek atkārtoti, kamēr viss interpolācijas segments ir tādejādi apstrādāts (3.34. att.).



3.34. att. Interpolācijas segmentā slīdošais interpolācijas logs.

Nākamais solis ir regulārā iterācijas soļa  $\Delta t$  un to skaita  $m$  izvēle un atbilstošo koeficientu masīva izvēle funkcijas  $j$ -tās vērtības  $z(t_j)$  aprēķināšanai. Lai noteiktu neregulāro laika intervālu, kuram atbilst tekošā laika iterācijas vērtība  $t_j$   $z(t_j)$  – funkcijas izteiksmē tiek izmantots iebūvēts selektīvs filtrs, kurā izmantojam funkciju “MATCH”, (3.7) un netiešas adresācijas funkciju “INDIRECT”, (3.8) attiecīgā vektora  $K_i:K_{i+N+1}$  adresācijai polinomu koeficientu masīvā, kurš veidots apstrādājot datus, secīgi nobīdot interpolācijas logu:

$$K = MATCH(t_j; t_i: t_{i+N}; I), \quad (3.7)$$

$$K_i:K_{i+N+1} = INDIRECT(\text{“koeficientu masīva kolonna” } (i:i+N+1); k+D_k, \quad (3.8)$$

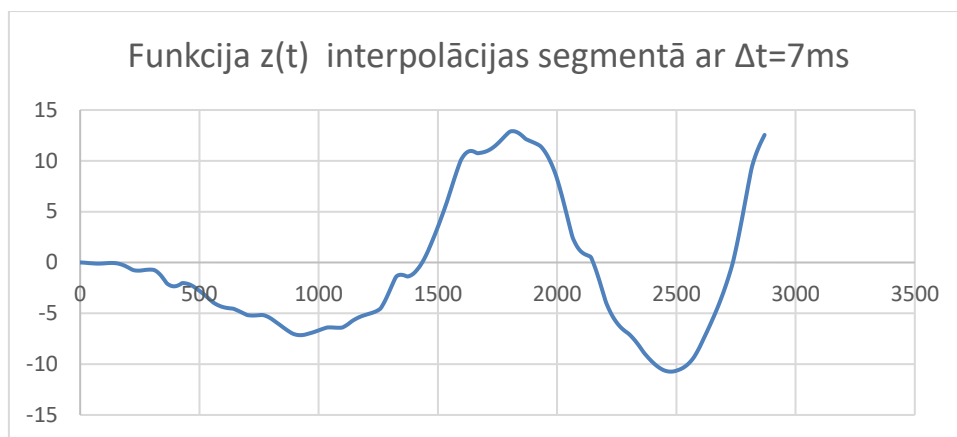
kur:

$k$  – atbilstošais interpolācijas loga numurs,

$D_k$  – intervāla nobīde interpolācijas logā robežkropļojumu novēršanai.

Nākamais solis mūsu viļņu svārstību sistēmas analizē: neregulāru svārstību sadalīšana periodiskās svārstību sastāvdaļās (3.35. att.).





3.35. att. Segmentā interpolētās funkcijas piemērs ar regulāru iterācijas soli  $\Delta t = 7\text{ms}$ .

### 3.2.4. Modelēšanas rezultāti

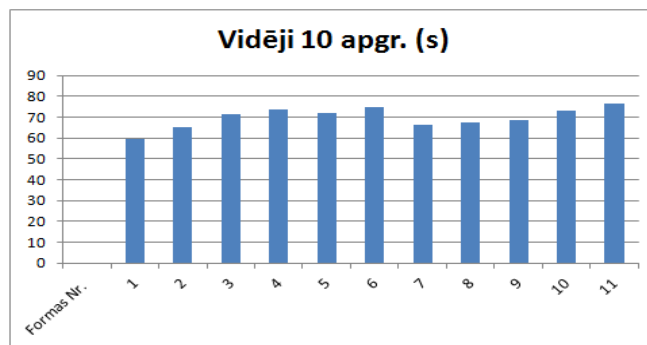
Veicot *APRLHK* turbīnas izmēģinājumus ar dažāda tipa *PL* tika iegūti arī dažādi rezultāti (3.2. tabula) (3.36. att.).

3.2. tabula

*APRLHK* turbīnu izmēģinājuma rezultāti (s) veicot 10 apgriezienus

	Vidēji 10 apgr. (s)	Mērījumu rezultāti (s)						
Formas Nr.		1	2	3	4	5	6	7
1	59,29	63	60	59	58	58	59	58
2	65,14	66	65	65	65	64	65	66
3	71,29	71	72	70	72	71	71	72
4	73,43	73	74	74	74	73	73	73
5	71,86	72	72	72	71	71	71	73
6	74,71	75	74	75	74	75	75	75
7	66,29	67	66	67	65	67	66	66
8	67,43	68	68	67	66	67	68	68
9	68,43	68	69	68	68	68	69	69
10	73,14	73	73	73	73	74	73	73
11	76,57	77	76	77	78	76	76	76





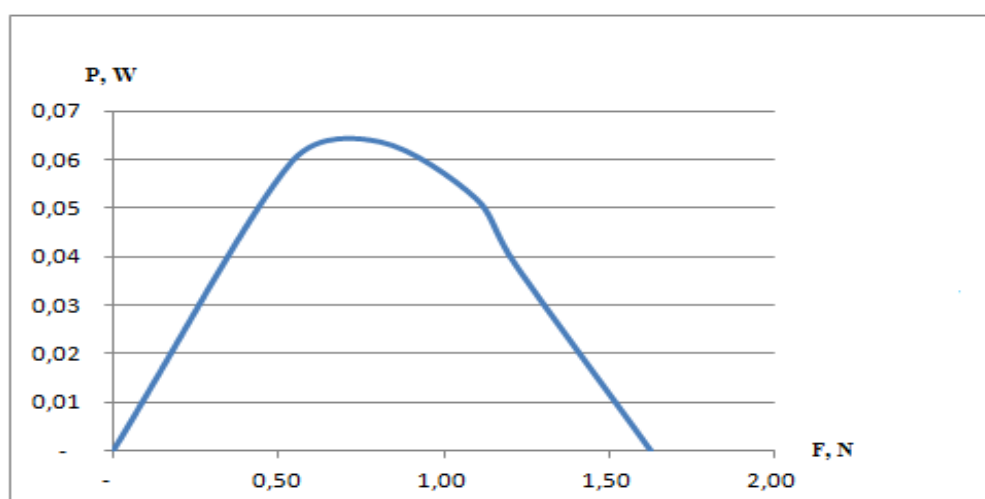
3.36. att. *APRLHK* turbīnu izmēģinājuma rezultāti (s) veicot 10 apgriezienus.

Uz ieejas datu pamata tika aprēķināta šobrīd veiksmīgākās *APRLHK* turbīnas jaudas pie dažādiem tās apgriezieniem (3.3. tabula) (3.37. att.).

3.3. tabula

Turbīnas jaudas aprēķina rezultāti pie dažādām mehāniskām slodzēm

w (rps)	$F$ (N)	$r$ (m)	$M$ (Nm)	$v$ (m/s)	$P$ (W)
-	1,63	0,15	0,24	-	-
0,03	1,22	0,15	0,18	0,03	0,04
0,05	1,10	0,15	0,16	0,05	0,05
0,08	0,81	0,15	0,12	0,08	0,06
0,12	0,54	0,15	0,08	0,11	0,06
0,17	-	0,15	-	0,16	-



3.37. att. Turbīnas jaudas  $P$  (W) aprēķina rezultāti pie dažādām slodzēm.



Ar izveidoto mērīšanas sistēmu tika nomērīti viļņu parametri pie sensoriem A un B un no šiem parametriem aprēķināta viļņu jaudas un absorbētās jaudas (3.4. tabula).

3.4. tabula

Viļņa vidējā jauda,  $P_{vid.}$  (W) un absorbētā viļņa jauda  $P_{abs.}$  (W) turbīnai bez slodzes

Viļņa harmonikas frekvence (Hz)	Viļņa harmonikas jauda, sensors A	Viļņa harmonikas jauda, sensors B	Absorbētā jauda
-	0,0005	-	
0,140	-	0,0005	
0,279	0,0005	0,0005	
0,419	0,5965	-	
0,559	0,0010	0,0005	
0,698	-	-	
0,838	0,0010	-	
0,978	0,0070	0,0090	
1,117	-	-	
1,257	0,0005	-	
1,396	0,0005	-	
1,536	0,1505	0,0520	
1,676	0,0005	-	
1,815	0,0005	0,0005	
1,955	-	-	
2,095	0,0215	0,0005	
2,234	-	-	
2,374	-	-	
2,514	-	-	
2,653	0,0020	-	
2,793	-	-	
2,933	-	-	
3,072	0,0005	-	
3,212	0,0010	-	
3,352	-	-	
3,491	-	-	
3,631	-	-	
3,770	0,0005	-	
3,910	-	-	
<b>Viļņa kopējā vidējā jauda, W</b>	<b>0,7845</b>	<b>0,4625</b>	<b>0,3220</b>

Ievietojot baseinā turbīnu ar slodzi absorbētā jauda  $P_{abs.}$  starp sensoriem A un B ir 0,2555 W (3.5. tabula).



3.5. tabula

Viļņa vidējā jauda (W) un absorbētā viļņa jauda (W) turbīnai ar slodzi

Viļņa harmonikas frekvence (Hz)	Viļņa harmonikas jauda, sensors A	Viļņa harmonikas jauda, sensors B	Absorbētā jauda
-	0,0025	0,0040	
0,1400	-	0,0005	
0,2790	0,0065	-	
0,4190	0,5775	0,4390	
0,5590	0,0095	-	
0,6980	0,0005	-	
0,8380	0,0030	0,0005	
0,9780	0,0095	0,0100	
1,1170	0,0010	-	
1,2570	0,0035	0,0005	
1,3960	0,0240	0,0010	
1,5360	0,0915	0,0495	
1,6760	0,0170	0,0010	
1,8150	-	-	
1,9550	0,0080	0,0005	
2,0950	0,0045	0,0015	
2,2340	0,0020	-	
2,3740	0,0005	-	
2,5140	0,0010	-	
2,6530	-	-	
2,7930	0,0005	-	
2,9330	-	-	
3,0720	0,0005	-	
3,2120	0,0005	0,0005	
3,3520	0,0005	-	
3,4910	-	-	
3,6310	-	-	
3,7700	-	-	
3,9100	-	-	
<b>Viļņa kopējā vidējā jauda, (W)</b>	<b>0,7640</b>	<b>0,5085</b>	<b>0,2555</b>



3.6. tabula

Viļņa vidējā jauda (W) un absorbētā viļņa jauda (W) tukšā baseinā

Frekvence (Hz)	Viļņa harmonikas jauda, sensors A	Viļņa harmonikas jauda, sensors B	Absorbētā jauda
0,1400	0,0095	0,0045	
0,2790	0,0005	0,0020	
0,4190	0,0005	0,0015	
0,5590	0,5970	0,5455	
0,6980	-	-	
0,8380	-	-	
0,9780	-	0,0005	
1,1170	0,0060	0,0105	
1,2570	0,0005	0,0020	
1,3960	0,0005	0,0020	
1,5360	-	0,0025	
1,6760	0,1520	0,1715	
1,8150	-	0,0005	
1,9550	0,0010	0,0005	
2,0950	0,0005	-	
2,2340	0,0125	0,0095	
2,3740	-	-	
2,5140	-	-	
2,6530	-	0,0005	
2,7930	0,0010	-	
2,9330	-	-	
3,0720	-	-	
3,2120	-	-	
3,3520	0,0005	0,0010	
3,4910	-	-	
3,6310	-	-	
3,7700	-	-	
3,9100	0,0005	-	
<b>Viļņa kopējā vidējā jauda (W)</b>	<b>0,7825</b>	<b>0,7545</b>	<b>0,0280</b>

Tika veikti turbīnas ar lāpstiņu profilu Nr. B-1 jaudas un turbīnas izmantošanas koeficienta aprēķini (3.7. tabula).



3.7. tabula

Turbīnas ar lāpstiņu profilu Nr. B-1 jaudas un izmantošanas koeficienta aprēķinu rezultāti

$w$ (rps)	$F$ (N)	$r$ (m)	$v$ (m/s)	$P$ (W)	$P_{(AK)}$ (W)	$\eta_T$ (%)
-	1,63	0,15	-	-	0,736	-
0,03	1,22	0,15	0,03	0,04	0,736	5,43
0,05	1,10	0,15	0,05	0,05	0,736	6,79
0,08	0,81	0,15	0,08	0,06	0,736	8,15
0,12	0,54	0,15	0,11	0,06	0,736	8,15
0,17	-	0,15	0,16	-	0,736	-

3.7. tabulā minētie apzīmējumi:

$w$  – turbīnas leņķiskais ātrums (rps.),

$F$  – turbīnas bremzēšanas slodzes spēks (N),

$r$  – bremzēšanas slodzes pielikšanas plecs (m),

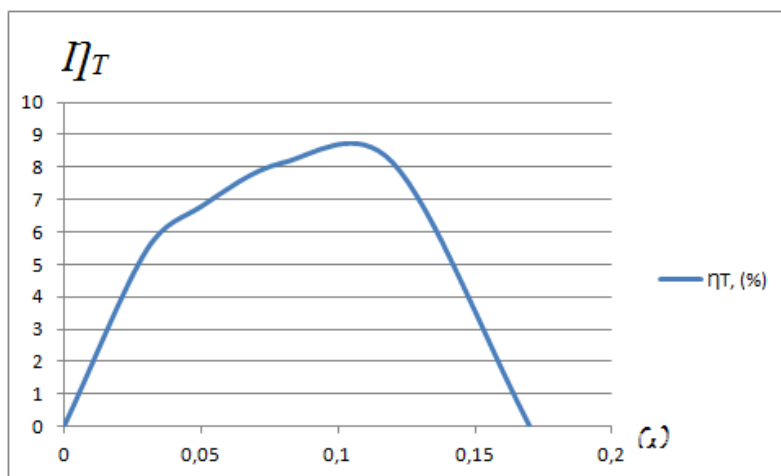
$v$  – vektoriālais aploces ātrums (m/s),

$P$  – bremzēšanas jauda (W),

$P_{(AK)}$  – koriģētā viļņa jauda pirms slogotas turbīnas (W),

$\eta_T$  – turbīnas izmantošanas koeficients (%).

Tagad varam izveidot turbīnas ar lāpstiņas formu Nr. B-1 turbīnas izmantošanas koeficienta  $\eta$  raksturlīkni atkarībā no apgriezienu sakaita (3.38. att.).



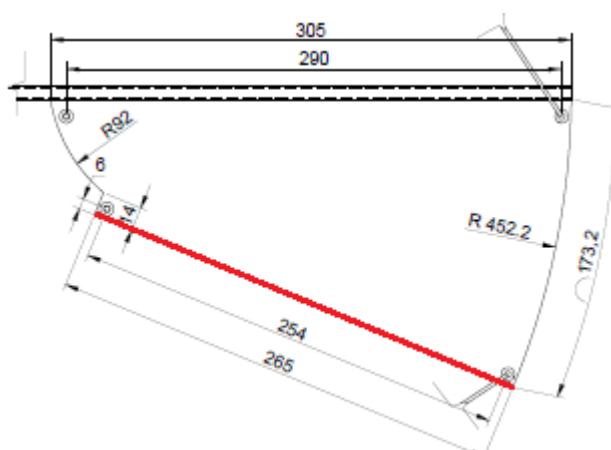
3.38. att. Turbīnas izmantošanas koeficienta  $\eta_T$  raksturlīkne atkarībā no apgriezienu sakaita.



### 3. nodaļas kopsavilkums

Tas, cik precīzi turbīnas lāpstiņa ieņems stāvokli lai uztveru viļņa spēku ir atkarīgs vismaz, bet ne tikai no:

- Kāda ir lāpstiņas kustības brīvība ap tās nesošo asi, kā arī, cik viegli tā ap to pagriežas,
- Cik lokana ir pati lāpstiņa,
- Cik un kā nostiepta ir lāpstiņas garākā brīvā mala (3.39. att.).



3.39. att. Lāpstiņas garākā brīvā mala (atzīmēta ar sarkanu līniju).

Lai to mazinātu vienlaicīgu pretēji strādājošu viļņa spēku iedarbību uz turbīnas lāpstiņu ir nepieciešami jauni tehniski risinājumi.

Turbīna strādā efektīvāk:

- ja tās ass nekustas vertikālā dimensijā,
- ja lāpstiņu materiāla tilpummasa ir vienāda ar turbīnas darba vides tilpummasu.

Ja lāpstiņas brīvā mala neveido maisveida formu, tas ir, neveido kabatas, kuras traucē ūdens plūsmai.

Pastāv iespēja izveidot tādu viļņu enerģijas uztvērēju, kurš bez speciālas detaļas vai mezgla izpilda atsevišķas *JVS* iekāstas blokshēmas funkcijas, piemēram, iekārtas pozicionēšanu ap *z* asi (*APRLHK* turbīna).

Viļņu enerģijas uztveršanu sarežģī tā daļiņu kustību trajektorijas un vilnim raksturīgās īpašības – refrakcija, difrakcija, refleksija un pārklāšanās. To sarežģī arī nevienmērīgais viļņu spektrs.



Lietojot viļņu enerģijas pārveidošanās procesā *APRLHK* turbīnu, tās efektivitātes paaugstināšanai ir jānodrošina lai viena un tā pati turbīnas *PL* vienlaicīgi darbotos viļņa fāzēs, kurās pastāv dažāda virziena plūsmas.

Izstrādājot *JVS* darba iekārtas ir jāreķinās vismaz, bet ne tikai ar ūdens blīvumu, temperatūru un, šo rādītāju izmaiņām.

*JVS* iekārtām ir jābūt pietiekoši pasargātām no sālsūdens agresīvās vides un virknes mainīgām slodzēm.

*JVS* iekārtu elektro-ģeneratoriem būs virkne specifiskas prasības.

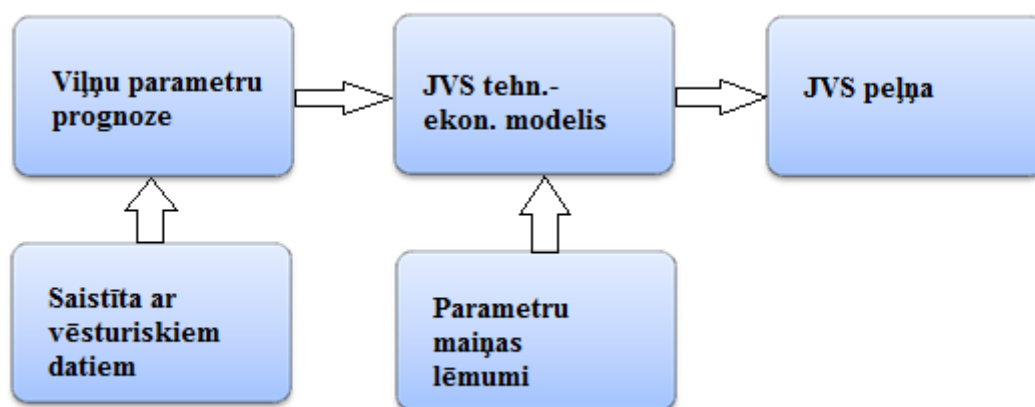
Izmēģinātā *APRLHK* turbīnas modelis rada vīlnī aptuveni 31 % lielu viļņa jaudas zudumu. Daļa no šī zuduma ir viļņa refrakcijas dēļ, daļa – nelietderīgu griezes momentu starpības dēļ starp atsevišķiem turbīnas zariem un uz vienas un tās pašas *PL*. Tikai daļa – lietderīga ir enerģijas pārveidošana.

Analizējot izmēģinājumu mērījumu un rezultātus, tika konstatēti refleksijas radīti traucējumi. Šos traucējumus varētu mazināt pagarinot viļņa slāpētāja garumu vismaz līdz 7m un pārveidojot viļņa ģeneratoru, kā arī to baseina galu, kurā šis ģenerators atrodas, piemēram, ievietojot arī vismaz 7m garu viļņu slāpētāju. Tas arī nozīmētu, ka viļņu baseina garums ir jāpalielina uz aptuveni 30m.



## 4. VIĻŅU SPĒKSTACIJU OPTIMIZĀCIJA

Attīstot *JVS* radīsies nepieciešamība pēc tehnoloģijas, ar kuras palīdzību varētu ērti apzināt spēkstaciju izbūves ekonomiskās konsekvences pastāvēt noteiktiem ietekmes faktoriem – viļņu enerģijas potenciāls, *JVS* darbības efektivitāte, elektroenerģijas cenas, pieslēgums sadales tīkliem (*ST*), *JVS* iekārtu efektivitāte, pārējās izmaksas, dotācijas un juridiskais aspekts. Sakarā ar to, ka *JVS* ietekmes faktori ir pietiekoši daudz turklāt tie daudzos gadījumos ir mainīgi, tad *JVS* ir nepieciešams optimizēt, kas ir spēkstacijas pirms projektēšanas uzdevums ar mērķi prognozēt peļņu (4.1. att.).



4.1. att. *JVS* Optimizācijas principiālā shēma.

*JVS* optimizācijas instruments varētu būt speciāli izstrādāta datorprogramma, kuras lietošana kļūtu mērķtiecīga pēc *JVS* pirms projektēšanas izpēti datu iegūšanas. Pirms projektēšanas dati, kuri attiecas uz šīs datorprogrammas lietošanu ietvertu vismaz ietekmes faktoru apzināšanu. Datorprogrammas izveides mērķis ir optimizēt *JVS* iekārtas un pieslēguma *ST* komponentes lai sasniegtu viszemāko saražotās enerģijas pašizmaksu, kā arī sniegt investoriem un citiem lēmumu pieņēmējiem informāciju par iespējami izveidojamās *JVS* peļņas vai zaudējumu prognozēm un/vai kā šie rādītāji mainītos mainot ietekmes faktoru parametrus. Klasificēsim šo datorprogrammu kā *JVS* optimizācijas datorprogrammu (*OD*) un definēsim tās mērķi kā: „Labākie parametri mērķa funkcija – lielākā produkcija naudas izteiksmē”.

### 4.1. *JVS* optimizācijas uzdevuma nostādne

Lai veiktu *JVS* optimizāciju, ir jāveic priekšizpēti darbi – jāizvēlas būvniecības vieta, jāveic viļņu enerģijas potenciāla aprēķini, jāizvēlas tehnoloģijas veids un kapacitāte, pieslēguma shēma elektrotīklam, jānovērtē nepieciešamie kapitālizdevumi, saražotās enerģijas apjoms, ieņēmumi no tā pārdošanas un izmaksas ražošanai. Spēkstaciju plānošana



tiek veikta peļņas palielināšanas kontekstā. Lai to veiktu izmanto vairākus ekonomiskus kritērijus, piemēram, netto pašreizējā vērtību (*NPV*), iekšējā peļņas likmi (*IRR*), atmaksāšanās laiku, enerģijas vidējās izmaksas *LCOE* [47], [48]. Pastāvot vairākiem vai daudziem mainīgiem variantu skaits var būt ļoti liels, un tas apgrūtina piemērotākā risinājuma izvēli. Praksē projekta ietekmes faktorus papildina vismaz, bet ne tikai enerģijas virzienu diagramma, sarunu rezultāti ar investoriem, aprīkojuma piegādātājiem un būvniekiem. Daži no sākumā neietvertajiem parametriem kļūst zināmi, un parādās nepieciešamība pārskatīt priekšizpēti.

Šajā nodaļā, izmanto tikai *NPV* un *LCOE*, un zemāk aprakstīto algoritmu var viegli paplašināt, lai aprēķinātu un citus ekonomiskos kritērijus.

*NPV* vērtību apraksta vienādojums (4.1) [47]:

$$A = F / [(1 + i) \times n], \quad (4.1)$$

kur:

*A* – *NPV* vērtība,

*F* – nākotnes maksājumi (naudas plūsma),

*i* – diskonta procents (vai kredīta procents),

*n* – naudas plūsma.

Naudas plūsma tiek stādīta pa gadiem. Investīcijas laika posmā no sākotnējā projekta līdz spēkstacijas darbības uzsākšanai tiek summētas ar negatīvu naudas plūsmu. *LCOE* aprēķina, izmantojot izteiksmi [48]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{t_e} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{t_e} \frac{E_t}{(1+r)^t}}, \quad (4.2)$$

kur

*I<sub>t</sub>* – investīciju izdevumi gada laikā *t* (ietverot finansēšanu) (EUR),

*M<sub>t</sub>* – vadības un uzturēšanas izdevumi gada laikā *t* (EUR),

*F<sub>t</sub>* – enerģijas avota izdevumi gada laikā *t* (EUR),

*E<sub>t</sub>* – enerģijas apjoms gadā *t* (MWh),

*r* – diskonta likme (%),

*t<sub>e</sub>* – amortizācijas laiks (gadi).

Izmantojot *NPV* vai *LCOE* un uzdodot gaidāmo *JVS* ekspluatācijas periodu *t<sub>e</sub>*, var norādīt optimizācijas uzdevumus funkciju formās:

*NPV n Dmax.*

*LCOE n Dmin.*

*NPV* vai *LCOE* vērtību kalkulācijā vislielākās grūtības rodas, aprēķinot neto naudas plūsmu *R<sub>t</sub>* vai *A<sub>t</sub>*, jo *JVS* peļņa un izmaksas ir atkarīgas galvenokārt, bet ne tikai no viļņu



enerģijas potenciāla, spēkstacijas būvniecības (struktūras) un enerģijas pārveidošanas parametriem un enerģijas cenām. Laika gaitā mainās viļņu parametri, saražotās elektroenerģijas un enerģijas cenu apjoms, un tos var raksturot ar stohastiskām funkcijām [72]. *JVS* efektivitāti  $E_{jvs}$  (*NPV* vai *LCOE*) izsaka, kā funkciju, kura ir atkarīga no  $W(t)$ ,  $C(t)$ ,  $P$ :

$$E_{jvs} = E_{jvs}(W(t), C(t), P), \quad (4.3)$$

kur:

$W(t)$ ,  $C(t)$  – laika gaitā mainās viļņu parametri, saražotās elektroenerģijas cenas,

$P$  – optimizācijas parametri un struktūras, kas jāizvēlas, veicot optimizācijas uzdevumu risinājumus: būvniecības vieta *JVS*, tehnoloģijas tips un jauda, pieslēguma shēma elektrotīklam u. c.

Nemot vērā, ka  $E_{jvs}$  ir funkcija no gadījuma procesiem, optimizācijas uzdevumā, jāizmanto skaitļu matemātiskās cerības:  $E(NPV(T_{darb.}))$ ,  $E(LCOE(T_{darb.}))$ . Optimizācijas uzdevumi pieņem stohastisko funkciju veidu:

$$E(NPV(T_{darb.})) D_{max.},$$

$$E(LCOE(T_{darb.})) D_{min.}$$

Stohastisko uzdevumu būtība ir sarežģīta, jo tajā ir nepieciešama ieejas procesu statistisko datu izmantošana (t. sk., bet ne tikai korelācijas). Atzīmēsim, ka jāveido ilgtermiņa prognozes, kas rada grūtības. Tās (ilgtermiņa prognozes) jāveic/jāsastāda saskaņā ar atbilstošu plānošanu vai pienācīgu jebkura projekta novērtēšanu.

Novērtējot spēkstacijas ekonomisko efektivitāti, tiek izmantota scenāriju pieeja, un tiek izmantoti gadījuma lielumi ar laika vidējām vērtībām [49]. Ir pazīstama *JVS* efektivitātes novērtēšanai piemērota metode, kuras pamatā ir gada sadalījums gadalaikos (ziema, pavasaris, rudens un vasara) un raksturīgu dienu (darba vai svētku) izvēle katrai sezonai. Šajā gadījumā tiek izmantotas katras dienas vidējās vērtības, un ieņēmumus aprēķina katrai sezonai, pamatojoties uz dienu skaitu. Cita metode ir balstīta uz gada sadalījumu pa mēnešiem un atbilstošo vidējo vērtību [47], [48] izmantošanu naudas plūsmas aprēķināšanai. Šo metodoloģiju trūkums ir tas, ka nav iespējams apsvērt faktisko *JVS* elektroenerģijas ražošanu un reālās cenu pārmaiņas tirgus apstākļos, kuras rodas katru stundu.

## 4.2. *JVS* tehniski ekonomiskais novērtējums Baltijas jūras Latvijas EEZ

Nemot par pamatu šī darba 1. nodaļā aprakstīto Baltijas jūras Latvijas *EEZ* viļņu potenciāla aprēķina datus [21], izvēlēsimies 200km garas (kura sastāv no vairākiem posmiem ar atšķirīgiem ieejas parametriem) *JVS* perspektīvas. Ņemsim par aprēķinu pamatu standarta aprēķinu metodi *Nett Present Value (NPV)* un izmantosim izteiksmi (4.1.) saražotās



elektroenerģijas aprēķinos lietojam viļņu potenciāla aprēķinu ieejas datus tāds, kādi tie ir bijuši vēsturiski 2011. gadā, izmantojot naivo prognozēšanas metodi.

*JVS* izmantošanas koeficients ietver vairāku koeficientu reizinājumu no viļņu enerģijas pārveidošanas līdz elektroenerģijas pieslēgumam *ST*, bet izvērsti lietderības koeficientu izsaka sakarība:

$$\eta = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \times \eta_5 \times \eta_6 \times \eta_7 \times \eta_8 \times \eta_9 , \quad (4.4)$$

kur

$\eta$  – *JVS* un pieslēguma *ST* kopējais lietderības koeficients,

$\eta_1$  – *JVS* iekārtu lietderības koeficients,

$\eta_2$  – *AC* kabeļu lietderības koeficients,

$\eta_3$  – *AC* apakšstaciju lietderības koeficients,

$\eta_4$  – *AC* kabeļu lietderības koeficients,

$\eta_5$  – *AC/DC* konvertoru staciju lietderības koeficients,

$\eta_6$  – *DC* kabeļu lietderības koeficients,

$\eta_7$  – *DC/AC* konvertoru staciju lietderības koeficients,

$\eta_8$  – *DC/AC* konvertoru staciju un *AC* apakšstaciju lietderības koeficients.

Šajā aprēķinā apskatīsim/ analizēsim tikai to procesu, kurā viļņu enerģija tiek pārveidota elektroenerģijā.

Viļņa enerģijas pārveidošanas epizodē darbojas turbīnas izmantošanas koeficients  $\eta_T$ , kuru raksturo izteiksme:

$$\eta_T = \eta_V \times \eta_H \times \eta_P \times \eta_F \times \eta_L \times \eta_M \times \eta_E , \quad (4.5)$$

kur

$\eta_V$  – kinētiskās enerģijas sadalījuma koeficients tilpumā,

$\eta_H$  – horizontālās plūsmas atdalīšanas koeficients (0,5),

$\eta_P$  – plūsmas izmantošanas koeficients, ar kuru novērtē tās plūsmas izmantošanu, kura izplūst caur turbīnu (Beitz/Glauerts 0,5926),

$\eta_F$  – formas koeficients ( $\pi/4$ ),

$\eta_L$  – turbīnas hidrauliskais lietderības koeficients,

$\eta_M$  – mehāniskais lietderības koeficients (gultnis, blīvslēgs  $\approx 0,95$ ),

$\eta_E$  – elektro ģeneratora lietderības koeficients.



Izmantojot Morozova vienādojumu [257] izteiksim sakarību starp šī darba 3.2.1. apakšnodaļā minētajiem zināmās *APRLHK* turbīnas  $T_1$  modeļa un ģeometriski līdzīgas turbīnas  $T_2$  ar diametru  $D_2$  izmantošanas koeficientiem (3.1. tabula):

$$\eta_{L2} = (1 - (1 - \eta_{L1}) \times \sqrt[5]{\frac{D_1}{D_2}}) , \quad (4.6)$$

kur

$\eta_{L2}$  – ģeometriski līdzīgas turbīnas lietderības koeficients,

$\eta_{L1}$  – zināmās turbīnas lietderības koeficients,

$D_1$  – zināmās turbīnas diametrs (0,9m),

$D_2$  – ģeometriski līdzīgās turbīnas diametrs.

Pieņemot, ka sastādot  $\eta_{T1}$  un  $\eta_{T2}$  izteiksmes, pamatojoties uz vienādojumu (4.5), izdalot abas šo vienādojumu puses vienu ar otru, iegūstam vienādojumu (4.7):

$$\frac{\eta_{T1}}{\eta_{T2}} = \frac{\eta_{L1}}{\eta_{L2}} \quad (4.7)$$

No (4.5) izteiksim Zināmās turbīnas  $\eta_{L1}$ :

$$\eta_{L1} = \frac{\eta_{T1}}{\eta_V \times \eta_H \times \eta_P \times \eta_F \times \eta_M \times \eta_E} \quad (4.8)$$

kur vienādojuma labās puses visas vērtības ir zināmas. Tādējādi zinot  $\eta_{L2}$ ,  $\eta_{L1}$  un  $\eta_{T1}$  no izteiksmes (4.7) izvedam un aprēķinam ģeometriski līdzīgās turbīnas izmantošanas koeficientu  $\eta_{T2}$ .

Balstoties uz darba 1. nodaļā aprakstītajiem Baltijas jūras Latvijas *EEZ* viļņu potenciāla datiem kontrolpunktos P1, P2, P3, P4, P5 un P7 pie turbīnas ar  $D = 9$  m un  $\eta_{T2} = 0,25$ , veiksime ekonomiskos aprēķinus.

Apskatīsim dažus kontrolpunkta P1 raksturlielumus lai apzinātu ienākošo viļņu statistiku un novērtētu, cik enerģijas dos viļņu grupas ar izvēlētiem jaudu intervāliem (4.1. tabula).

Lai noskaidrotu, vislielāko enerģijas varbūtību sareizināsim atbilstošo viļņu jaudu ar laiku, kuru šie viļņi pastāv un sarindosim enerģijas vērtības pieaugošā secībā. Aptuveni 70 % viļņu enerģijas ir diapazonā līdz 39 kW/m (4.2. tabula).



4.1. tabula

Vilņu statistika kontrolpunktā P1 – enerģijas sadalījums (kW/m) pa vidējām vilņu jaudām (kW/m)

Vidējā vilņu jauda $P$ (kW/m)	Vilņu enerģija $E$ (kWh/m)	$E$ (%)	$\Sigma$ %
1,00	3 052	6,79	
3,00	3 079	6,84	
5,00	2 425	5,39	
7,00	2 499	5,56	
9,00	2 793	6,21	30,79
11,00	1 396	3,10	
13,00	2 181	4,85	
15,00	1 643	3,65	
17,00	1 442	3,21	
19,00	1 869	4,16	18,96
21,00	1 595	3,55	
23,00	966	2,15	
25,00	1 545	3,44	
27,00	1 070	2,38	
29,00	1 052	2,34	13,85
31,00	275	0,61	
33,00	914	2,03	
35,00	883	1,96	
37,00	522	1,16	
39,00	585	1,30	7,07
41,00	291	0,65	
43,00	388	0,86	
45,00	857	1,91	
47,00	475	1,06	
49,00	488	1,08	5,56
51,00	877	1,95	
53,00	965	2,14	
55,00	164	0,36	
57,00	230	0,51	
59,00	357	0,79	5,77
61,00	1 207	2,68	
63,00	64	0,14	
65,00	651	1,45	
67,00	67	0,15	
69,00	-	-	4,42
71,00	493	1,10	
73,00	74	0,16	
75,00	817	1,82	



4.1. tabulas turpinājums

77,00	-	-	
79,00	-	-	<b>3,08</b>
81,00	81	0,18	
89,00	-	-	<b>0,18</b>
91,00	182	0,40	
93,00	187	0,42	
97,00	98	0,22	
99,00	-	-	<b>1,04</b>
103,00	207	0,46	
107,00	214	0,48	
109,00	109	0,24	<b>1,18</b>
117,00	117	0,26	
119,00	-	-	<b>0,26</b>
123,00	122	0,27	
129,00	-	-	<b>0,27</b>
133,00	133	0,30	
139,00	-	-	<b>0,30</b>
147,00	146	0,33	
149,00	-	-	<b>0,33</b>
155,00	154	0,34	
159,00	159	0,35	<b>0,70</b>
165,00	331	0,74	
169,00			<b>0,74</b>
171,00	171	0,38	
179,00	179	0,40	<b>0,78</b>
189,00	380	0,84	<b>0,84</b>
207,00	206	0,46	
209,00	-	-	<b>0,46</b>
213,00	425	0,94	
215,00	430	0,96	
219,00	-	-	<b>1,90</b>
227,00	228	0,51	
229,00	-	-	<b>0,51</b>
235,00	234	0,52	
237,00	237	0,53	<b>1,05</b>
	<b>44 977</b>	100,00	



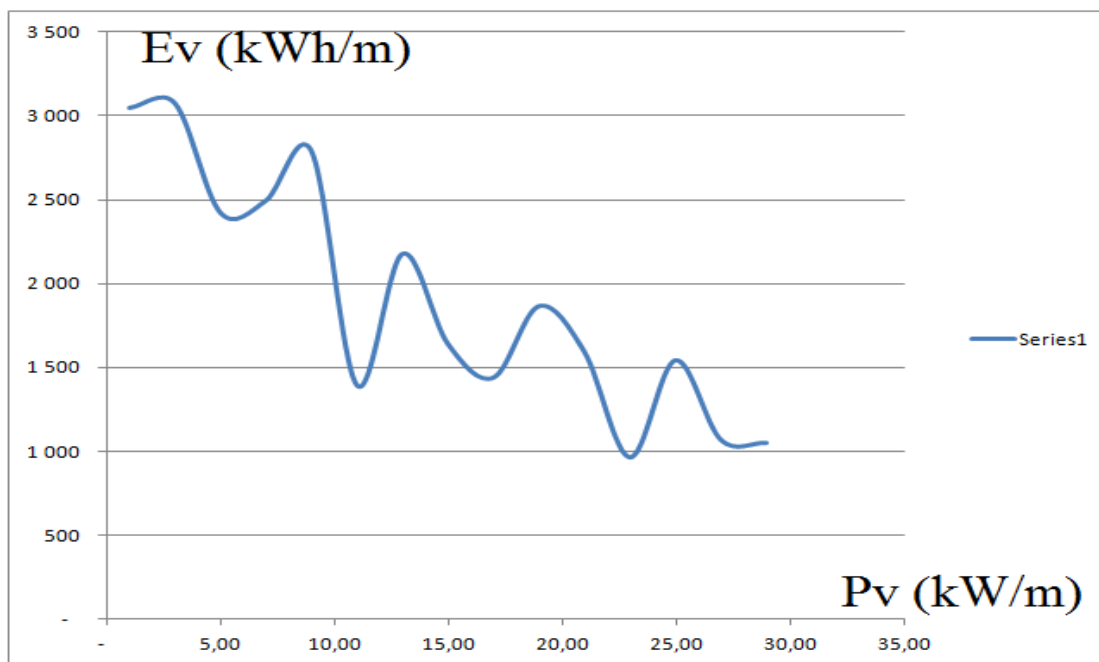
4.2. tabula

Ienākošās viļņu enerģijas  $E_v$  atkarība no viļņu vidējās jaudas  $P_v$  kontrolpunktā P1

$E_v$ (kWh/m)	Vidējā jauda $P_v$ (kW/m)	% no kopējās enerģijas $E_v$
522	37	
585	<b>39</b>	
883	35	
914	33	
966	23	
1 052	29	
1 070	27	
1 396	11	
1 442	17	
1 545	25	
1 595	21	
1 643	15	
1 869	19	
2 181	13	
2 425	5	
2 499	7	
2 793	9	
3 052	1	
3 079	3	
<b>31 508</b>		<b>70,05</b>

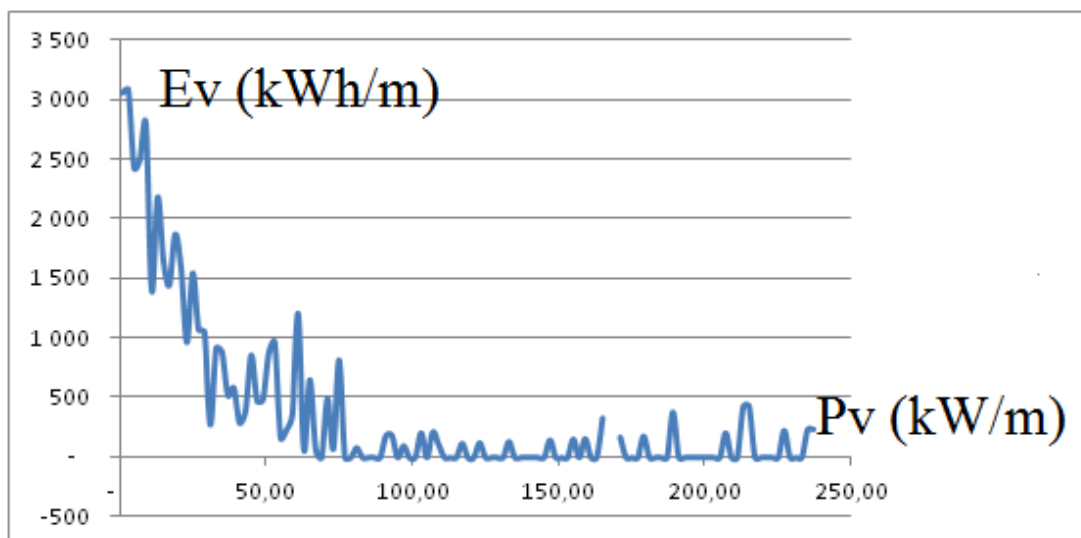
Tehniski *JVS* turbīnas jaudas diapazons ir ierobežots un pārējā viļņu enerģija gada laikā atrodas viļņu jaudas diapazonā, kurš ir tālu no 39kW/m. Šajā intervālā *JVS* turpinās darbu iegremdētā pozīcijā. Izvēlēsimies maksimālo *JVS* turbīnas uztveramo jaudu pie *jvl.* pozīcijā kā 39kW/m. Šajā diapazonā īpatnējās viļņu enerģijas  $E_v$  (kWh/m) daudzuma atkarība no īpatnējās viļņu jaudas  $P_v$  (kW/m) parādīta 4.2. att.





4.2. att. Īpatnējās viļņu enerģijas  $E_v$  (kWh/m) atkarība no īpatnējās vidējās viļņu jaudas  $P_v$  (kW/m).

Pilns kontrolpunkta P1 gada viļņu īpatnējās enerģijas  $E_v$  (kWh/m) spektrs parādīts 4.3. att.



4.3. att. Kontrolpunkta P1 pilns viļņu īpatnējās enerģijas  $E_v$  (kWh/m) sadalījums atkarībā no viļņu īpatnējās jaudas  $P_v$  (kW/m).

Balstoties uz darba 1. nodaļā aprakstītajiem Baltijas jūras Latvijas *EEZ* viļņu potenciāla datiem kontrolpunktos P1, P2, P3, P4, P5 un P7 pie turbīnas ar  $D = 9$  m un  $\eta_{T2} = 0,25$ , veiksīm ekonomiskos aprēķinus iespējamai *JVS*, kuru raksturo attālumi atkarībā no ieejas datiem un esošās navigācijas situācijas:



1. Ar P1 raksturlielumiem *JVS* garums ir 19,4km;
2. Ar P7 raksturlielumiem *JVS* garums ir 24,85km;
3. Ar P2 raksturlielumiem *JVS* garums ir 55,60km;
4. Ar P3 raksturlielumiem *JVS* garums ir 61,73km;
5. Ar P4 raksturlielumiem *JVS* garums ir 25,18km;
6. Ar P5 raksturlielumiem *JVS* garums ir 13,65km.

Aprēķinos tika lietotas elektroenerģijas cenu prognozes, kuru epizode parādīta 4.3.

tabulā.

4.3. tabula

Elektroenerģijas vairumtirdzniecības cenu prognozes EUR/kWh

Gadi									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0152	0,0060	0,0173	0,0268	0,0412	0,0225	0,0059	0,0338	0,0072	0,0170
0,0249	0,0212	0,0164	0,0167	0,0066	0,0203	0,0206	0,0101	0,0101	0,0336
0,0070	0,0086	0,0029	0,0137	0,0239	0,0232	0,0224	0,0209	0,0009	0,0092
0,0171	0,0109	0,0086	0,0027	0,0115	0,0172	0,0301	0,0214	0,0095	0,0213
0,0131	0,0026	0,0140	0,0151	0,0147	0,0364	0,0208	0,0016	0,0227	0,0247
0,0026	0,0138	0,0191	0,0220	0,0194	0,0206	0,0144	0,0024	0,0097	0,0349
0,0144	0,0312	0,0169	0,0377	0,0208	0,0214	0,0478	0,0267	0,0343	0,0478

Aprēķinos lietotie ieguldījumu rādītāji atspoguļoti 4.4. tabulā.

4.4. tabula

*JVS* izbūves izmaksu rādītāji

Pozīcija	Ieguldījumi, EUR
Turbīnas cena	7 000,00
Turbīnas uzstādīšana	10 000,00
Turbīnas infrastruktūra	9 000,00
Turbīnas infrastruktūras instalācija	12 000,00
Kopā 1 turbīna	38 000,00

Procentu likme, diskonta likme un plānošanas perioda ilgums parādīts 4.5. tabulā.

4.5. tabula

Procentu likme, diskonta likme un plānošanas perioda ilgums

Pozīcija	Vērtība
Procentu likme	2,60%
Diskonta likme	2,00%
Plānošanas periods	25 gadi

### 4.3. Rezultāti

Aprēķina rezultāti parādīti 4.6. tabulā.



Baltijas jūras Latvijas *EEZ* modelētā *JVS* tehniski ekonomiskā aprēķina rezultāti

	P1	P2	P3	P4	P5	P7	Kopā
$P_v \text{ max, kW/m}$	39	33	34	37	30	34	
$P_T \text{ max, kW}$	88	75	76	84	67	77	
<i>JVS</i> garums, km	19,40	55,60	61,73	25,18	13,65	24,85	<b>200,41</b>
$E_{EL}$ , TWh	0,19	0,52	0,55	0,26	0,11	0,23	<b>1,86</b>
Turbīnu skaits	2155	6178	6859	2798	1517	2761	<b>22268</b>
Investīcijas, EUR	81,89	234,76	260,64	106,32	57,65	104,92	<b>846,18</b>
<i>LCOE</i> ar kredītu, EUR/kWh	0,100	0,099	0,102	0,096	0,105	0,100	<b>0,100</b>
<i>LCOE</i> bez kredīta, EUR/kWh	0,092	0,091	0,093	0,089	0,096	0,092	<b>0,092</b>

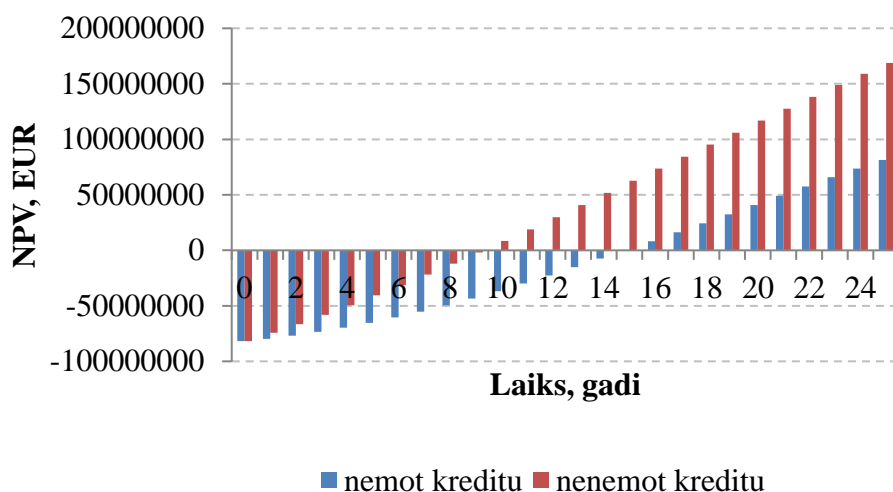
Tabulā minēti apzīmējumi:

$P_{V \text{ max}}$  – ienākošo viļņu maksimālā uztveramā jauda kW/m,

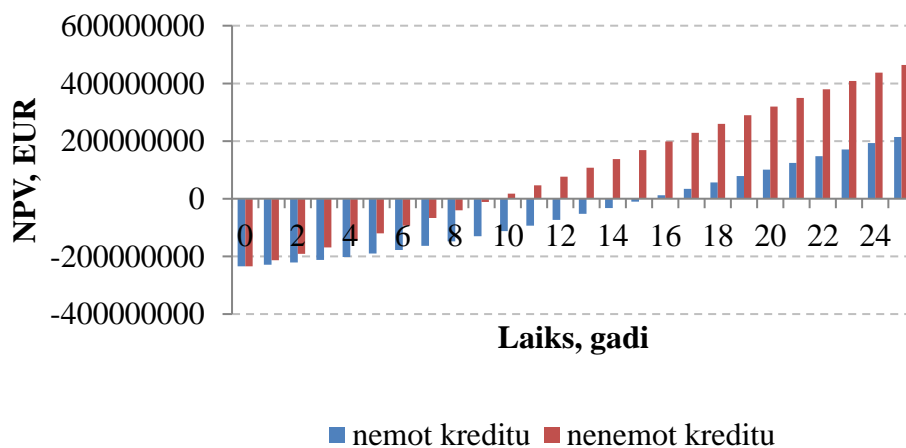
$P_{T \text{ max}}$  – maksimālā turbīnas elektriskā jauda kW,

$E_{EL}$  – saražotā elektroenerģija gadā TWh.

Tehniskā projektā turbīnu maksimālās elektriskās jaudas tiks standartizētas, un tāpēc atšķirsies no teorētiski aprēķinātajām.

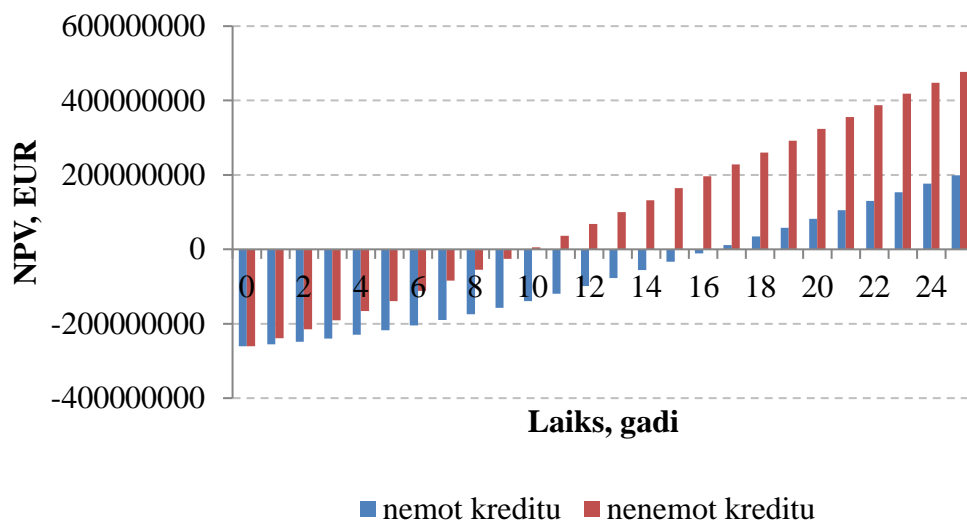


4.4. att. *NPV* prognoze *JVS* P1 posmam.

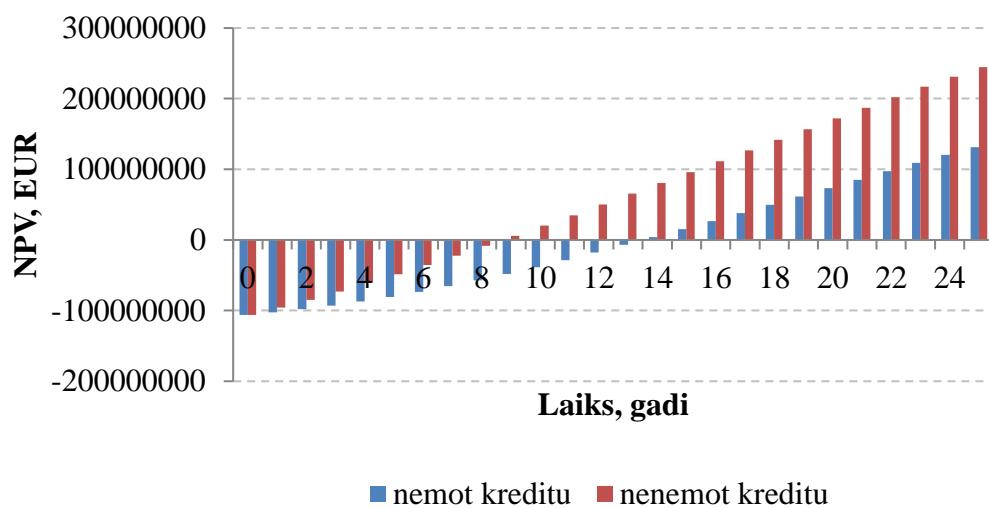


4.5. att. *NPV* prognoze *JVS* P2 posmam.

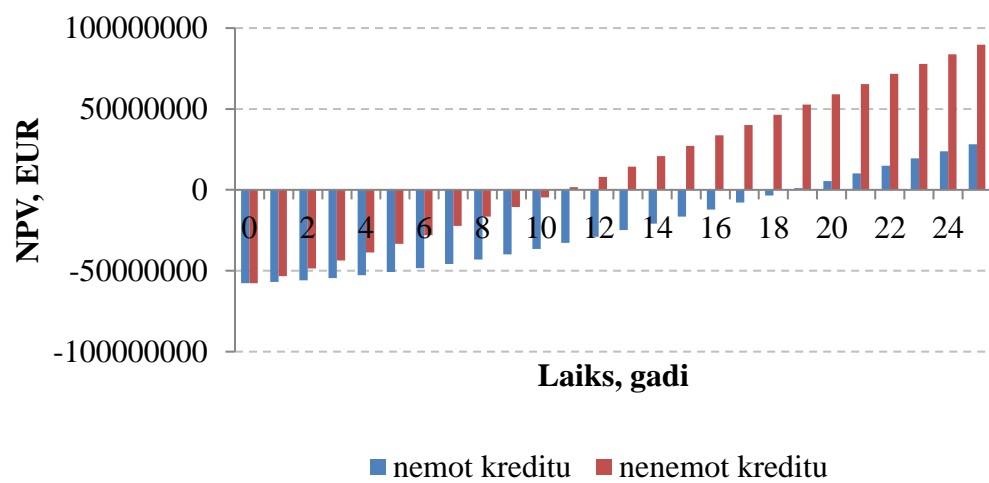




4.6. att. NPV prognoze JVS P3 posmam.

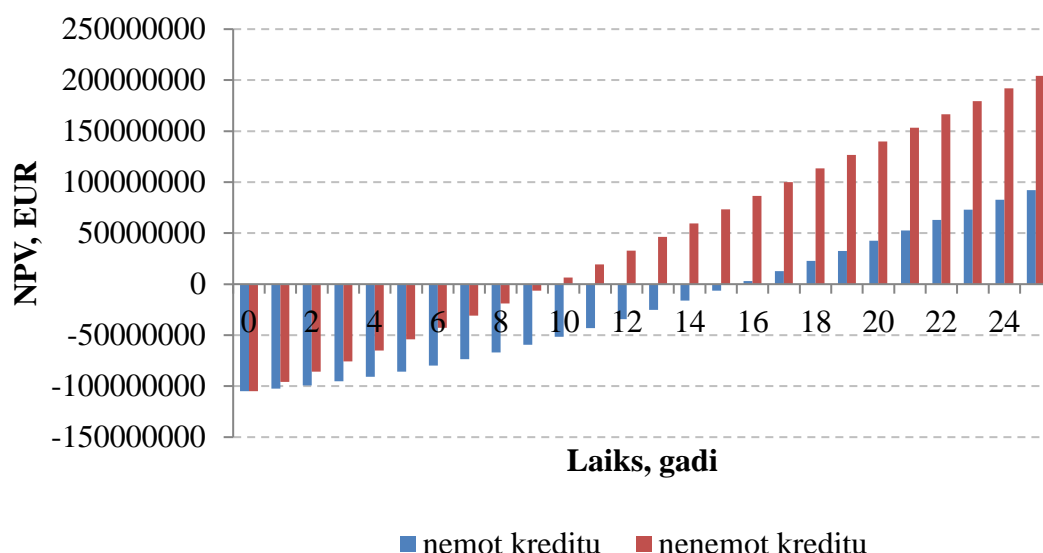


4.7. att. NPV prognoze JVS P4 posmam.



4.8. att. NPV prognoze JVS P5 posmam.





4.9. att. NPV prognoze JVS P7 posmam.

#### 4. Nodaļas kopsavilkums

Apstiprinot darbā veiktos aprēķinus ar atbilstošiem *APRLHK* turbīnas *TRL9* izmēģinājumu rezultātiem un skiču projekta tāmēm var izrādīties, ka Baltijas jūras Latvijas *EEZ* esošais viļņu potenciāls ir nozīmīgs atjaunojamās enerģijas avots tā apjomā ap 1,86TWh elektroenerģijas gadā. Tomēr ir jāreķinās ar viļņu enerģijas nevienmērību laikā, kas nozīmē, ka šī enerģija būs arī jāpārdod vai jāuzkrāj.

*JVS* optimizācijai ir jāizmanto speciāla *OD*, ar kuru ir iespējams apstrādāt šīm spēkstacijām specifiski raksturīgos ietekmes faktorus.

Pirms *OD* lietošanas ir jāveic *JVS* pirms projektēšanas darbi:

- jāiegūst ieejas dati par izvēlēto akvatorija viļņu potenciālu,
- jāiegūst *OD* komplementāra akvatorija karte ar atļauto *JTP* redakciju un dziļumu reģistriem,
- jāiegūst enerģijas pārveidošanas koeficientu reģistri visai elektroenerģijas ķēdei sākot no ģenerētās elektroenerģijas beidzot ar pārdodamo elektroenerģiju uzskaites punktā,
- jāiegūst *JVS* biznesa plāns ar visām paredzamajām izmaksām.

*OD* izmēģinājumi konkrētu *JVS* projektos dos precīzāku informāciju par to, cik tālu sabiedrība ir no viļņu enerģētikas, kā nozares sākuma.

*JVS* provizorisks tehniski ekonomiskais aprēķins Baltijas jūras Latvijas *EEZ* apstākļos izceļ viļņu potenciāla nevienmērības problēmas aktualitāti.



## 5. DARBS NĀKOTNĒ

Jāpilnveido viļņu enerģijas pārveidošanas pētniecības laboratorija pagarinot baseinu līdz 30m, padziļinot to līdz 1,5m, pagarinot viļņu slāpētāja zonu vismaz līdz 7m un uzlabojot viļņu ģeneratoru ar mērķi samazināt refleksiju no viļņu slāpētāja un viļņu ģeneratora, kā arī „mīkstinot” viļņu ģeneratora izstūmtā ūdens efektu.

Jāizgatavo *APRLHK* turbīna ar tādām *PL*, kuras nodrošinātu turbīnas asij perpendikulāras reaktīvās plūsmas virzienu un to lai lāpstiņas spied virsmai būtu mazāks laukums nekā aptek virsmai. Jāsamazina griezes momenta atšķirības starp turbīnas dažādām *PL*. Jāpilnveido *PL* un turbīnas rumbas konstrukcija. Jāpilnveido *PL* hidrodinamiskās īpašības, sīkāk jāizpēta, kā dažādās viļņa fāzēs tā uztvers viļņa  $E_k$ , kā optimālāk izlīdzināt griezes momentus starp turbīnas dažādām lāpstiņām un uz vienu un to pašu lāpstiņu, kā izvēlēties lāpstiņu materiālus lai to svārs harmonēti ar izturību. Eksperimentāli jāapstiprina *APRLHK* lietderības koeficienta atkarība no tās diametra un viļņa garuma.

Jāizveido dažādu modeļu simulācijas vide.

Jāapgūst vide konstrukciju stiprības aprēķiniem (Gala Elementu metode (*FEM*) programmnodrošinājums) un materiālu ilgmūžības testiem.

Jāizstrādā turbīnu iegremdēšanas dziļuma maiņas mehānisms spēkstaciju droša darba turpināšanai virs projektēto viļņu parametru diapazona.

Jāizskata alternatīva iespēja izveidot uztvērēju, kurš pārvietojas paralēli viļņiem (z asij).

Ir jāizveido *JVS* optimizācijas datorprogramma kā komerciāls pirms projektēšanas/ biznesa plāna instruments, kurā bez šajā darbā respektētajiem faktoriem tiktu ievērtēti:

1. Skiču projekta tāmes pozīcijas;
2. Iespēja ievadīt 10 gadu datus apskatāmajam akvatorijam ar nepieciešamo kontrolpunktu skaitu tīklam ar standartam atbilstošu (pie nepieciešamības maināmu) „acs” izmēru;
3. Viļņu potenciāla blīvuma identificēšana optimālā pārveidotāja izmēra noteikšanai un ģeneratora jaudas aprēķinam;
4. Zudumi tīklos no pārveidotāja līdz pieslēgumam;
5. Uzkrājamās/pārdodamās enerģijas profili;
6. Viļņu virzienu maiņas fenomens;
7. Izdevumi ( $R$ ,  $TA$ , apdrošināšana, administrēšana, citi izdevumi, neplānoti izdevumi u.c.);
8. Pārveidotāja izmantošanas koeficienta līknes;
9. Kinētiskās enerģijas izmantošanas koeficients atkarībā no pārveidotāja iegremdēšanas līmeņa pozīcijas.



## SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI

Promocijas darbā iegūtie rezultāti rāda, ka:

1. Pēdējās dekādēs ogļskābās gāzes koncentrācija atmosfērā ir palielinājusies līdz tādām līmenim, kāds nav bijis pēdējo 800 000 gadu laikā. Tas rada klimata izmaiņas dabas anomāliju un katastrofu veidā. Aizvietojot fosilos enerģijas avotus ar atjaunojamiem šo problēmu varētu mazināt.
2. Pasaulē vienlaicīgi pastāv dažādas attieksmes pret tām pieejamiem viļņu enerģijas potenciāliem – citviet jau rada vidi šī enerģijas veida apguvei, kamēr citur novērtē zemāk šādu iespēju.
3. Katras valsts tās rīcībā esošā viļņu potenciāla izmantošanu nosaka ne tikai, bet arī šo valstu valdību pieņemtie lēmumi. Savukārt lēmumu pieņemšanu nosaka galvenokārt atbilstošo valdību un parlamentu izpratne par viļņu potenciālu un to izmantošanas nozīmīgumu.
4. Lietojot dažādas viļņu potenciāla aprēķinu metodes, tiek iegūti rezultāti ar atšķirību vismaz desmit reizes.
5. *JVS* pirms projektēšanas stadijā ir jālieto precīzākas metodes.
6. Viļņu enerģijas potenciāla būtiskākie raksturlielumi ir  $H$ ,  $T$ , viļņa garums ( $\lambda$ ),  $mwd$ ,  $h$ , t. sk. paisuma/bēguma dinamika un viļņa jaudu sadalījums laikā.
7. Novērtējot viļņu potenciālu ir svarīgi apzināties, kā apskatāmais akvatorijs sadalās pa zonām (dziļūdens, piekrastes un seklūdens) un kāds ir enerģijas blīvums šajās zonās. Ignorējot šo sadalījumu aprēķinātajos viļņu potenciāla rezultātos var rasties būtiskas atšķirības. Viļņu potenciāla apgūšanā svarīgs rādītājs ir enerģijas sadalījums laikā.
8. Aprēķina piemērs Baltijas jūras Latvijas *EEZ* [18] liecina, ka:
  - 8.1. Rīgas jūras līcī viļņu enerģijas daudzums uz 1 m viļņa platumā ir ap trīs reizes mazāks nekā atbilstošais rādītājs Baltijas jūras Latvijas *EEZ*. Uzskatāms, ka galvenie cēloņi ir viļņu veidošanās attālumu un ledus apstākļu atšķirībās;
  - 8.2. No Dienvidrietumu – Rietumu un Ziemeļrietumu pamatvirzieniem nāk vismaz 90 % no viļņu enerģijas Baltijas jūras Latvijas *EEZ* daļā;
  - 8.3. Sarežģītais enerģijas virzienu sadalījums norāda uz to ka potenciālo *JVS* izvietojums būs atkarīgs no to uztvērēju darbības leņķa diapazona;
  - 8.4. Rēķinot Baltijas jūras apgabala „A” viļņu enerģijas potenciālu ar *VEVPP* metodi rezultāts ir 6,51 TWh gadā. Pielietojot salīdzinošo novērtējumu, kurš iegūts ar vienkāršotu aprēķinu metodi  $Z_0$ , kura ir balstīta uz atšķirīgu kontrolpunktu izvietojuma principu, tas ir vidēji 6,46 TWh gadā (–0,77 %), iegūtie rezultāti ir tuvi, kas nozīmē, ka veiktais viļņu enerģijas aprēķins ir ticams. Viļņu enerģijas



- virzienu projekcijas metode, salīdzinot ar tradicionālajām metodēm, vienmērīgāk, un pilnīgāk uzskaita dažādu virzienu enerģiju apgabalā;
- 8.5. *VEVPP* kalpo uztvērēja līnijas vai cita *JVS* izvietojuma precīzākai noteikšanai apgabalā un tai sekojošai potenciāli uztveramās enerģijas precīzākai novērtēšanai.
9. *JVS* iekārtu optimālam izvietojumam ir nepieciešami ieejas dati par viļņu potenciāla kopainas sastādīšanu. Šie dati ir koordinātes, dziļumi, paisuma/bēguma reģistri,  $H$ ,  $sw_h$  un  $T$ , kuri piesaistīti konkrētiem laikiem.
10. Optimālākai *JVS* projektēšanai ir nepieciešami dati par to, kā mainās viļņu potenciāls tā mijiedarbībā ar iekārtām. Šādus datus var iegūt modelējot *JVS* ar konkrētām iekārtām.
11. Viļņu virzieni vienmēr būs ietekmes faktors jebkuras *JVS* izveidē.
12. Viļņu enerģijas nevienmērība izraisīs nepieciešamību pārveidoto enerģiju pārdot un/vai uzkrāt.
13. Pastāv iespēja viļņu enerģiju kombinēt ar kādiem no vasaras periodā pieejamām enerģiju veidiem, piemēram, Saules enerģiju.
14. Pasaulē ir interese par viļņu tehniku. Šobrīd nav atdzītas tehnikas, kura dod vispusējas priekšrocības. Tehnikas izvēles metodoloģijas nav.
15. Turbīna ar vertikālu asi un pašregulējošām lāpstiņām varētu būt perspektīva viļņu enerģijas pārveidošanas iekārta.
16. Atšķirības dažādu akvatoriju un viena un tā paša akvatorija viļņu jaudu raksturlielumos kā arī enerģijas cenu mainīšanās rosina izskatīt iespējas radīt tādas pārveidošanas iekārtas, ar kurām varētu viegli paplašināt vai samazināt *JVS*.
17. Ir vērts klasificēt viļņu pārveidošanas iekārtas pēc to pielietojamības iespējām seklūdenī, vidēja dziļuma un dziļūdenī.
18. Pastāv iespēja izveidot tādu viļņu enerģijas uztvērēju, kurš bez speciālas detaļas vai mezgla izpilda atsevišķas *JVS* iekārtas blokshēmas funkcijas, piemēram, iekārtas pozicionēšanu ap  $z$  asi (*APRLHK* turbīna).
19. Ir vērts klasificēt viļņu pārveidošanas iekārtas atkarībā no iespējām tās pasargāt no pārmērīgi lielas jaudas viļņiem.
20. Viļņu laboratorijai ir jāmeklē risinājumi lai samazinātu refleksiju no viļņu ģeneratora un abiem baseina galiem. To varētu panākt ievietojot vismaz 7 m garus šķembu slāpētājus abos baseina galos un izmainot viļņu ģeneratora konstrukciju. Refleksijas mazināšana dotu iespēju iegūt precīzākus mērījumus.
21. Viļņa enerģijas uztveršanu sarežģī tā daļiņu kustību trajektorijas un vilnim raksturīgās īpašības – refrakcija, difrakcija, refleksija un pārklāšanās. To sarežģī arī nevienmērīgais viļņu spektrs.



22. Lietojot viļņu enerģijas pārveidošanās procesā *APRLHK* turbīnu, tās efektivitātes paaugstināšanai ir jānodrošina lai viena un tā pati turbīnas *PL* vienlaicīgi darbotos viļņa fāzēs, kurās pastāv dažāda virziena plūsmas. Tas, cik precīzi turbīnas lāpstiņa ieņems stāvokli lai uztveru viļņa spēku ir atkarīgs vismaz, bet ne tikai no:
- 22.1. Kāda ir lāpstiņas kustības brīvība ap tās nesošo asi, kā arī, cik viegli tā ap to pagriežas,
- 22.2. Cik lokana ir pati lāpstiņa,
- 22.3. Cik un kā nostiepta ir lāpstiņas garākā brīvā mala
23. Lai to mazinātu vienlaicīgu pretēji strādājošu viļņa spēku iedarbību uz turbīnas lāpstiņu ir nepieciešami jauni tehniski risinājumi.
24. Turbīna strādā efektīvāk:
- 24.1. ja tās ass nekustas vertikālā dimensijā,
- 24.2. ja lāpstiņu materiāla tilpummasai ir vienāda ar turbīnas darba vides tilpummasu.
25. Ja lāpstiņas brīvā mala neveido maisveida formu, tas ir, neveido kabatas, kuras traucē ūdens plūsmai.
26. Pastāv iespēja izveidot tādu viļņu enerģijas uztvērēju, kurš bez speciālas detaļas vai mezgla izpilda atsevišķas *JVS* iekāstas blokshēmas funkcijas, piemēram, iekārtas pozicionēšanu ap *z* asi (*APRLHK* turbīna).
27. Viļņa enerģijas uztveršanu sarežģī tā daļiņu kustību trajektorijas un vilnim raksturīgās īpašības – refrakcija, difrakcija, refleksija un pārklāšanās. To sarežģī arī nevienmērīgais viļņu spektrs.
28. Izstrādājot *JVS* darba iekārtas ir jārēķinās vismaz, bet ne tikai ar ūdens blīvumu, temperatūru un, šo rādītāju izmaiņām.
29. *JVS* iekārtām ir jābūt pietiekoši pasargātām no sālsūdens agresīvās vides un virknes mainīgām slodzēm.
30. *JVS* iekārtu elektro-ģeneratoriem būs virkne specifiskas prasības.
31. Izmēģinātā *APRLHK* turbīnas modelis rada vilnī aptuveni 31 % lielu viļņa jaudas zudumu. Daļa no šī zuduma ir viļņa refrakcijas dēļ, daļa – nelietderīgu griezes momentu starpības dēļ starp atsevišķiem turbīnas zariem un tikai daļa – lietderīga enerģijas pārveidošana.
32. Apstiprinot darbā veiktos aprēķinus ar atbilstošiem *APRLHK* turbīnas *TRL9* izmēģinājumu rezultātiem un skiču projekta tāmēm var izrādīties, ka Baltijas jūras Latvijas *EEZ* esošais viļņu potenciāls ir nozīmīgs atjaunojamās enerģijas avots tā apjomā ap 1,86TWh elektroenerģijas gadā. Tomēr ir jārēķinās ar viļņu enerģijas nevienmērību laikā, kas nozīmē, ka šī enerģija būs arī jāpārdod vai jāuzkrāj.



33. *JVS* optimizācijai ir jālieto speciāla *OD*, ar kuru ir iespējams apstrādāt šīm spēkstacijām specifiski raksturīgos ietekmes faktorus.
34. Pirms *OD* lietošanas ir jāveic *JVS* pirms projektēšanas darbi:
  - 34.1. Jāiegūst ieejas dati par izvēlētajā akvatorijā viļņu potenciālu,
  - 34.2. Jāiegūst *OD* komplementāra akvatorija karte ar atļauto *JTP* redakciju un dziļumu reģistriem,
  - 34.3. Jāiegūst lietderības koeficientu reģistri visai elektroenerģijas ķēdei sākot no ģenerētās elektroenerģijas beidzot ar pārdodamo elektroenerģiju uzskaites punktā,
  - 34.4. Jāiegūst *JVS* uz skiču projekta balstīts biznesa plāns ar visām paredzamajām izmaksām.
35. *JVS* provizorisks tehniski ekonomiskais aprēķins Baltijas jūras Latvijas *EEZ* apstākļos izceļ viļņu potenciāla nevienmērības problēmas aktualitāti.
36. Ir jāveic *JVS* iekārtu izmēģinājumi *TRL9*, kuri precizē darbā veiktos rezultātus.



## **PIELIKUMI**



## 1. Viļņu pārveidošanas iekārtu apskats

Papildus promocijas darba pamattekstā atspoguļotajai *JVS* iekārtu klasifikācijai un 30 jau apskatītu iekārtu apskatam papildināsim to ar citu iekārtu pārskatu.

### 1.1.3D-WEC (*Resolute Marine Energy – RME*) no 2006. gada

Pludiņa tipa “*point absorber*” viļņu enerģijas uztvērējs. Salīdzinājumā ar vienas saites (*1D*) absorbētāju, tā kustības brīvības pakāpju labākai izmantošanai tiek piedāvāta aktīva trīspunktu noenkurošanas sistēma ar atsperi spriegotas vinčas tiešās piedziņas elektroģeneratoru *EPS* katrā noenkurošanas punktā. Izstrādātais apgalvo, ka šādi izstrādājuma efektivitāte salīdzinājumā ar atskaites *1D* absorbētāju palielinās 2,5 reizes [50].

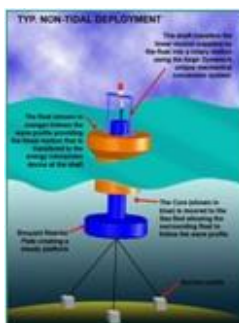
Samazināta mēroga modelis Ohmsett viļņu baseinā uzrādīja pārveidošanas jaudu robežās no 10–100kW [51].

Prototipu jūrā samazinātā mērogā bija plānots bija plānots izmēģināt 2011. gadā, bet pilnā mērogā – 2012.gadā.

Plānots iekārtu izmantot tīkla pieslēguma dziļūdens projektos apvienojot ar vēja parkiem [52].

Projekta *DE-EE0004565*: “Wave-actuated power take-off device for electricity generation” atskaites beigu ziņojums [53].

1.2. *Aegir Dynamo* (*Ocean Navitas*) (1p.1. att.) [54]



1p.1. att. Aegir *Dynamo* (*Ocean Navitas*) [54].

Aegir Dynamo ir pludiņa absorbētājs. Enerģijas pārveidošanas (*EP*) sistēmu (*Power Takeoff*) veido mehānisks zobratu pārnese, kas neatkarīgi no pludiņa kustības vienā virziena piedzen patstāvīgo magnētu mainstrāvas ģeneratoru.



*Aegir Dynamo* pārveidotājs ir izvietots noblīvētā centrālajā kolonā, kura ir relatīvi nekustīga, pateicoties balastam, kurš nobīda tās smaguma centru un ir nospriegots ar saitēm ar enkura plāksni “*moored reactor plate*”.

Izmēģinājumos ar 1,5 kW jaudas ģeneratoru 0,5 m viļņos iegūts rezultāts 0,3 kW. Projektējamā jauda 3.5m viļņos varētu būt 1,4 MW [54].

### 1.3. *Aimmer* (*Aimmer Marine Energy*) no 2013. (1p.2. att.) [55]



1p.2. att. *Aimmer* [55].

1p.2. att. iekārtas fragments transportējot ar sešiem lodveida pludiņiem vai trīs lodveida pudīņu pāriem un viens cilindruveida objekts, bet precīzāku informāciju par darbības principiem nav izdevies atrast, kā tikai to, ka izstrādes grupu ir vadījis *Kwai-nam CHAN*, kurš ir “*FINIMA Innovations*”, Hong- Kongā bāzētas *R&D* firmas pārstāvis.

### 1.4. *Air WEC* (*Resolute Marine Energy*) no 2006. gada (1p.3. att.) [56]



1p.3. att. *Air WEC* [56]

Projekta gatavība – *TRL5/6*: “Sistēmas integrēšanas un izmēģinājumu tehnoloģijas demonstrēšana laboratorijā”. 2013. gadā Projekta *AirWEC* attīstība uz nenoteiktu laiku ir apturēta. Pludiņa absorbētājs, *EPS* uzbūvēta uz pneimatiska cilindra un gaisa turbīnas bāzes.

### 1.5. *Aker WEC* (*Aker Solutions ASA*)

Uztvērēja tips definēts kā slāpētājs (*attenuator*). Koncepta ideja ir korpusa izliekšanās, kur viens vai vairāki mazāki pludiņi (ķermenī absorbētāji) ir ar eņģē nostiprinātu kronšteinu



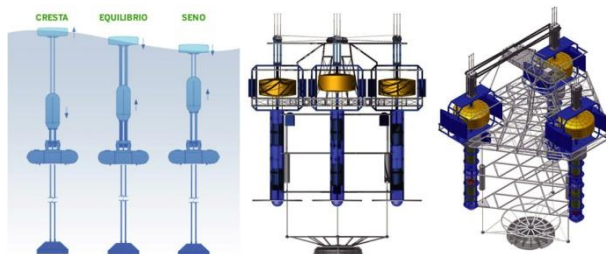
palīdzību kustīgi piestiprināti lielākam centrālajam ķermenim. Eņģe novietota zem ūdens līmeņa. Pludiņi peld ūdenī cilājoties viļņos. *EPS* sistēma darbojas kā sistēma ar atgriezenisko saiti, kas atkarībā no pludiņa leņķiskā ātruma attiecībā pret eņģes asi regulē elektromotora bremzējošo momentu. Elektromotors darbojas kā ģenerators. Izmēģinājumos par ģeneratoru izmanto Bosch Rexroth servomotoru, kurš savienots ar asi ap 4:1 zobratu pārnesei. Iekārtas vadības sistēma sastāv no pārveidotāja, motora vadības un integrētas programmējamā loģiskā kontroliera vadības sistēmas. Programmēšanai un sākotnējo parametru iestādīšanai tā ir datorizēta [57].

#### 1.6. *APC-PISYS (PIPO Systems)* (1p.4. att.)

Iekārta sastāv no vairākām iegremdētām maināma gaisa spiediena bojām, kuras katra ir pāri ar peldošu boju uz ūdens virsmas. Struktūra ir stabila pateicoties adaptīvai reakcijai uz vidi. Struktūra konceptuāli paredzēta enerģijas uztveršanai un pārveidošanai plašās robežās

Pie Galīcijas, Spānijā, krastiem uzstādītas noenkurotas *APC-PISYS* ar kopējo jaudu 1,25MW. Nākotnē plānots parku paplašināt līdz kopējai jaudai 10–20MW, kas ļautu ražot no 30 – 60GWh gadā.

Saskaņā ar mērījumiem, šāda sistēma, salīdzinājumā ar parastu pārveidotāju palielinot izmaksas 1,5 reizes, ļauj ražot 2,7 reizes vairāk enerģijas [58].



1p.4.. att. *APC-PISYS* [58].

#### 1.7. *AquaBuoy (Finavera Renewables Ocean Energy, Ltd.)* 2003.–2010. gads [59], [60], [61]

Pludiņa absorbētājs savienots ar virzuli, kurš paātrinājuma cilindrā pumpē ūdeni cauri tērauda stiegrotai gumijas caurulei, kurš darbojas kā sūknis. Ūdens tiek sūknēts cauri hidroelektriskai turbīnai (*Peltona*). Iekārtu ar krasta 12kV apakšstaciju savieno līdzstrāvas kabelis. Vienas iekārtas plānotā jauda 250kW (1p.5. att.).



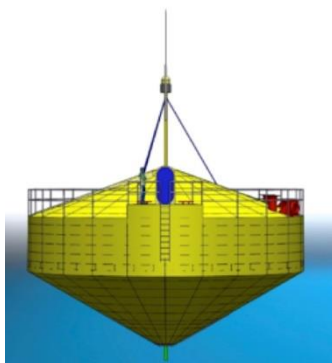


1p.5. att. *AquaBuoy* [59], [60], [61].

#### 1.8. *AquaHarmonics* (*AquaHarmonics*) 2015. gads [62]

*AquaHarmonic* viļņu enerģijas iekārta ir punkta absorbētājs ar vienkāršu *EPS* iekārtu, kura iemontēta koniskā/cilindriskā korpusā ar vienu enkurošanas saiti, kuras serdē iebūvēts elektrības kabelis. Tās būtiska īpašība ir pludiņa fiksēšanas/atbrīvošanas (*latching/de-clutching*) vadīšanas iespēja. *EPS* veido skrūve, kura savienota ar noblīvētu asi un kura ir tieši savienota ar diviem aksiālās plūsmas ģeneratoriem. Iekārta ražo enerģiju tikai korpusam pārvietojoties augšup. Kad korpusa pārvietošanās lejup, tie darbojas kā motors, lai nospiestu enkurošanas saiti un sagatavotu iekārtu nākošam viļņu ciklam (1p. 6. att.).

Nospriegošanas laikā vadības sistēma var nodrošināt papildus enerģijas iegūšanu sasniedzot saskaņošanu fāzē ar jebkuru viļņu frekvenci, tādējādi paplašinot iekārtas darbības frekvenču joslu. Elektriskā enerģija tiek ģenerēta bojās iekšienē un ar slīdkontaktiem uz vārpstas novadīta kabelī.



1p.6. att. *AquaHarmonics* [62].

#### 1.9. *Aqua-Shift* (*Aqua-Shift*) [63]

Punktu absorbētāju masīvs.



1.10. AWECS (*Wave Energy Conversion Corporation of America (WECCA)*) 2008. gads [64]

Ar šarnīriem savienotu trīs baržu viļņu enerģijas attenuators (1p. 7. att.) [64].

*EPI* iekārtas savienotas ar centrālo baržu ar parastām eņģēm. Priekšējās un aizmugurējās baržas kustības tiek salīdzinātas masīvāko centra baržu. *EPI* sastāvdaļa ir hidraulika ar maināmu amortizācijas pakāpi, kas tiek panākta ar adatas vārstu, soļu dzinēju un *Arduino Uno* mikrokontroleri. Sistēma ir adaptīva automātiski optimizējot iegūtās enerģijas daudzumu. Tā analizē viļņu klimatu un pieskaņo sistēmas parametrus tā, lai visa sistēma būtu rezonanse ar nepārtraukti mainīgo viļņu klimatu. Tiek piesaukta elektrības pieskaņošana lokālajam tīklam; vieglu un izturīgu kompozīta materiālu izmantošana; uztvērēja iegremdēšana drošā dziļumā vētras laikā un tā uzpeldēšana darbam, pēc viļņu klimata normalizēšanās.

*WECCA* bija viens no 17 pusfinālistiem *US DOE* organizētajā *Wave Energy Prize*.



1p.7. att. AWECS [64].

1.11. *Archimed Wave Swing – AWS III (AWS Ocean Energy,)* no 1990. gada (bijušais *Oceanergia*)

Pirms 1970. gada projekts saucās “*Coventry Clam*” – izgudrotājs Norman Bellamy (1p.8. att.) [65].



1p.8. att. *Archimed Wave Swing* [65].



*AWS-III* ir viļņu enerģiju uztveroša (*Self-reacting*), daudz sekciju spiediena starpības, peldoša gredzena formas *VEP*. 2,5 MW iekārta, paredzēta pietauvot aptuveni 100m dziļā jūrā okeānā ar standarta tauvošanas saitēm. Tā sastāv no 12 daļām 16m x 8m, kuras izvietotas ap 1300t karkasu, kura diametrs ir 60m.

Iekārtas *EPS* sistēmu veido gaisa vadi, vārsti, viļņu spilveni un sensori. Šī sistēma savieno gaisa plūsmu no absorbētājiem ar kopējo telpu betona kesonā. Gaisa plūsmas enerģiju elektriskajā pārveido gaisa turbīna, kas griež ģeneratoru. Viļņu spilvenus veido rāmis, kurš pārklāts ar izturīgu membrānu.

2014. gadā *AWS-III* tika veiksmīgi veikts šī uztvērēja/pārveidotāja izmēģinājums [66].

#### 1.12. *BOLT Lifesaver Bolt 2 Wavehub (Fred.Olsen Ltd.)* 2012. gads [67]

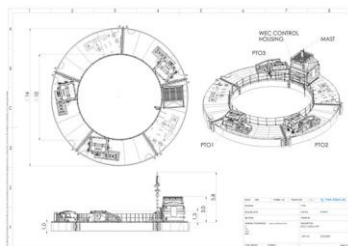
Iekārtas tips ir definēts, kā punkta absorbētājs, bet pateicoties noenkurošanas sistēmai var absorbēt arī viļņa plūsmas enerģiju (1p. 9. att.). Tā sastāv no (3–5) neatkarīgām *PTO* iekārtām, kuras ir neatkarīgi noenkurotas. Katras *EPS* jauda izmēģinājumos ir 80W. Tās darbojas saistīti. Iekārtai ir unikālas (patentētas) spēka piedziņas sistēmas (*drive train*).



1p. 9. att. *BOLT Lifesaver Bolt 2* [67].

*BOLT "Lifesaver"* gredzenveida korpusa dizains nodrošina peldspēju un noteikta ūdens tilpuma izspiešanu. Tā iekšējais diametrs ir 10m, ārējais – 16m un dziļums 1m. Šāda forma uzlabo enerģijas uztveršanu no cilāšanās un zvalstīšanās, tādējādi ietaupot peldošās daļas masu un izmaksas. Iekārtas zemais korpusa profils ekstremālos apstākļos samazina neparedzētu triecienu varbūtību un ļauj ar kontrolējamām brīvības pakāpēm slāpēt spēka impulsus kritisku slodžu gadījumā, kā arī samazina vizuāli komulatatīvu iedarbi uz iekārtu kopumu, kā arī ļauj ierobežot nevēlamu pagriezienu, sānu vai garenvirziena nobīdi (1p. 10. att.).





1p.10. att. *BOLT "Lifesaver"* gredzenveida korpuss [67].

Iekārtas *EPS* ir elektromehāniska, kurš ļauj sistēmai efektīvi funkcionēt plašā viļņu parametru diapazonā.

Lai enkurošanas trošu spriegošanai izmanto ģeneratorus/elektromotorus kuru vadībai pielieto "kondensatoru atmiņu".

Konstrukcijas masa 56t, vidējā iekārtas jauda nominālos viļņošanās apstākļos 10kW *EPS*.

Izstrādātājs demonstrē pamatotu risinājumu izvēli, kas balstīta uz saprotamiem kritērijiem un padziļinātu (nepilnību) analīzi aprakstos: „*SEAWEC-Sustainable Economically Efficient Wave Energy Converter*” [68] un „*WAVEGEN – WAVE PUMP SUBMERGIBLE POWER GENERATOR concept*” [69], [70].

Firma-izstrādātājs ir darbojusies vai patlaban darbojas *SEEWEC* konsorcijs sastāvā, kurā ietilpst divas universitātes un 6 firmas [71].

#### 1.13. *Bottom Wave Generator (Glenn Edward Cook and Green Wave Energy Corp.)* [72].

Šim risinājumam pamatā ir oscilējoša ūdens kolonna, kura izgatavota no stikla šķiedras un kurā enerģija tiek absorbēta ar hidrokinētisku turbīnu. Iekārtas korpuss ir 6 m augsts, tā diametrs – 1,8m, nominālā jauda – 5kW, cena – 20 000USD (1p.11. att.).



1p.11. att. *Bottom Wave Generator* [72].

Pieejamā literatūrā nav ziņu par to, kā konstrukcija tiek nostiprināta, vai stabilizēta. Turbīnas vietā tiek lietots apzīmējums: “liels propellers”, nav ziņu par izmēģinājumiem.

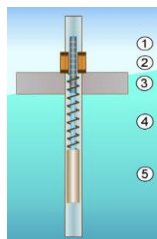


1.14. *Brandl generator (Brandl Motor)* 2008. gads [73], [74]

Pludiņš, korpusa diametrs 10m, augstums 1m, cilājas viļņos. Masīvs svārsts nospirināts uz vienas ass ar magnētiem, iekārts atspere, cilājas nobīdīti fāzē. *EPS (PTO)* veido pastāvīga magnēta lineārais ģenerators. Magnēti svārstās un mainīgs magnētiskais lauks spolē inducē elektrisko strāvu (1p.12. att.) [73], [74].

Apzīmējumi:

- (1) magnēti,
- (2) indukcijas spoles,
- (3) peldošs pludiņš,
- (4) atspere,
- (5) masīvs svārsts.



1p.12. att. Pludiņa absorbētājs [73], [74].

1.15. *Buldra – FO3 (SEWEC Consortium vai Fred Olsen Ltd.)* 2004. gads

Atenuators, kuru veido punkta absorbētāji, kuri kustas attiecībā pret cieti nostiprinātu rāmi/platformu (1p.13. att.) [75].

Uzbūvēts *SEWEC* projekta ietvaros, lai pārbaudītu *FO3* tehnoloģijas efektivitāti. *EPS* sistēma hidrauliska. Bojas sākuma stāvoklī atgriež svārs (*dead weight*).



1p.13. att. *Buldra – FO3* [74].



### 1.16. Cal Poly (Protean Wave Energy)

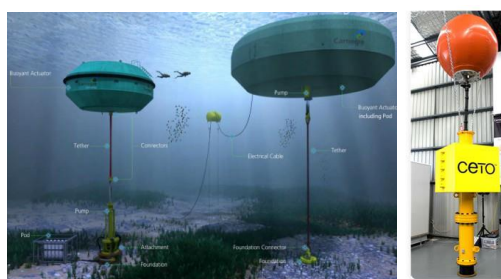
Atenuators, kurš sastāv no vairākām peldošām bojām. Mērķis pārveidot enerģijā kustību visās sešas brīvības pakāpēs. Nav ziņu ar kādu EPS to panāk (1p.14. att.) [76].



1p.14. att. Cal Poly [76].

### 1.17. CETO (Carnegie) no 1999. gada (1p.15. att.) [77]

CETO 5 sistēma sastāv no trīs 240kW iekārtām. Lai padarītu sistēmu ekonomiskāku, CETO6 jāpadara par kārtu lielāka. Šī paša iemesla dēļ elektroenerģijas ražošana krastā vairs nenotiks. CETO5 bojas diametrs 11m. Tās izvietotas 3km no krasta. CETO6 – tas būs 20m un attālums līdz krastam 11km dziļākos un trīs reizes enerģētiski bagātākos ūdeņos.



1p.15. att. CETO [77].

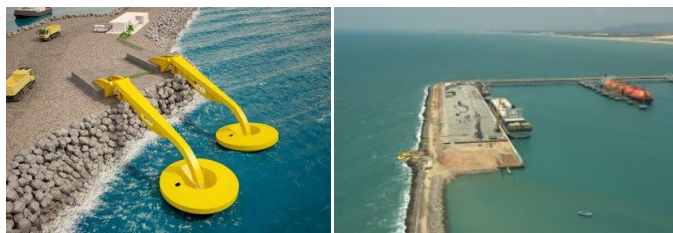
Tehnoloģija – CETO6 sastāv no iegremdētas bojas, kura pazīstama kā zemūdens spiediena starpības iekārta Buoyant Actuator (BA), kura piedzen cilindru ar darba šķidrumu. Šis šķidrums piedzen hidroelektrisku sistēmu, kura izvietota BA iekšpusē un ražo elektrību [78].

### 1.18. Tractebel (Coope/UFRJ and wing)

Mehāniska roka ar pludiņu cilājas, un pa noslēgtu ķēdi sūknē saldūdeni, radot augstspiedienu telpā ar enerģijas akumulatoru. Spiediena ekvivalents ir 400m ūdens stabs. Ūdens griež hidrokinētisko turbīnu, tā savukārt, piedzen elektroģeneratoru. Brazīlijas tehnoloģijas īpatnība ir augstspiediena izmantošana (1p.16. att.) [79].



2012. gadā divu pludiņu eksperimentālā iekārta Pecemā spējīga ražot enerģiju ar 100kW jaudu.



1p.16. att. *Tractebel* [79].

#### 1.19. *Costas Wave ( Dan Costas)*

Iekārta sastāv no diviem kanāliem: ieplūdes kanāls ieplūdes atverēm ar virziena ieplūdes žālūzijām un izplūdes kanāls ar izplūdes atverēm ar izplūdes žālūzijām. Sistēma ir iegremdēta. Viļņi garenvirzienā rada vienvirziena plūsmu savienojumu caurulēs starp kanāliem, kur ievietotas turbīnas. Absorbētā jauda ir proporcionāla šķidruma plūsmai vai efektīvajam ūdens staba augstumam, kurš tiek mērīts kā kopējais dinamiskais spiediens. Eksperimenta mērķis ir parādīt, ka iekārta pēc definēta principa darbojas, neskatoties uz to, ka ieejas un izejas žālūzijas nav paralēlas viļņu straumēm [80].

2013. gadā viens no konceptuāliem risinājumiem izgājis 1. stadijas izmēģinājumus ar slēdzienu: varētu būt ražīgs un efektīvs veids viļņu enerģijas pārveidošanai [81].

#### 1.20. *CPO2 vai Wonderbuoy (CorPower Ocean AB) 2009. gads*

*CPO2* ir vertikāli svārstīga boja (1p.17. att.) [82], [83], [84]. Tas ir uztvērējs/pārveidotājs ar viļņu enerģijas blīvumu pāri 8MWh gadā uz tonnu iekārtas. Enerģijas pārveidošanas sistēma izvietota bojas iekšienē un ietver sevī: pneimatisku atsperi, mehānisku spēka piedziņas sistēmu un aparāturu fāzes kontrolei. Sistēmas projekta *MHT (Marine and Hydrokinetic Technology Readiness Level)* stadija 3 (*TRL5–6*). Sistēmas testi tendēti uz tehnisko risinājumu pārbaudi, alternatīvo konstruktīvo risinājumu un izdzīvošanas risinājumu salīdzināšanu. To rezultāti tiks izmantoti matemātisko modeļu pārbaudei un korekcijām iekārtas konstrukcijā. Izgudrots un ieviests jauns fāzes vadības veids “*WAVE SPRING*”. Rezultāti apstiprina, ka fiksēšanas aiztures vadīšana, salīdzinājumā ar rezonanses izmantošanu dod vairāk, kā divkārtu *EPS* noslodzi, pie tam nav nepieciešama reālā laika informācija par ūdens virsmas svārstībām. Salīdzinājumā ar pretestības slodzi fiksēšanas aizture enerģijas absorbēšanas efektivitāte pieaug 3–5 reizes. *Wave Spring* vadība apvieno triviālu un reizē efektīvu risinājumu fāzes kontroles punkta absorbētāju industriālai izmantošanai. Dati, kuri ir iegūti šajos *Marinet* inkubatora izmēģinājumos, apstiprināja pamata ražības parametrus:



enerģijas blīvums 8 kWh/tonnu gadā (iekārtas mērogs 1:1) un prognozējamais CAPEX, kurš nodrošina  $LCOE < 150$  EUR/MWh (summāri). 2016 “*Ocean Exchange*” finālists.



1p.17. att. CPO2 [81].

#### 1.21. Crestwing WEC (*Crestwing/Danyard Engineering Aps.*)

EPS masa – 6t, konstrukcijas masa 70t, savienotie pontoni šūpojas eņģēs (1p.18. att.) [85]. Kad viļņa virsotne iziet zem pludiņiem, pontonu savstarpējā kustība tiek pārveidota izmantojamā enerģijā ar lineāru EP sistēmu. Pontoni tiek spiesti augšup un ar to pašu vilni mesti lejup. Zem pontoniem notiek sarežģīti hidrodinamiski procesi, kad vilnis dažādas iekārtas daļas vienlaicīgi pārvieto pretējās virzienos.

Tiek apgalvots, ka iekārta absorbē gan potenciālo, gan kinētisko enerģiju, un tas ir augsta lietderības koeficienta avots.



1p.18. att. Crestwing WEC [85].

#### 1.22. CyanWave 4 (*The CyanWave Wave Energy Converter*)

CyanWave darbības princips ir daudz nodalījumu pārplūde (1p.19. att.) [86]. Ar šo prototipu tika testēta pārplūdes spēja/ražība un ekstremālās slodzes. Tas ir 1: 68 mēroga nerūsošā tērauda modelis kam no priekšpuses un aizmugures izvietoti divi 6DOF slodzes devēji.

Fiksētās viļņu slodzes sakrīt ar tām kas novērotas viļņlauzēju projektēšanā un tika novērotas vairākas raksturīgas viļņu un struktūras mijiedarbības pie viļņu straumes. Ražības mērījumi parādīja izmainītā dizaina hidraulisko efektivitāti, salīdzinājumā ar iepriekšējiem testiem, un tie sakrīt ar projektētajiem, kas ļauj izdarīt secinājumus, ka 1:1 mēroga izstrādājumam pilnais lietderības koeficients būs aptuveni 30 %.

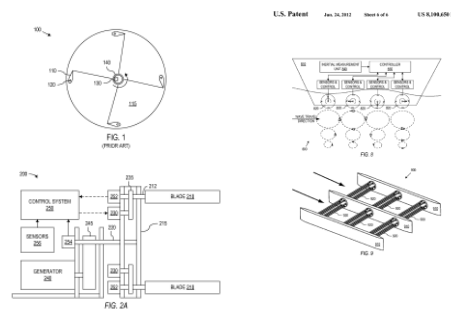




1p.19. att. *CyanWave 4* [86].

#### 1.23. *Cyclical WEC* (Siegel Aerodynamics, Inc.) no 2006. gada

Horizontālas ass turbīnas rotors, kura lāpstiņu uzplūdes leņķi regulē cēlējspēka radītā griezes momenta palielināšanai (1p.20. att.) [87], [88].



1p.20. att. *Cyclical WEC* [87].

#### 1.24. *DexaWave* (DEXA WAVE Energy Aps.)

Uztvērējs sastāv no diviem cietiem pontoniem, kuri samontēti kopā ar īpašu (patentētu) eņģes savienojumu (1p. 21. att.) [89], [90]. Viens pontons viļņos grozās attiecībā pret otru. Enerģiju kas piemīt šai kustībai pārveido ar hidraulisko *EPS* pēc patentētas ūdens zemspiediena tehnoloģijas.

*DexaWave* iekārtas piegādes izmaksas ir 1,5 miljoni EUR par 1MW





1p.21. att. *DexaWave* [89], [90].

Pie Bulbjerg vētrā (3m, brāzmas 38m/s) norāvēs no enkura un izskalots krastā. Ģenerators pa ceļam pazudis [91].

#### 1.25. DMP iekārta vai *NEXUS (M3 Waves)*

Iekārta paredzēta darbam pilnībā iegremdēta un nostiprināta uz okeāna dibenā (1p.22. att.) [92], [93]. Rāmis ir daudzfunkcionāls. Tas kalpo par platformu iekārtas mezglu transportēšanai un par pamatu konstrukcijas nostiprināšanai darba laikā zem ūdens. Balasta cisternas izgatavotas no polipropilēna un katrai ir 1t celbspēja pārveidotāja transportēšanai peldus stāvoklī. Iekārta satur balonus, kas izgatavoti no *XR-5* ģeomembrānas. Tie tiek uzstādīti kesonu nodalījumos un ir savienoti ar gaisa vadu, kurā iebūvēta impulsa turbīna, kura neatkarīgi no gaisa plūsmas virziena rotē vienā virzienā. Turbīnas rats piedzen ģeneratoru, kurš ražo elektrisko strāvu.



1p.22. att. *DMP* iekārta [92], [93].



2012. gadā *Drakoo-III* prototips (*Drakoo-B0004* mērogā 1: 2) *NAREC* (Lielbritānijas Nacionālajā Atjaunojamās Enerģijas centrā) tika izmēģināta iekārtas viļņu enerģijas uztveršanas spēja un pārveidošanas efektivitāte.

#### 1.26. Duck (Ocean Energy Laboratory of Guangzhou)

Iekārtas jauda 100kW. Tā ir peldoša "Pīles" tipa viļņu enerģijas uztvērējs, kurš veiksmīgi uzstādīts, un tiek darbināts jūrā (1p. 23. att.) [94]. Tajā ir izmantota vairāku pakāpju hidrauliska elektrības ģenerēšanas sistēma, kura ļauj sistēmai darboties dažādos viļņu klimata apstākļos. Sīkāk, iekārta satur divus dzinēju komplektus (30kW un 70kW), kuri tiek darbināti vai atslēgti atkarībā no viļņu parametriem. Ja viļņi ir lieli, paralēli tiek darbināti abi dzinēji.

Šāda shēma izvēlēta, lai samazinātu izmaksas un palielinātu enerģijas apmaiņas efektivitāti. Projektu vada Dr. Yage You, kura pārvaldībā vai partnerībā ir vairāk kā 20 lokālie pētniecības projekti.



1p.22. att. *Duck* [94].

#### 1.27. DUO Wave Energy Converter (Pure Marine) Sea potential Team

Iekārta ir punkta absorbētājs absorber, kurš vilnī uztver vairāku brīvības pakāpju kustību . Iekārta uztver viļņu enerģijas vertikālo un horizontālo komponenti (3p. 23. att.) [95]. Par *EPS* nav ziņu.



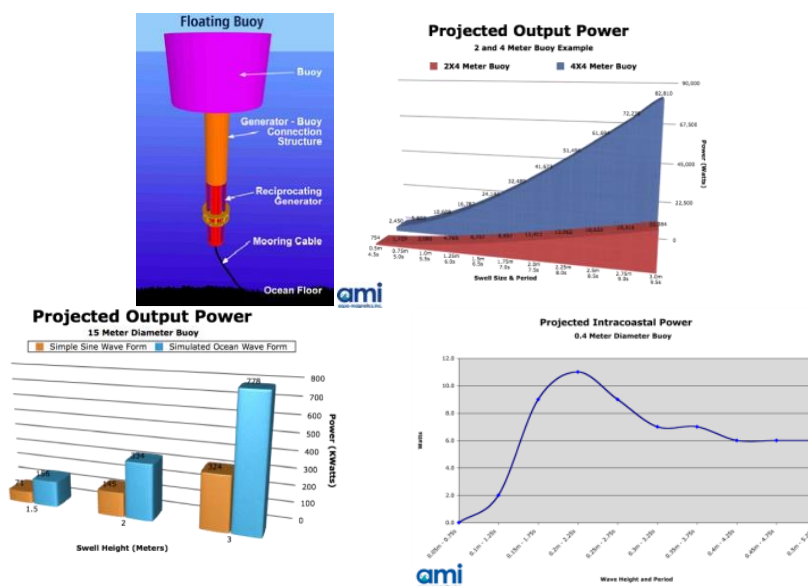
1p. 23. attēls. *DUO Wave Energy Converter* [95].

#### 1.28. Electric buoy or Ocean Electric buoy (Aqua-magnetic Inc.) no 1972.–1992.



Iekārtas korpuss cilājas viļņos kamēr fiksēšanas plates notur serdi nekustīgi. Savstarpējā kustība ģeneratorā, kurš izvietots serdē ģenerē *EDS* (1p. 24. att.) [96].

Eksistē arī versija, kurā ģeneratoru tinumi izvietoti mobilā stabilizētā platformā, serdeņi nostiprināti pie pludiņiem, kuri šūpojas viļņos. Platformu virs ūdens notur iegremdēti peldoši pontoni. Lineāro ģeneratoru ražotājs *AMI*.



1p.24. att. *Electric buoy* [96].

### 1.29. *Eel Grass* (*AeroVironment Inc.*)

Iekārta noenkurota jūrā, peld iegremdēta zem ūdens virsmas. Pludiņu pārvieto horizontālās viļņa straumes. Tai ir piestiprināta turbīna, kas ražo enerģiju (1p.25. att.) [97].



1p.25. att. *Eel Grass* [97].

Arhimēda spēks ceļ boju uz augšu nostiepjot saiti, fiksē to vertikālā virzienā. Izobāras virsmas viļņa ūdens tilpumā attiecībā pret turbīnu pārvietojas vertikālā virzienā. Tā kā vilnis ūdens tilpumā pārvietojas, saite ļauj bojai pārvietoties horizontālā virzienā turp

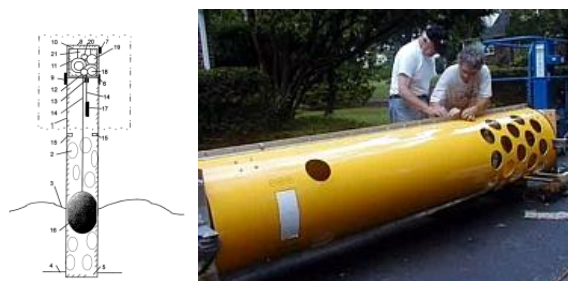


atpakaļ. Pludiņam vai turētājam ir piestiprināta turbīna, kas pārvietojoties ūdens tilpumā ģenerē elektrību [98]. Par to, kas tā ir par turbīnu, ziņu nav.

### 1.30. *Electric Generating Wave Pipe – EGWaP (Able Technologies LLC.) 2002. gads*

Iekārtā izmanto speciāli konstruētu, videi nekaitīgu, dobu nekorodējošu cauruli, kuras augstums ir no okeāna gultnes līdz augstākā viļņa virsotnei. Tā ir stingri nekustīgi vertikāli nostiprināta (1p. 26. att.) [99], [100].

Ja viļņa iedarbībā ūdens līmenis caurulē ceļas, pludiņš paceļas un atsvars nolaižas. Tas piedzen galvenā zobratu pārnese, kurš griež ģeneratoru. Mehānisms nodrošina šīs rotācijas virziena nemainību arī pludiņa un atsvara kustībai pretējā virzienā. Saražotā elektroenerģija tiek aizvadīta pa kabeli.

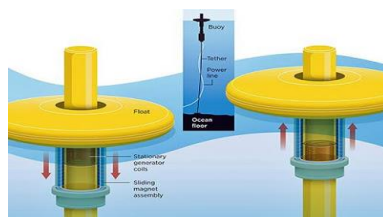


1p. 26. att. *Electric Generating Wave Pipe* [99], [100].

Iekārta ir oscilējoša ūdens kolonna, kurā par *EPS* kalpo pludiņš, kurš neģenerē viļņus apkārtējā vidē, ar mehānisko pārveidotāju rotācijas kustībā. Tiesa – pats kolonnas korpuss rada refleksiju (atstaro viļņus). Interesanti, kā tas iespaido ūdens līmeņa svārstības kolonnas iekšienē?

### 1.31. *Electric Wave (Oregon state University support of Columbia Power Technologies) no 2009. gada*

Punkta absorbētājs ar lineārā ģeneratora *EPS*. Izstrādātājs Annette von Jouanne. Darbus trīs gadus finansējis *Columbia Power Technologies* (1p. 27. att.) [101].



1p.27. att. *Electric Wave* [101].



### 1.32. Energen Wave Generator (Energen)

Energen Wave Generator ir peldoša VEP ar hidraulisku EPS [102]. 2007. gadā tā bija radīšanas stadijā (2D izmēģinājumi, plānoti vēl 3D izmēģinājumi).

Par iekārtas darbības principu ir maz ziņu. Tiek pieņemts, ka tās tiek aizturētas, lai noformētu patentu aizsardzību. Iekārta noenkurota pavērsta pret ienākošo viļņu virzienu. Tā sastāv no taisnstūra rāmja ar diviem pontoniem un vairākiem griezes momentu ģenerējošiem cilindriem centrā. Šie cilindri tiek izmantoti lai uztveru viļņu enerģiju (vilnis tos spiež horizontālā virzienā) un piedzītu hidraulisko sistēmu, kura griež hidraulisko motoru un ģeneratoru. Lai aizsargātu hidrauliku no apkārtējās vides, tā ir iebūvēta cilindros. Hidrauliskais šķidrums ir eļļa.

2012. gadā modelis mērogā 1:50 izmēģināts Stellebosh-ā pēc kā tiek prognozēts, ka viena iekārta var ģenerēt 1,4MW enerģiju, vai (acīmredzot ar 80 iekārtām) 979GWh gadā [103].

### 1.33. Etymol WEC (Etymol Ocean Power SpA.)

Spiediena starpības VEP iegremdēts nekustīgi atklātā jūrā dziļūdenī 3–10m dziļumā. Iekārta ir piepildīta ar ūdeni un tajā ir vairākas kameras un vairāki “vārti”, kuri ļauj ūdenim ieplūst no kamerā ar augstāku spiedienu un izplūst kamerā ar zemāku spiedienu (1p. 28. att.) [104]. Plūsma starp šīm kamerām griež hidrokinētisko turbīnu, kura piedzen kompresoru, kurš uzlādē pneimatisko akumulatoru un uzkrāj absorbēto enerģiju. Saspiestais gaiss griež sinhrono turbogeneratoru, kurš ģenerē elektrisko strāvu tīklam. Konstruktoru izaicinājums ir konkurētspējīgu kapitālieguldījumu izmaksu iegūšana uz 1MW vienlaikus saglabājot slodzes koeficientu (capacity factor) virs 30 %.

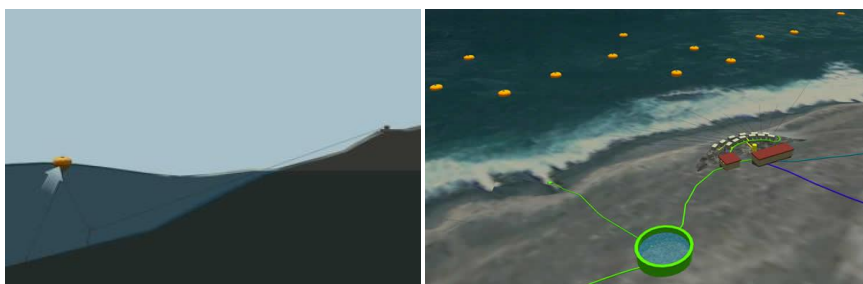


1p.28 att. Etymol WEC [104].

### 1.34. Fishman (Purneco AS)

Izstrādne ir peldoša boja, kura piestiprināta trosei ar pašnostiepjošu vinču ar mehānisku pārnēsumu, hidraulisku pārveidotāju un ģeneratoru, kurš ražo elektrību, vai ūdeni zem spiediena reversīvajam Osmosis procesam ūdens atsāļošanai (1p. 29. att.) [105].





3p. 29. att. *Fishman* [105].

#### 1.35. **FLB** (*China MOST*) 2008. gads

100kW iekārta *OWS* ir uz gultnes montējama, kombinēta bojas un eņģes iekārtas lāpstiņas. Ienākošie viļņi izsauc konstrukcijas daļas svārstīšanos turp atpakaļ, tādējādi liekot hidrocilindram sūknēt ūdeni augstspiediena caurulē. Ūdens darbina turbīnu, kura savienota ar elektrisko ģeneratoru.

*FLB* platums ir 7m, projektētais efektīvais viļņu augstums ir 2m. Viļņu resursu enerģijas sliekšnim kopējais lietderības koeficients ir 14 %, bet tiek apgalvots, ka stacija ir pelnoša [106].

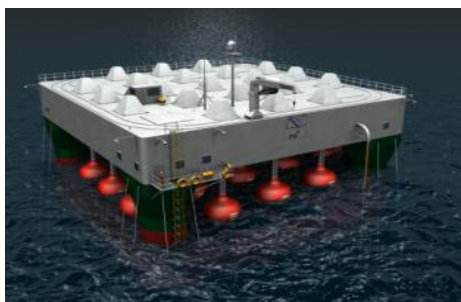
#### 1.36. *Floating Pendulum Dynamic Vibration Absorber (FPDVA)* 2017. gads; *AMOG TRL – 3*

*Floating Pendulum Dynamic Vibration Absorber* tehnoloģija balstās uz svārstību slāpēšanā mehānikā “*Pendulum Dynamic Vibration*”.

2017AMOG konferencē tika prezentēta jauna viļņu enerģijas pārveidotāju klase “*Floating Pendulum Dynamic Vibration Absorber*” (*FPDVA*). Iekārtas mehāniskās un kustībā esošās sastāvdaļas atrodas tikai uz ūdens līmeņa [107].

#### 1.37. *FO3* (*SEEWEC Consortium/ Fobox AS*) 2006. gads

*FO3* ir kompakts boju masīvs (1p. 30. att.) [108], [109].



1p. 30. att. *FO3* [108], [109].



1.38. *Float Wave Electric Power Station – FWEPS (Applied Technologies Company Ltd.)*

*FWEPS* enerģijas pārveidošanas princips balstās uz viļņu svārstību un iebūvēta svārstību slodzes mehānisma efektīvu mijiedarbību (1p. 31. att.) [110]. Svārstību slodze ir atsperes svārstis. Efektivitātes uzlabošanai iekārtā ir iebūvēts enerģijas akumulators (nav ziņu, kāds: vai vienkārši spararats, vai iekārta svārstību aiztures efekta radīšanai). Elektroenerģiju ražo rotējošs elektroģenerators. Iekārtas korpusa forma izvēlēta efektīvai enerģijas uztveršanai (oscilējošs peldošs objekts).



1p. 31. att. *Float Wave Electric Power Station – FWEPS* [110].

1.39. *Gentec WaTS (Greenheat Systems Ltd.)* no 2002. gada

*Gentec WaTS* ir hibrīda sistēma. Tā uztver viļņu enerģiju līdzīgi pārplūdes sistēmām (*owertopping device*) ar slīpo plakni, bet turbīnas vietā ir svārstīgas straumes uztvērējs (*AWSC*) ar eņģi augšpusē un lokanu apakšmalu. Sistēma kā enerģijas uzkrāšanai un pārvietošanai izmanto lielu siltuma akumulatoru [111, 112].

1.40. Nav nosaukuma (*GreenField Technologies LLC.*)

Bez nosaukuma hidrokinētiska ūdenī peldoša turbīna *VEU* [113].

1.41. *GWH/Wavelinx Ltd.* 2008. gads

2012. gadā *Oceanlink OWC Mark-1* vraks pie Port Kemblas krastiem (1p. 32. att.) [114]. *Oceanlink* koncepta iekārta *Mark-2* 3000t nogrima, to transportējot no Adelaidas uz MakDonelu. (1p. 32. att. b) [115].





a



b

1p. 33. att. *OWC Mark-1* vraks [65] un *Oceanlink* koncepta iekārta *Mark-2* [115].

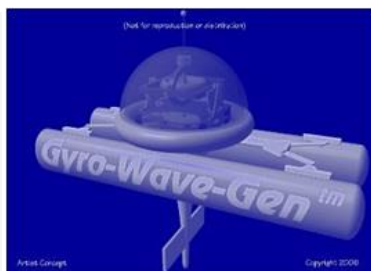
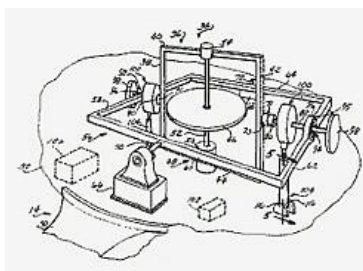
*Oceanlinka* pamata elementi ir oscilējoša ūdens kamera un turbīna ar regulējamu lāpstiņas leņķi vienmērīga griešanās ātruma nodrošināšanai neatkarīgi no gaisa plūsmas virziena [116].

*Oceanlink* iekārta *Mark-3* ir peldoša daudzkameru *OUK VEP* ar patentētu gaisa turbīnu “*Denniss Auld turbine*”, kura piedzen elektroģeneratoru [117].

1.42. *GyroGen 2015. (DNS) (Paradyne Systems USA)* [118], [119]

1.43. *GyroWaveGen (GyroWaveGen) 2010. gads uz 1979. gada modeļa pamata*

Viļņu enerģijas žiro pārveidotājs ir uzmontēts uz peldoša ķermeņa. Lai pārveidotu svārsta veida kustības rotācijas kustībā. Tas sastāv no spararata, kurš nostiprināts divos rāmjos tā, lai tā rotācijas ass būtu perpendikulāra abu rāmjū rotācijas asij. Ārējais rāmis nostiprināts pie peldošā ķermeņa. Motors griež spararatu ar regulējamu ātrumu. Divi ģeneratori pārveido momentu plostam pret ārējo rāmi un iekšējam rāhim pret ārējo (1p. 34. att.) [120].



1p. 34. att. *GyroWaveGen* [120].

1.44. *HYDRA (Wavegen) – 2000*

2000. programma tika pārtraukta pirms prototipa būvēšanas, jo aprēķini parādīja, ka iespējamais ieguvums nesedz tā konstruēšanas un uzstādīšanas izmaksas [121].



#### 1.45. *Hyper Drive WEC* (SRI International) 2008. gads

*EPS* sistēma izveidota uz speciālu polimēru (*Electroactive Polymer Artificial Muscle*) bāzes. Tas ir gumijots materiāls, kurš ģenerē elektrību, kad to saspiež un kad tam ļauj ieņemt iepriekšējo stāvokli (1p.35. att.) [122].



*SRI* testa boja    Mākslīgo    muskuļu    ģenerators    *SRI* masīvs (zīmējums)  
modulis

1p. 35. att. *Hyper Drive WEC* [122].

#### 1.46. *IAMS INTELLIGENT ACTIVE MOORING SYSTEM* (AWS Ocean Energy + Teqniqa Systems and University of Exeter)

Šī sistēma ir enkurošanas saites sastāvdaļa, kura paredzēta slodžu maksimumu izlīdzināšanai, nodrošinot selektīvu elastību. Zināmos apstākļos (vētras) tā pagarina saiti par 30 %. Tehnoloģija balstās uz *Vectra* pīšanu, un tādejādi tiek iegūta ļoti augsta *UTS* spēja. Konkrētā realizācija ir izmantojama iekārtās, kurās slodze uz pilnībā izstieptu saiti nepārsniedz 4,000kN (1p.36. att.) [123].



1p. 36. att. *Iams Inteligent Active Mooring System* [123].



#### 1.47. *H-Wec (Havkraft)* 2015. gads

Ir pierādīts ka atkarībā no spiediena *OUK* sistēma var absorbēt 35 % enerģijas no dažu periodu viļņiem. Šīs sistēmas īpatnība ir tā, ka salīdzinājumā ar tradicionālajām *OUK* iekārtām, tā ir pārveido vairāk enerģijas neregulāru viļņu gadījumā (1p. 37. att.) [124].



1p. 36. att. *H-Wec (Havkraft)* 2015 [124].

#### 1.48. *Intentionum offshore wave energy converter – IOWEC (Intentionum AS)*

Konceptu veido izstiepts pludiņš, kurš nostiprināts pie bojas, stabilizējot garo malu pret ienākošajiem viļņiem. Garais pludiņš tāpat ir piestiprināts divvirzienu ūdens sūknim, kurš, savukārt, piestiprināts enkuram, kuram ir regulējama peldspēja. Pilna izmēra iekārtas *EPS* paredzēta uz hidroturbīnas bāzes ar enerģijas akumulatoru un elektroģeneratoru. To aizsargā starptautiskais patents Nr. WO2011065841A1. Viļņu uztveršanas iekārta ir aprīkota ar regulējamām atsperas spriegojamām berzes bremzēm cilāšanās un šūpošanās kustībai. Lietderības koeficienta pārbaudei tika izmantoti vairāki viļņu profili, kuri raksturo viļņu klimatu Ziemeļjūrā (*WS1*, ..., *WS5*). Homogēniem viļņiem iekārtas lietderības koeficients ir robežās, no 23,8 % (*WS1*) 24kW/100,85kW, līdz 8,7 % (*WS5*) 310kW/3563kW. Nehomogēnos viļņos vidējais lietderības koeficients bija lielāks vai vienāds 16,5 % (*WS2*) 57kW/345,5kW. Enkurošanas sistēmai lielākā slodze pārrēķināta mērogam 1:1 ir 495kN (*WS5*), pie kuras lielākā *EPS* nostiepuma slodze ir 1618 kN (3p. 37. att.) [125], [126].



1p. 37. att. *IOWEC* [125], [126].

*IOWec* (2) komanda ir sadarbība starp *MIT Sea Grant*, *Politecnico di Torino*, *Florida Atlantic University* un *Wave4Energy* (1p. 38. att.) [127], [128], [129], [130].



Peldošs rezonanses punkta absorbētājs ar šķidruma tilpumiem frekvences regulēšanai ar ekscentrisku žiroskopisku sistēmu *EPS*.



1p.38. att. *IOWEC* (2) komanda [127], [128], [129], [130].

#### 1.49. *INWave (INGINE Inc.)*

Iekārta ir atklātas jūras pārveidotājs, kura sastāv no bojas, skriemeļiem, kuri nostiprināti pie jūras dibena un *EPS* moduļa. Trīs saites ir stingri nostieptas no skriemeļiem uz *EPS*, kurš kopā ar boju viļņos pārvietojas turp un atpakaļ. Tā kā iekārta pārveido enerģijā bojas kustību visās sešās brīvības pakāpēs, tad ir iespējams uztvert enerģiju pat zemas enerģijas blīvuma apstākļos, kādi ir piekrastes zonās. *EPS* modulī sprūdratu pārvads pārveido saites spoles svārstības pastāvīgā rotācijas kustībā. Lai novērstu neviennozīmīgas situācijas enerģijas pārveidošana izmanto atsperes torsion (spriegotāju) [131].

#### 1.50. *IPS OWEC Buoy (Interproject Service AB (IPS) and Technocean) 1990. gads*

Iekārtas enerģijas uztvērējs ir apaļa vai ovāla boja, kuras izmērs un svars ir izvēlēti atbilstoši prognozējamai dominantajai viļņu situācijai. Boju notur elastīga saite, kura ļauj tai viļņos brīvi kustēties vertikāli attiecībā pret ūdens masu, kura ieslēgta garā “paātrinājuma caurulē, kura piestiprināta zem bojas. Bojas kustība attiecībā pret ūdens masu ar virzuļa un stieņa palīdzību tiek pārnesta uz *EPS*, kura izvietota bojas korpusā. Bojas diametrs 3–12m var tikt nokomplektētas grupās pa pieci un vairāk, veidojot spēkstacijas. Nepieciešamais ūdens dziļums 30m un vairāk (1p. 39. att.) [132].

*IPS* sistēmā ir iebūvēta pārslodzes aizsardzība, vadības programma un instrumenti, katra iekārtas mezgla pieskaņošanai viļņu augstuma, viļņu spektra un citām izmaiņām.

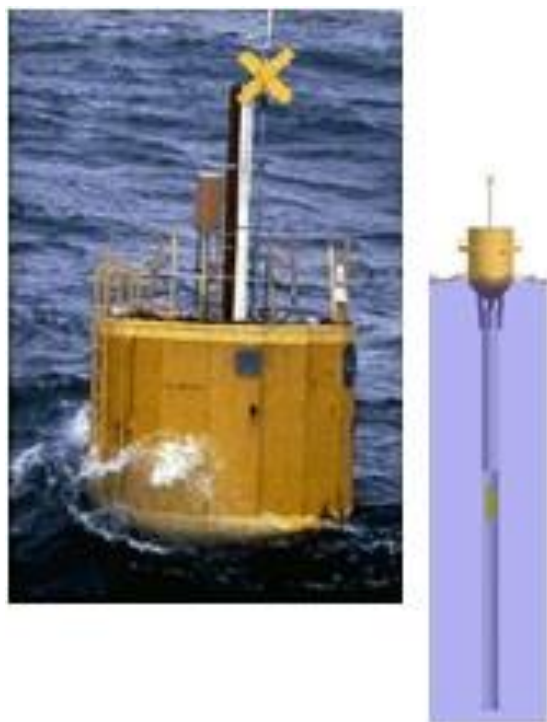
Iekšējās enerģijas pārveidošanas sistēmas izpildījums var atšķirties. Tradicionāli tā ir eļļas hidrauliskā sistēma, kura satur standarta komponentes: cilindri, akumulatori, vārstu bloķē, hidrauliskie motori, kuri nodrošina labu apkalpošanu un iekārtas kalpošanas ilgumu.



Tam alternatīva var būt šļūtenes sūkņu bloks, kurš sūknē ūdeni uz mazu turbīnu, kura griež īpašu ģeneratoru.

Tiek apgalvots, ka reālos apstākļos (50–70 kW/m) ar 10 m boju elektrības iznākums ir 1,4 GWh gadā un momentānā jauda var sasniegt 150–250 kW, kas atbilst 30 % lietderības koeficientam.

Trešais variants ir pārvērst lineāras svārstības rotācijā ar mehānisku sistēmu. Šī rotācija tiek izmantota lai grieztu turbīnu.



1p. 39. att. *INWave* [132].

#### 1.51. *Irish Tube Compressor – ITC (Jospa Ltd.)*

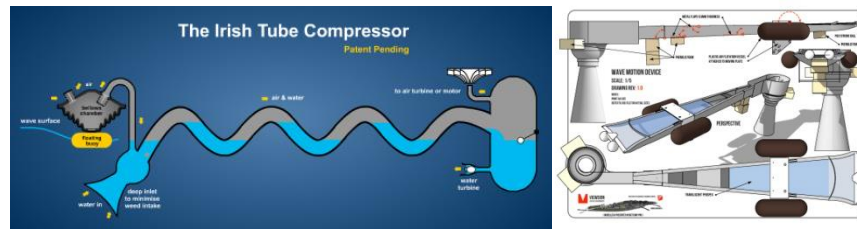
Iekārta sastāv no pastiprinātas, bet lokanas caurules, kura peld uz ūdens un vadāmas gaisa un ūdens ieplūdes atvērtajā daļā. Viļņi lokot cauruli ar vertikāliem ielokiem dzen ūdeni un gaisu uz caurules beigām. Rezultējošais ūdens stabs un gaisa spiediens tiek ar gaisa un hidro turbīnām pārvērsts elektrībā (1p. 40. att.) [133].

Var uzskatīt, ka *ITC* darbojas 3 etapos:

1. Process sākas ar ūdens un gaisa iesūkšanu. (Detaļas šeit netiek izpaustas) Tiek apgalvots, ka tas tiek darīts, cik vienkārši vien iespējams;
2. Procesa vidus fāzei paredzētas garas īpašas lokanas caurules, kuras atgādina masīvu “*lilo*” matraci;



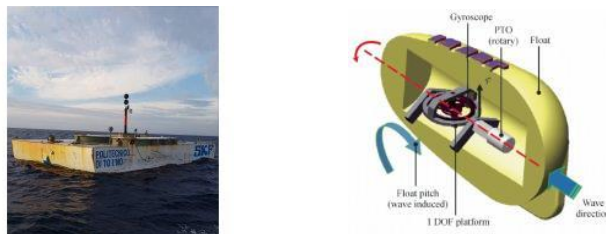
3. Enerģijas savākšanas fāze, kurā vārsti un separatori, uzgaļa cisternas/uztvērēji ūdens un gaisa turbīnas, kuras griež elektriskos ģeneratorus. Detaļu sarežģītība, cik minimāla vien iespējams.



3p. 40. att. *Irish Tube Compressor – ITC* [133].

#### 1.52. *ISWEC (Wave for Energy Ltd.)* 2009. gads

*ISWEC* – tā ir žiroskopa tehnoloģija (1p. 41. att.) [134].



1p. 41. att. *ISWEC* [134].

#### 1.53. *JOULES WaveTrain Sloped Pneumatic (Joules Energy Efficiency Services Ltd.)* Īrija

Iekārta ir vairāku enerģijas moduļu masīvs. Modulis sastāv no vairākām slīpām caurulēm, kuras ir atvērtas apakšā, bet pārklātas augšdaļā. *EPS* darbojas uz saspiestu gaisu un gaisa turbīnām (1p. 42. att.) [135]. No apraksta var secināt ka caurules strādā kā *OWC*.



1p. 42. att. *JOULES WaveTrain Sloped Pneumatic* [135].



#### 1.54. KNSWING (*KN Ocean Energy Science & Development*)

*KNSWING* projektā ir paredzēts attīstīt eksperimentālu atenuatora tipa viļņu enerģijas pārveidotāja modeli. Beigu konstrukciju paredzēts izveidot no betona un uzstādīt Dānijas teritoriālos ūdeņos Ziemeļjūrā. Kuģveidīga konstrukcija iever 2 x 20 *OWC* kambarus. Modeļa mērogs 1: 50 (1p. 43. att.) [136].

Pētījumi rāda, ka pie viļņiem ar  $H_s = 5\text{m}$  vidējā absorbētā jauda būs aptuveni 2900kW.



1p. 43. att. *KNSWING* [136].

Teorija par šī viļņu pārveidotāja modeli atrodama literatūras avotos [137], [138], [139].

#### 1.55. *KROK-1* (*Ovsiankin Energy Group*) vai *ISHIKA INC* vai *Krok-1* 1990. gads

*US DOE WEP* atskaitē teikts, ka Ovsjannkina grupa startējusi ar pārveidotāja projektu, kur uztvērēja elementi ir lokani. Iepriekš Ovsjannkins strādājis ar skrūves vai gliemeža “*Krok*” tipa uztvērējiem.

Kopš 1990. gada Kijevā izvietotais *Krok-1* piederēja V. Ovsjankinam. Gadu gaitā strādājot pie jauna veida viļņu spēkstacijas, sadarbojoties ar Nacionālo aviācijas universitāti, Nacionālo kuģu būves universitāti, Ukrainas *NAS* hidromehānikas institūtu, Kijevas kuģu būvētavu un citiem partneriem.

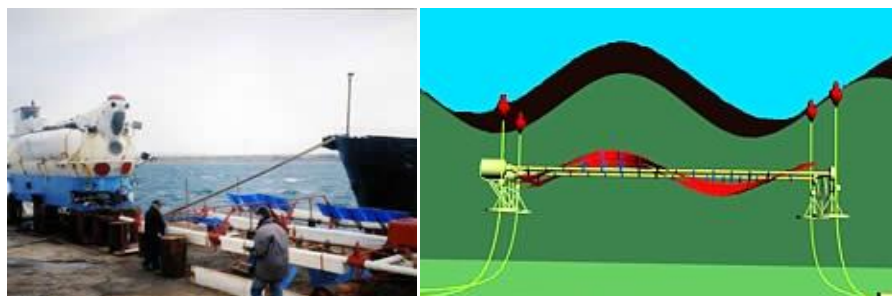
Peldošā un elastīgā sistēma sastāv no izstieptiem asīm, pa kuru apvītas spirāles virsmas, kuras tiek pagrieztas ar vārpstām (1p. 44. att.) [140]. Asu beigās ir ģeneratori enerģijas ražošanai. 1 km platumā var uzstādīt līdz 24 moduļiem, kuri var radīt 0,5–3MW atkarībā no atrašanās vietas un viļņu stipruma. Uzstādīšanas izmaksas ir 3500–4000USD/kW.

Ukrainā patentēti dažādi mazie modeļi tiek veidoti un pārbaudīti vārpstas tvertnē. 2006. gadā Kijevas kuģu būvētavā tika savākts *WPP-10* prototips ar jaudu 10kW un 2007. gada martā/aprīlī izmēģināts atklātā ūdenī militārās pētniecības bāzē Sevastopole. Faktiski sasniegtais rezultāts tomēr ir tikai 2–3kW.

*Krok-1* izmēģinājums tomēr 2–3 miljonu lielu iekārtu tuvumā Zimina salā Melnajā jūrā, kuru 2008. gada beigās pārskatīis un apstiprinās valsts akadēmiskā padome, būs nepieciešami 8 miljoni USD investīciju izmaksām, kuras uzņēmums nevar atļauties. 2009. gadā kā pirmais solis ceļā uz 500kW pilotu moduļa ieviešanu tika parakstīts *Bosch*



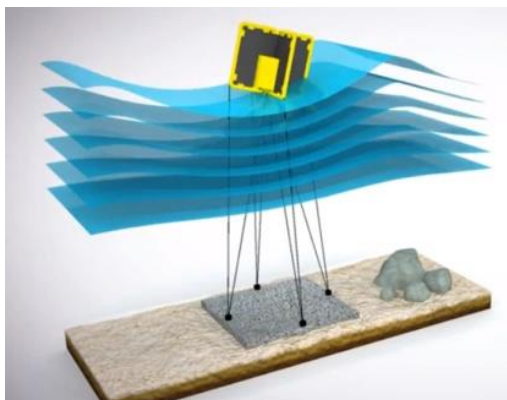
*Rexroth* dalības apliecinājums *WPP* būvniecības projektā. Pēc tam Ovsjankins piedalās dažādās konferencēs par viļņu enerģijas jautājumiem. Aktuālākas informācijas par turpmākajām īstenošanas stadijām nav.



1p. 44. att. *KROK-1* [140].

#### 1.56. *LAMWEC (Laminaria) TRL 5-6 (Alternate Wave Surge Absorber)*

Horizontālās kustības iespaidā iekārta, nostiprināta četrās saitēs, nobīdās un klanās. Enkurošanas saites ir pievienotas (tieši vai ar transmisijas starpniecību) elektro-ģeneratoram. Iekārtas kustība tiek pārveidota ģeneratoru rotācijā, kas ražo elektrību. Iekārtā ir iebūvēts adaptīvs, funkcionēšanu nodrošinošs uztveramo enerģiju regulējošs algoritms, kurš kontrolē iekārtas iegremdēšanas dziļumu. Tas ļauj iekārtai funkcionēt plašā viļņu parametru diapazonā (1p. 45. att.) [141].



1p. 45. att. *LAMWEC* [141].

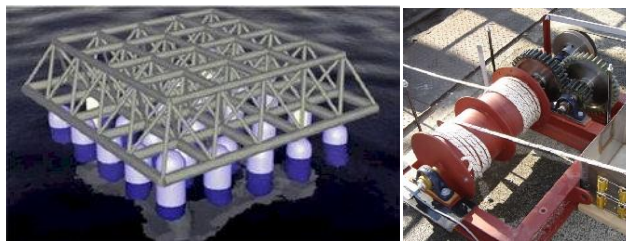
#### 1.57. Nav nosaukuma (*Leviathan Energy Waves*)

*US DOE WEP* deklarēts, ka uztvērējs ir divās dažādās plaknēs strādājošu turbīnu kombinācija. *WEBā* teikts, ka *Leviathan* viļņu uztvērējs ir izstrādes stadijā. Pirmās izstrādes pamatā ir viļņa rotācijas un vertikālās kustības uztveršana. Otrās izstrādes – viļņu enerģijas plūsmas koncentrēšanai ir izmantots mākslīgas pludmales [142].



#### 1.58. *Manchester Bobber* (*Manchester University*) 2004. gads

*Manchester Bobber* ir ciešs boju masīvs. Tā izgudrotājs – Peter Stansby. Karkass ar peldošiem pludiņiem, kuri vilnim šķērsojot konstrukciju, kustina pludiņus augšup/lejup un griež skriemeli, kurš savienots ar spararatu un elektro-ģenerātoru (1p. 46. att.) [143]. Komerciāla mēroga iekārta varētu attīstīt vidēji 5MW jaudu, kas ir vairāk nekā lielākās jūras vēja turbīnas. Salīdzinājumā ar viļņa pārveidošanas iekārtām, konstrukcija izceļas ar vienkāršību un izturību. Ar ūdeni saskaras tikai pludiņi. Visas pārējās mehāniskās un elektriskās komponentes izvietotas drošībā uz karkasa, virs ūdens līmeņa. Tas padara sistēmas apkalpošanu daudz vienkāršāku un lētāku, kā arī ļauj apkopes veikt ar lielākiem intervāliem. Papildus, lielās vētrās pludiņi var tikt ātri piepildīti ar ūdeni, samazinot svārstību amplitūdu un aizsargājot sistēmu no pārslodzes. 105. attēlā ir attēlota enerģijas pārveidošanas iekārta prototipam mērogā 1:10. Tā pārveido pludiņu lineārā pārvietojuma kustību, rotācijas kustībā, kas ar pārnese starpniecību piedzen elektrisko ģenerātoru.



1p. 46. att. *Manchester Bobber* [143].

#### 1.59. *Mark 3* vai *CCell* (*Zyba Limited* + *The University of Bath*)

Lai palielinātu uztvertās enerģijas daudzumu, viļņu horizontālo garensvārstību uztvērējs (*VHGU*) konstruēts ar īpaši ieliektu darba virsmu (1p. 47. att.) [144]. *Mark 1* uztvērējs un tā vadības sistēma laboratorijas testos, salīdzinājuma ar plakanajām garenvirziena horizontālo svārstību sistēmām, uzrāda četrkārtīgu ražības pieaugumu pie fiksētām izmaksām.

Ieliektā struktūra ne tikai uzlabo iekārtas hidrodinamiskās īpašības, bet arī ļauj palielināt sistēmas noturību un samazināt izmantojamo materiālu apjomu.

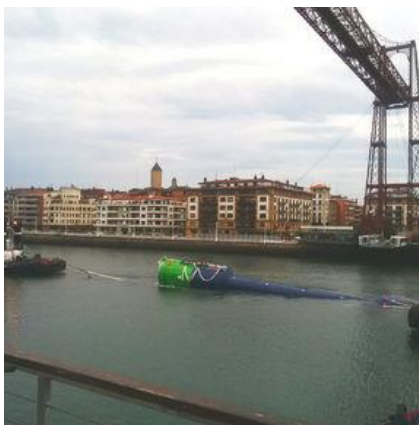


1p. 47. att. *Mark 3* vai *CCell* [144].



#### 1.60. *MARMOK-A-5 (Oceantec Energias Marinas SL) 2012. gads*

Tehnoloģija ir punkta absorbētājs, kurš strādā uz *OUK* principa. Tā ir liela peldoša boja 5m diametrā, 42m garumā un ar masu 80 t. Iekārtas sastāvā ir divas 30kW turbīnas. Gandrīz visa iekārta, izņemot peldošo boju atrodas zem ūdens. Enerģija tiek absorbēta ar turbīnām pārveidojot vienvirziena rotācijas kustībā gaisa plūsmu no saspīestā un retinātā gaisa augšējā nodalījumā (1p. 48. att.) [145].



1p. 48. att. *MARMOK-A-5* [145].

#### 1.61. Nav nosaukuma (*MARUTHI POWER*)

Punkta absorbētājs ar mehānisku spēku summēšanu maksimāla momenta iegūšanai zemas intensitātes viļņos [146].

#### 1.62. *McCabe Wave Pump (Hydam Technologies Ltd.)* no 1980. gada

Sistēma sastāv no stabilizētas, peldošas platformas platformas, kura ir noenkurota un, kurai abās pusēs ir platas taisnstūra kustīgas tērauda platformas, kuras rada hidraulisku spiedienu, kad viļņi tajās iniciē kustību. Enerģija var tikt izmantota divējādi: 450kW elektriskās enerģijas vai dzeramā ūdens iegūšanai ar reverso osmis destilāciju (~ 275 000m<sup>3</sup> gadā, par 5€centi/m<sup>3</sup>) (1p. 49. att.) [147], [148].

1996. gadā ekspluatācijā uzstādīts 40m garš 4m plats prototips (Šannonas upē Īrijas krastā pie County Clare Kilbahā).

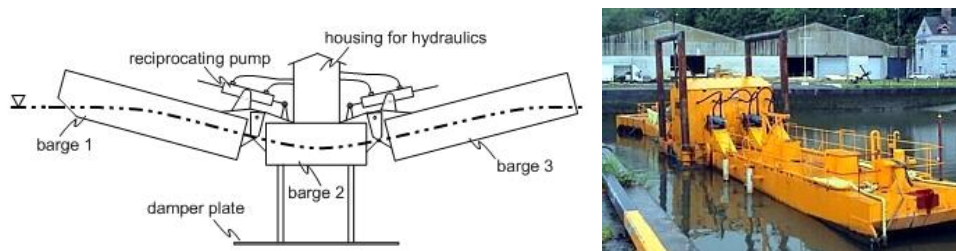
2001. gadā John Hopkins universitātē doktora disertācijas ietvaros tika modelēta sistēma, kura saucās saņēgotu baržu sistēma un uzrādīja ražības pieaugumu 2,5 reizes.

2003. gadā notika vēl viens sešu mēnešu izmēģinājums Shannon Estuary.

2004. gadā iesākta būvēt komerciāla versija, bet tā arī nav pabeigta.



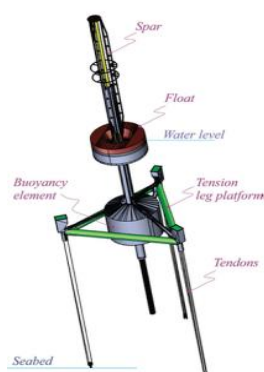
2010. gadā Dublinā bāzēta firma *Enegia*, kura darbojas Viridianas grupas sastāvā, vienojās ar *Ocean Energy Systems (OES)*, par 500kW modernāku *McCabe (shaft) Pump* iekārtu ražošanu un piegādi par 1 miljonu USD gabalā. Nav ziņu par to, ka šis projekts būtu īstenots.



1p. 49. att. *McCabe Wave Pump* [147], [148].

### 1.63. *MD wave power converting (Sigma Energy)* 2008. gads

Mehāniska *EPS* ar vienvirziena inerciālu sajūgu, kurš ģenerators rotēšanu padara vienmērīgu un tādejādi uzlabo tā ražību. Izstrādātais ir uzkonstruējis oriģinālu cirkulāra pludiņa dizainu ar atvērtu apakšdaļu un vienvirziena vārstu sistēmu, kura aiztur iepriekš aprēķinātu ūdens daudzumu, kurš stabilizē pludiņa svaru un (ekstrēmu viļņu gadījumā) ievērojami samazina apakšas nobīdes (*slamming*) slodzes. Pludiņš ir pievienots reaktoram (*spar*) ar īpašu sfērisku savienotāju, kurš ļauj pludiņam svārstīties garenvirzienā, samazinot dinamiskās slodzes uz vertikālo (*spar*), kas padara pludiņa kustības vienmērīgākas. Reaktors ir aprīkots ar nospriegošanas platformu ar trīs vienāda garuma šarnīriem, kuri stabilizē vertikālu caurejošo stienī kustību (1p. 50. att.) [149]. Kā pierāda izmēģinājumi, tas padara pludiņa cilāšanās kustību stabilu un efektīvu. Eksistē arī patentēta procedūra platformas uzstādīšanai un nospriegošanai izvēlētajā vietā. *Marinet* izmēģinājumu atskaite dota literatūras avotā [150].

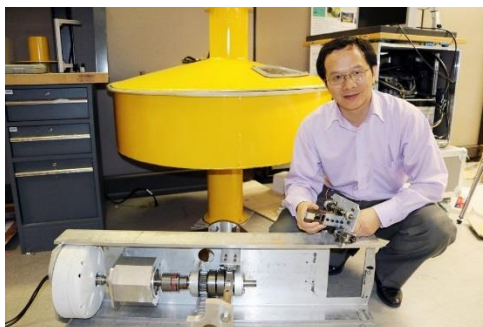


1p. 50. att. *MD wave power converting* [150].



*1.64. Mechanical Motion Rectifier (MMR) (Virginia Polytechnic Institute and State University)*

*Mechanical Motion Rectifier* ir tehnoloģija, kuru izmanto *EPS*. Šī jaudas noņemšanas sistēma pārveido neregulāru divvirzienu viļņu kustību ģeneratora vienvirziena rotācijā, integrējot divus vienvirziena gultņus uz plauktu sistēmas iekārtu. *MMR* ir efektīvāka salīdzinot ar lineāro amortizācijas *EPS*, un optimālā kardānvārpstu *MMR* sistēmas amortizācija ir mazāka nekā lineārās amortizācijas sistēmās (1p. 51. att.) [151].



1p. 51. att. *Mechanical Motion Rectifier* [151].

*1.65. MHD Wave Energy Converter PTO (SARA Inc NXergy, Inc.) 1989. – 2009. gads*

Magnetohidrodinamiskais pārveidotājs saista sistēmas, kuras darbojas ar cilāšanās kustību ar bīdņa pārnestu viļņu kustību uz dziļi iegremdētu *MHD* ģeneratoru. Bīdnis spiež šķidrumu caur spēcīgu patstāvīgo magnētu kontūru, ģenerējot lielas strāvas zemsprieguma *EDS*. Invertors šo strāvas elektrisko enerģiju pārveido 60Hz elektrotīkla maiņspriegumā (1p. 52. att.) [152].



1p. 52. att. *MHD Wave Energy Converter PTO* [152].

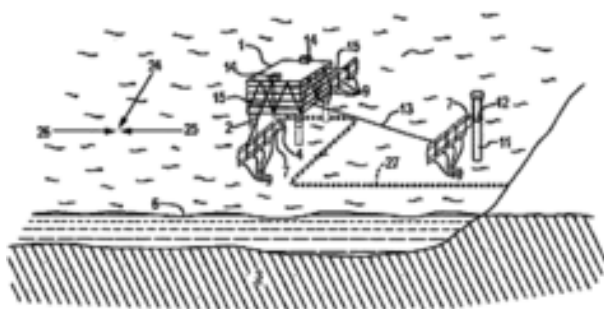


Šī ir unikāla *EPS*. Viens no uztvērēja konceptiem boju masīvs. *SARA* ir proklamējusi, ka tai ir efektīvs risinājums viļņu enerģijas pārveidošanai ar lietderības koeficientu ap 50 %. 2007. gadā tā ir uzprojektējusi, uzbūvējusi un notestējusi 100kW *MHD* ģenerators laboratorijas modeli, kurš paredzēts darbam zem ūdens. Informācija vēlāk norāda, ka projekts ir pārtraukts [153].

#### 1.66. Nav nosaukuma (*Mighty Waves Energy LLC.*) 2013. gads

*Point absorber, team leader Doug Wolfe*

Okeāna enerģijas uztveršanas sistēma izmanto horizontālas struktūras elementus, ko iespaido viļņu kustība. Elementi ir izvietoti līnijā, kura kopē viļņa profilu. Ģenerators platforma uz balstiem okeānā vai krastā, un uztveršanas elementi rotē zem platformas, vai ap balstu, kurš izvietots platformas apkārtnē. Rotācija griež ģenerators stabu pateicoties tiešam savienojumam ar struktūras elementu vai trosi, kura pievieno struktūras elementu ģenerators spolei. Sistēma adaptējas dažādiem paisuma ūdenslīmeņa augstumiem (1p. 53. att.) [154].



1p. 53. att. ASV patents Nr. 7821150 B2 [154].

#### 1.67. *MotorWAVE (Motor Wave Group)* 2004. gads

*MotorWAVE* iekārta sastāv no posmiem. Katrs posms sastāv no diviem pludiņiem (1p.54. att.) [155]. Cilāšanās augšup/lejup tiek pārnesta uz centrālo asi, kura sasummē visu moduļu enerģiju. Tas notiek ar hidraulisku iekārtu saspiežot gaisu. 2m viļņos katrs modulis dod 16 kW, 3 m – 81 kW un 5 m – 625 kW. Tai pat laikā viļņu enerģijas absorbcijas koeficients 0,17. Pie vidējā viļņu augstuma 2 m 70 moduļu iekārta saražo 1MW enerģijas, kas ir aptuveni 0,6 MW to pārveidojot elektroenerģijā. Ja moduļa darba mūžs, tiek prognozēts 15 gadi, tad, ņemot vērā avārijas, tās ir 8000 stundas gadā un 4,87GWh gadā. Tā kā 70 moduļu komplekta izmaksas ir 100,000 USD (pie rūpnieciskas ražošanas), tad 1kWh cena ir 0,0015 USD un sākotnējie ieguldījumi ir 170 000 USD/MW.

Katra iekārta tiek veidota no 70 moduļim. Tās garums 1000 pēdas. Katra pludiņa tilpums 4 m<sup>3</sup>.



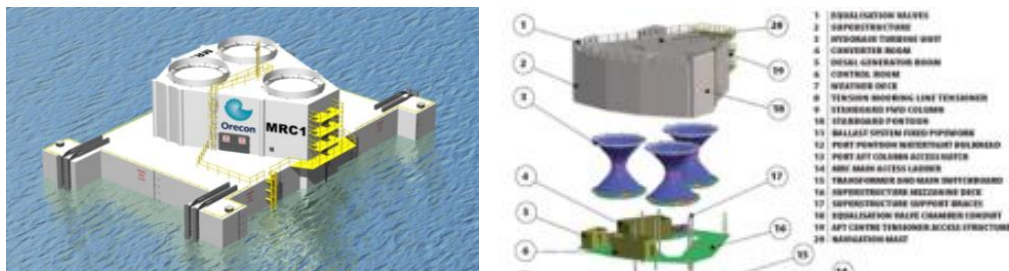


1p. 54. att. *MotorWAVE* [155].

Norādīts ka lietderības koeficients 99 % (acīmredzot, mehāniskais absorbēšanas koeficients) Paliek neskaidra neatbilstība lietderības koeficienta teorētiskajam maksimumam 50 %.

#### 1.68. *MRC (ORECON)* 2002.–2012. gads

Daudz kameru oscilējoša ūdens kolonna (1p. 55. att.) [156]. 2010. gadā sākas problēmas ar pilna mēroga projekta finansēšanu.

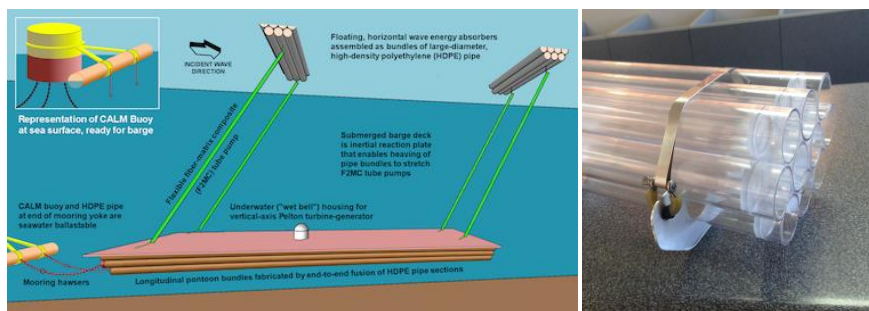


1p. 55. att. *MRC (ORECON)* [156].

#### 1.69. *MULLET MULti-body LinEar Terminator. (Advanced Ocean Energy @ Virginia Tech)*

Iekārta ir tandēms no diviem savienotu cauruļu saišķu viļņu enerģijas terminatoriem (*BITWEC*), kuri izvietoti viens aiz otra viļņu izplatīšanās virzienā. Katrs saišķis ir savienots ar diviem stiklašķiedras kompozīta cauruļu sūkņiem pie iegremdēta cauruļu pontonu baržas, kura salikta no liela izmēra cauruļu sekcijām un kalpo kā stabila reakcijas plāksne. Ūdens no sūkņiem tiek novadīts uz Peltona turbo ģeneratoru. Zemūdens barža ir piestiprināta pie nekustīgas/nofiksētas (*CALM*) bojas un var tikt pacelta virs ūdens, servisa operāciju veikšanai (1p. 56. att.) [157].





1p. 56. att. *MULLET MULti-body LinEar Terminator* [157].

#### 1.70. *Mutriku OWC (Basque Energy Board (EVE) Voith Hydro Wavegen Limited* no 2006. gada

*Mutriku* rūpnīcas dizains ietver dobu struktūru, kura veido trapecveida formu. Struktūrai ir priekšējā atvere, kura ir iegremdēta zem ūdens un arī atvere augšpusē.

Priekšējā atvere ir 3,20m augsta un 4m plata. Tukšā konstrukcija satur 16 gaisa kameras, kurās ir 16 turbīnas.

Katra turbīna sver 1200kg un ir 2,83m augsta un 1,25m plata. Turbīnām nav pārnēsūmkārbas, hidraulikas vai regulējamās lāpstīņas. Tie ir vienkārši, uzticami un strādā ar gaisu.

*Wells* turbīnas ir savienotas ar turboģeneratoru ar jaudu 18,5kW. Turbo ģeneratoram ir droseļvārsts apakšā, lai to izolētu, ja nepieciešams. Svaiga ūdens inžektori attīra turbo ģeneratora asmeņus, lai novērstu sāls un citu piemaisījumu uzkrāšanos (1p. 57. att.) [158].

Iekārta ietver arī vadības un jaudas kondicionēšanas iekārtas, transformatoru centru un jaudas noņemšanas līniju.

*OWC* tika uzcelta 100m sekcijas mola iekārtas sienas ārmalā. Augu pamats tika novietots, rafinējot tranšeju 0,50m dziļumā, platumā 14,25m un garumā 102m.

Iekārta aprīkota ar sešpadsmit gaisa kamerām, kuras izgatavotas no četrām atvērtām izgatavotajām daļām un divpadsmit slēgtām daļām. Katra daļa tika pacelta vietā, izmantojot celtņus ar 50t pacelšanas jaudu.

Pēc tam, kad detaļas bija vietā, iegremdēja betonu, lai nostiprinātu visu struktūru. Tad kameras tika pārklātas ar 80cm biezām saliekamās plātnes, kuras izgatavotas no dzelzsbetona.

Spānijas komunālo pakalpojumu firma *Ente Vasco de la Energía (EVE)* 2011. gada jūlijā oficiāli pasūtīja *Mutriku* viļņu enerģijas ražotni Basku zemē Spānijā. Uzņēmums ģenerēs jaudu 300kW, lai nodrošinātu 250 mājsaimniecību. Ieguldījums tika veikts 6,4 miljonu eiro apmērā.





1p. 57. att. *Mutriku OWC* [158].

OWC tehnoloģiju izstrādāja *Voichena filiāle Wavegen*, kurš ir *Voith Siemens Hydro* meitas uzņēmums. Tehnoloģiju piegādes līgums bija 1,2 miljoni eiro [159].

Izmaksājot 6,7 miljonus EUR, no kuriem 2,3 miljoni EUR ir paredzēti elektrostacijai, bet pārējā milzīga jūras siena, kurā tā atrodas, un vienlaicīgi aizsargā ostu – projekts ir balstīts uz gudru svārstību pastiprinošu tehnoloģiju, kura pazīstama kā *OWC* [160], [161].

#### 1.71. *Nemos (NEMOS GmbH)*

Šī *VEP* sistēma sastāv no pagarināta peldoša pludiņa, kurš piesaistīts pie jūras gultnes ar trīs saitēm. To ierosina viļņu kustība, kura ar saitēm pārnes enerģiju uz vinčām un ģeneratoriem, kuri izolēti vēja ģeneratoru kolonnā. Mainoties viļņu virzienam sistēma tam pieskaņojas ar patentētas “*sea If-acting*” sistēmas palīdzību. Sistēmai paredzēta aizsardzība pret pārslodzēm, kas var pludiņu iegremdēt dziļumā, kur ūdens ir mierīgs (1p. 58. att.) [162].

2014. gadā intensīvu pētījumu rezultātā, ieviešot kompleksus spēka profilus, tika iegūts lietderības koeficients ap 80 %.

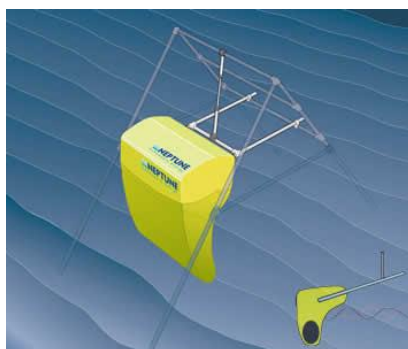


1p. 58. att. *Nemos* [162].

#### 1.72. *Triton (Neptune Renewable Energy)*

*Triton* iekārta paredzēta darbināšanai netālu no krasta. Tā sastāv no asimetriska pludiņa un ar šarnīra stieņiem nostiprināta A veida rāmī, kurš nostiprināts pie ūdenstilpnes gultnes. Pludiņa masa var tikt izmainīta iesūkņējot vai izsūkņējot no tā ūdeni. Bojas forma izveidota tā, lai tā prtetfāzē ģenerētu ienākošo vilni un vājinātu izejošo vilni (1p. 59. att.) [163]. Tiek apgalvots, uzlabo viļņu enerģijas uztveršanu, un uzlabo kopējo sistēmas efektivitāti. *EPS* paredzēta hidrauliska ar virzuli.



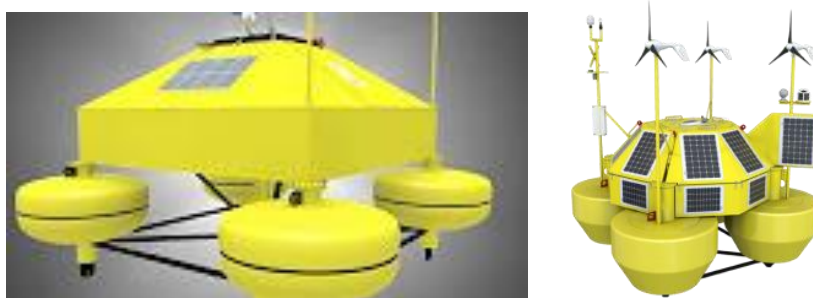


1p. 59. att. *Triton* [163].

Aprakstos netiek runāts par viļņa garenvirziena un pludiņa mijiedarbību, kura šādai pludiņa formai noteikti būs.

### 1.73. *Neptune (KIC InnoEnergy Iberia)*

Meteoroloģiskā jūras boja ar savu nosaukumu “*Eolos*”, kura paredzēta vēja klimata statistikas noteikšanai atklātā jūrā (1p. 60. att.) [164].



1p. 60. att. *Neptune* [164].

### 1.74. *Neptune (Mermaid Power Corporation) 2010. gads*

Iekārta sastāv no ārējās peldošās sistēmas ar kupolu 12000kg, kustīgā pludiņa 3,500kg, kurš nostiprināts sistēmas iekšpusē, un *EPS*, kura sastāv no mehāniska kustības pārveidotāja uz rotācijas kustību un elektroģeneratora. Tiek apgalvots, ka tikuši veikti mērījumi, lai noteiktu reālo enerģijas daudzumu, kas vertikāli pārvieto 3500kg smago galveno pludiņu, bet rezultāti netiek publicēti (1p. 61. att.) [165]. Viļņu augstuma un perioda mērījumiem izmantots *RTB* viļņu sensors (*Ottawa*) un viļņu video pret atskaites iezīmēm, Enerģijas iedarbība noteikta mērot elektrisko jaudu vatos un rezultējošo atsperu izstiepumu ar zināmiem elastības spēkiem. Ciparu devēji mēra apgriezīgu skaitu un kustīgā pludiņa vertikālo kustību. Visi šie dati salīdzināti ar reālajiem viļņu augstumiem un periodiem.





1p. 61. att. *Neptune* [165].

#### 1.75. *Neptune WEC (Neptune Wave Power)*

*Neptune WEC* ir punkta absorbētājs ar horizontāli rotējošu svārstu. Atbilstoša piedziņas sistēma pievienota elektroģeneratoram. Iekārtas konstrukcija tiek veidota no atsevišķiem moduļiem, tā lai tā būtu vienkārši komplektējama, transportējama, uzstādāma, noenkurojama un apkalpojama. Šis moduļu dizains ar dubultu korpusu aizsargā visas kustīgās daļas un elementus, kuri tiek izvadīti ārpus tā (1p. 62.att.) [166].



1p. 62. att. *Neptune WEC* [166].

Galvenie raksturlielumi:

- dziļums uzstādīšanas vietā: 25–75 m,
- attālums līdz krastam: 1– 5 km,
- attālums starp uzstādītām bojām: 50 m starp centriem,
- bojas maksimālā jauda 225k W,
- noslodze (Net capacity factor): 30–75 %,
- viļņu augstums: 1–10 m,
- ekspluatācijas mūžs: 30 gadi.



Modelis 3.1 ir pirmais pilnībā funkcionējošā tehnoloģijas demonstrācija, kura aptver masveida ražošanas iespējas ar pilnīgu dinamiskās optimizācijas iespēju. 2013. gadā sistēma pārbaudīta apjomīgos izmēģinājumos reālos apstākļos pie Ņūhempšīras krastiem. Izmēģinājumu laikā 3m caurmēra un 3t smagā sistēma tika pakļauta vairākām vētrām, kurās viļņu augstums sasniedza 6m. Šo izmēģinājumu laikā tika pierādīta konstrukcijas peldspēja un enerģijas ģenerēšana paredzētajā apjomā. Izmēģinājumu laikā tika ievākti vērtīgi dati izstrādājuma uzlabošanai un lielāka mēroga konstrukcijas veidošanai [167].

#### 1.76. *NextGen (Revision Consulting)*

Punkta absorbētājs ar pielāgotu vadības sistēmu. Uzlabota vadība “*OE buoy*” (*Ocean Energy USA*) iekārtai [168], [169].

#### 1.77. *(NM-AGGIE Waves)* 2015. gads

*NM-AGGIE Waves* ir viļņu darbināma rotējoša turbīna. Izgudrotāji – Ram Prasad un Sasi Prabhakaran (abi strādā New Meksikas štata universitātē). *US DOE WEP* komandai piešķirta diskvalifikācija [170].

#### 1.78. *Nodding beam = Energy (Nodding beam = Energy LTD.)* 2006.–2016. gads

Iekārta ir viļņu enerģijas pārveidotājs, kurš izmanto vienkāršu principu “*Nodding Beam*”, ko parasti izmanto naftas sūkņēšanā no urbumiem. Lai iegūtu enerģiju no jūras viļņiem, tas tiek apvienots ar lineāriem ģeneratoriem, kuri uzmontēti uz vienkāršas betona baržas [171]. Firma un tās mājas lapa šobrīd vairs neeksistē.

#### 1.79. *Noro Joy* (Filipīnas) no 2006. gada

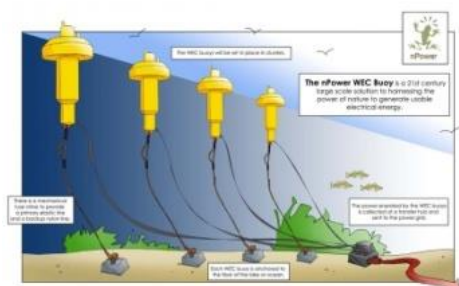
2008. gadā tika uzbūvēts *Noro-Joy* peldošās viļņu enerģijas ģenerators (*NJ-6*), kurš spēj attīstīt līdz pat 15kW jaudu, nodrošinot apgaismojumu visam vietējam ciemam. No tā var secināt tikai to, ka platformai vajadzētu kalpot atpūtai. 3m x 3m platformu paredzēts uzstādīt South Road Properties ūdeņos un noenkurot aptuveni 10m no krasta līnijas. Komerciālā izpildījumā iekārta maksās 1–1,5 miljonus peso un kalpošanas laiks būs 10 gadi [172]. Citu datu nav.

#### 1.80. *nPower (Tremont Electric)* 2007. gads

Viļņu pārveidotājs ir vieglās automašīnas izmērā. Tas ir iebūvēts peldošā bojā, kura peld atklātā ūdens tilpnē, tādā kā Eri ezers. Tajā ir magnēts, kurš tiek pārvietots indukcijas spolē,



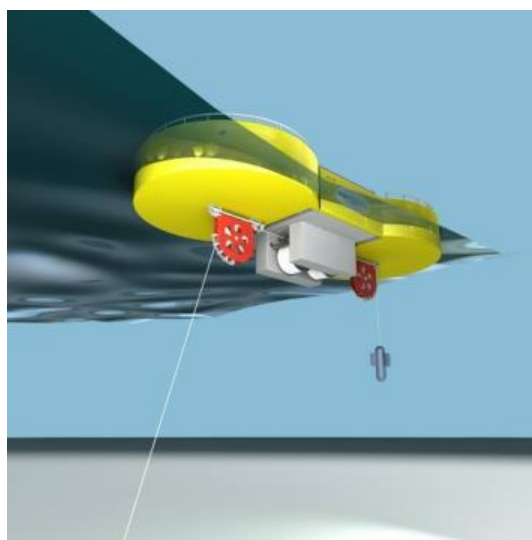
tādejādi ģenerējot strāvas impulsus. Tie tiek savākti koncentratorā un pārveidoti elektriskā tīkla strāvā (1p. 63. att.) [173].



1p. 63. attēls. *nPower* [173].

### 1.81. *Ocean Harvester (Ocean Harvesting Technologies)*

Iekārta uztver enerģiju ar vinčas starpniecību katru reizi, kad vilnis to paceļ. Patentēta *EPS*, izmantojot atsvaru, pārvērš sistēmas dažādās svārstības vienmērīgā jaudas un spēka līdzsvara sistēmā, šādā veidā *EPS* elektrotehniskā daļa var tikt piemērota vidējās, nevis maksimālās enerģijas pārveidošanai/ražošanai. Šādai pieejai vajadzētu minimizēt *EPS* izmaksas, nodrošināt augstu efektivitāti un sistēmas ģenerators un citu elektrisko jaudas elementu noslodzi (load factor), kā arī samazināt enerģijas izmaksas. Bojas izmēri –  $12 \times 5,6 \times 1,4$  m (mērogs 1: 2), *EPS* svars 25t, superstruktūras svars 85t (1p. 63. att.) [174], [175].



1p. 63. att. *Ocean Harvester* [174].

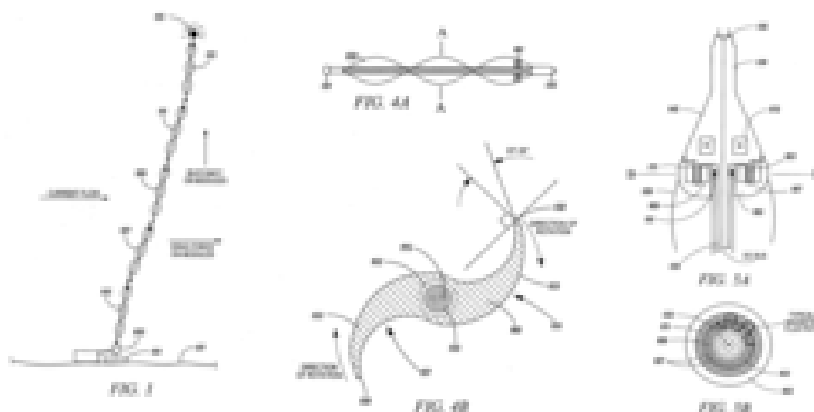


#### 1.82. Nav nosaukuma (*Ocean Kinetics*)

Mainīga uztveršanas platuma vienkārša pietauvots pašreakcijas terminators [176]. Izslēgts no *US DOE WEP* konkursa.

#### 1.83. *Tension-moored hydroshell (Ocean Lab.)*

Iekārtas izgudrotāji – Bart D. Hibbs, Dr. Tyler MacCready, Phillip T. Tokumaru, Thomas Zambrano, Dr. Dominique Roddier – *CTO, Principle Power, Inc; Prof. Ronald W. Yeung – UC Berkeley*. Ir patentēta tehnoloģija, kurai ir pierādīts konceptuālais risinājums, izstrādāts dizains un izmēģināšanas bāzē (*UC Berkeley Field Station*) izmēģināts fiziskais modelis ( 1p. 64. att.) [177], [178], [179].



1p. 64. att. *Tension-moored Hydroshell* [177], [178], [179].

Raksti periodiskos izdevumos atrodami literatūras avotos [180], [181].

#### 1.84. *OMI Combined Energy System – OMI CES (Ocean Motion International)*

Virsmas slāpētājs, kurš sastāv no punkta absorbētājiem. Masas nobīdes *VEP*, kurš aprīkota ar boju sūkņu sistēmu, kuri tiek pozicionēti viļņu laukā ar bīdņiem [182].

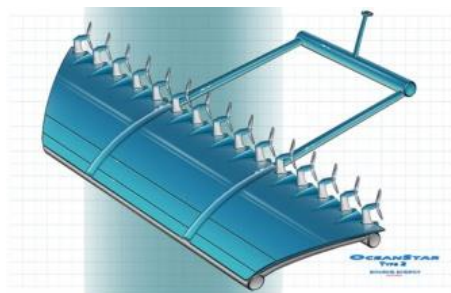
Patentēts jūras ūdens sūknis ir būtiskākais sistēmas mezgls, kurā ir izmantots minimāls daudzums kustīgu detaļu, kas atvieglo sistēmas apkopi. Hidroturbīnas elektriskais ģenerators tiek darbināts ar jūras ūdeni, kam spiedienu ražo vairāki/ daudz sūkņu, tādējādi plūsmu padarot konstantu [183].

#### 1.85. *OceanStar*

Iekārta ir nobalansēta uz priekšu noliekta un iegremdēta vairogs, kuru notur līdzsvarā divas stabilizatora caurules. Uz aizmugurējās malas ir vairāki balsti, kuri notur turbīnas, kuras



darbina gaisa kompresorus, tādā veidā ģenerē saspīestu gaisu turbīnai, kura darbina elektrisko ģeneratoru (1p. 65. att.) [184].



1p. 65. att. *OceanStar* [184].

#### 1.86. *Oceanus-2 (Seatricity)*

*PTO* masa – 0,5t, pilnizmēra iekārtas svars – 1,2t. Iekārta ir pludiņš, kurš nostiprināts pie jūras gultnes ar sūkņa starpniecību. Viļņi darbina sūkņus, kuri zem spiediena sūknē ūdeni uz koncentratoru krastā, kur turbīna to pārveido elektrībā. Vienmērīga sistēmas darbība tiek regulēta ar speciālu vārstu. Vienas iekārtas jauda ir 162kW (1p. 66. att.) [185].

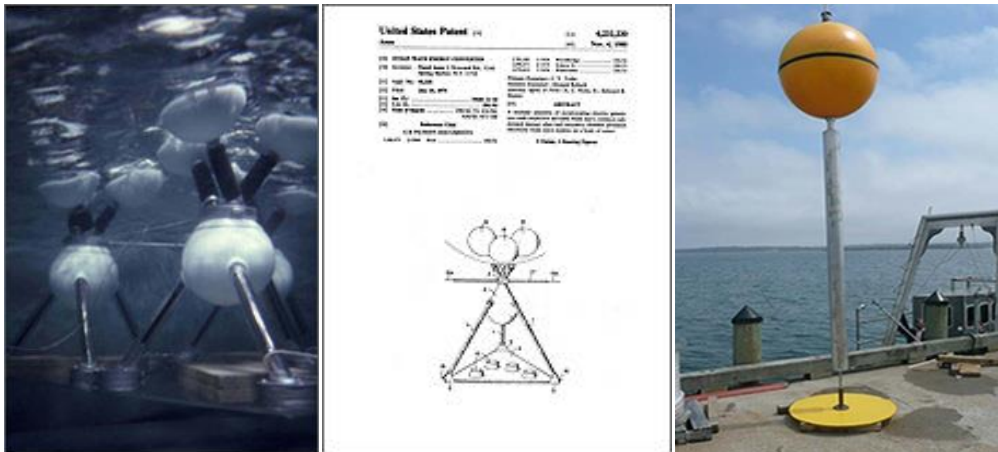


1p. 66. att. *Oceanus-2* [185].

#### 1.87. *OWEC (Ocean Wave Energy Company) 1992. gads*, (firma nozarē no 1978. gada)

*OWEC* ir atenuators, punkta absorbētājs. Visiem trīs *OWEC* modeļiem ir līdzīgs darbības princips. Visa struktūra ir iegremdēta zem ūdens līmeņa, izņemot bojas, kuras ir peldošas. Bojas šūpojas viļņos attiecībā pret iegremdētu reakcijas plāksni, kura kalpo par konstrukcijas pamatu. Boju šūpošanos attiecībā pret plāksni lineārais ģenerators pārvērš elektroenerģijā. Jeb, otrs variants – šo kustību pārveido rotācijas kustībā, un elektrības ražošanai izmanto parastu elektroģeneratoru (1p. 67. att.) [186].



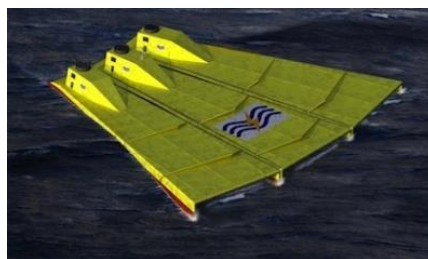


1p. 67. att. OWEC [186].

Sīkāk par šiem projektiem informācija atrodama literatūrā [187], [188], [189].

#### 1.88. OWEL (*Ocean Wave Energy Ltd.*)

Sistēmai nav kustīgu daļu, kuras būtu kontaktā ar ūdeni. Stabilizētā tunelī uz slīpās plaknes viļņi dzen uz iekārtas izeju gaisa kabatas pakāpeniski gaisu saspiežot. Pēc pirmā pārveidojuma iekārtas izejā tiek atdalīts saspīests gaiss, kurš darbina gaisa turbo-ģeneratoru (1p. 68. att.) [190].



1p. 68. att. OWEL [190].

L. Marineta izmēģinājuma UKP0619, detaļas minētas literatūras avotos [191], [192].

#### 1.88. *Pelamis, P2 (Pelamis Wave Power)* 1998.–2014. gads

Sistēma sastāv no vairākām apaļām, izolētām, peldošām sekcijām, kuras ir savienotas universāliem savienojumiem, kas ļauj sekcijām vienai attiecībā pret otru liekties divās plaknēs. Sekcijas dabīgi ieņem jūrā stāvokli paralēli viļņu virzienam. Viļņiem izplatoties, konstrukcijas elementi ūdenī tiek savstarpēji locīti (1p. 69. att.) [193]. Šo kustību pārvērš elektrībā iebūvēta hidrauliska pārveidošanas sistēma. Enerģija tiek aizvadīta pa zemūdens



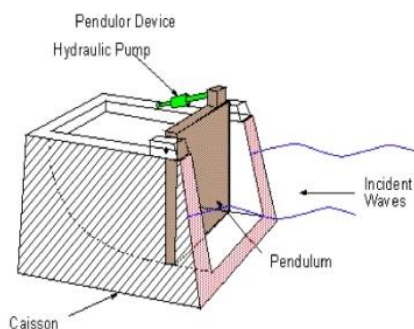
elektriskajiem kabeļiem. Lai elektrības padeve būtu vienmērīga, hidrauliskā sistēma ir papildināta ar augstspiediena akumulatoriem. Visu iekārtas savienojumu *EPS* ir identiskas.



1p. 69. att. *Pelamis P2* [193].

#### 1.89. *Pendulor* (*GyroWaveGen and Muroran Institute of Technology*) no 1998. gada

Iekārta sastāv no iekārtas lielas lāpstiņas (plāksnes) un hidrauliskā sūkņa, kurš ar šarnīru pievienots lāpstiņai. Sadursmes viļņi nodalījumā pārveidojas par stāvviļņiem. Ūdens no nodalījuma plūst, jo veidojas viļņa (horizontālas daļiņu kustības) mezglu punkts. Straume kustina plāksni, kura darbina eļļas sūkni. Sūknis piedzen divus hidromotorus, kuri griež elektroģenerātoru (1p. 70. att.) [194], [195].



1p. 70. att. *Pendulor* [194].

#### 1.90. *Penguin II* (*Wello Ltd.*)

*Wello* testē 1:5 mēroga *Penguin* iekārtu *PLOCAN* (*Oceanic Platform of the Canary Islands*) (1p. 71. att.) [196]. Šī iekārta ģeogrāfiski paplašina *Wello* tehnoloģijas pielietojamību. Sākotnējā fāzē tiks analizēta mehāniskās daļas funkcionēšana, atstājot visas *EPS* pārbaudes nākamajiem izmēģinājumu etapiem. Testi tiek veikti saskaņā ar *Wello* un *PLOCAN* 2017. gadā parakstīto memorandu.



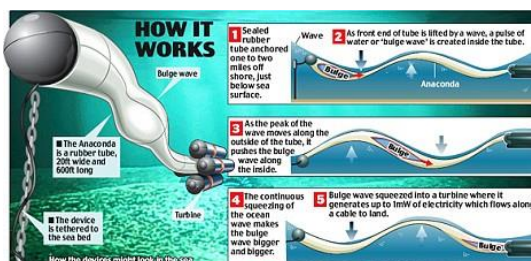


1p. 71. att. *Penguin II* [196].

#### 1.91. *Anaconda* (Checkmate SeaEnergy Ltd.) no 2006. gada

Anakondā tiek izmantota liela elastīga ar ūdeni pildīta peldoša caurule, kas orientēta paralēli viļņu izplatīšanās virzienam. Vilnim pārvietojoties caurule tiek pacelta un saspiesta ar tajā esošo ūdeni. Zemāk izveidojas pāresninājums, kuri “sērfo” pa vilni. Ja šīs ātrums sakrīt ar viļņa rezonanses frekvenci, tad ir iespējams ievērojamas viļņa enerģijas daļas absorbēšana. Šo enerģiju izmanto, lai darbinātu turbīnu un grieztu ģeneratoru.

Abi ir izvietoti caurules tālajā gala kopā ar vārstu un enerģijas akumulatoru plūsmas vienmērīguma izlīdzināšanai (1p. 72. att.) [197], [198].

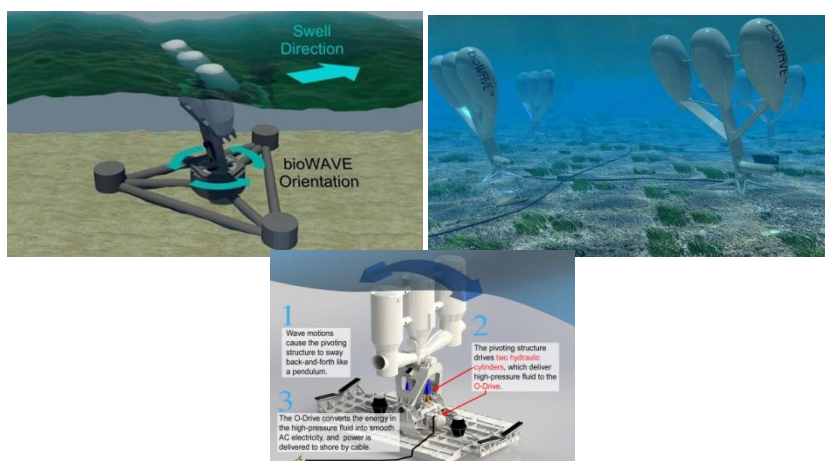


1p. 72. att. *Anaconda* [197], [198]

#### 1.92. *BioWave* (BioPower Systems Pty.)

26m augsta tērauda iekārta, kura, pārsvarā, zem okeāna virsmas šūpojas turp-atpakaļ 40 grādu leņķī. (1p.73. att.) [199], [200].





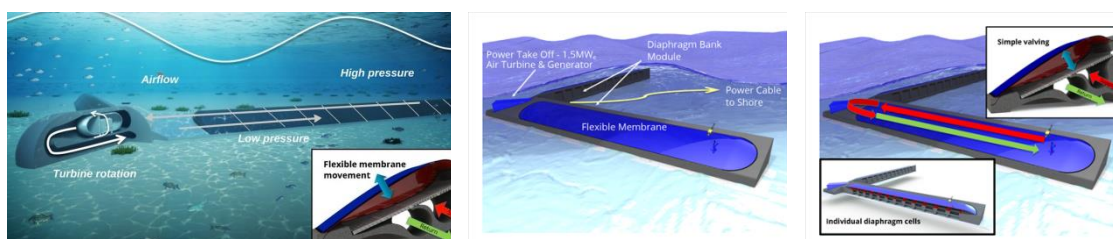
1p. 73. att. *BioWave* [199], [200].

Sākotnējā demo konstrukcijas masa ir 400t. Svārstību kustība darbina divus, pretēji vērstus hidrocilindrus, kuru saspieštais hidrauliskais šķidrums griež 250kW elektroģeneratoru. *BioWAVE* paredzēts uzstādīt jūrā ar pamatni tuvu gruntij. Bojveidīgie pludiņi vai “lāpstīņas” iedarbojas ar ūdens līmeņa svārstībām augšup-lejup (potenciālā enerģija) un horizontālajām viļņa daļiņu straumēm turp-atpakaļ (kinētiskā enerģija). Rezultātā struktūra šūpojas turp-atpakaļ vienā ritmā ar viļņojošos ūdens masu. Uztverto enerģiju elektrībā pārveido iebūvēta iekārta, kura nosaukta par *O-Drive*. Tā satur hidraulisku iekārtu, kas mehāniskas turp atpakaļ svārstības pārvērš vienmērīgā hidrauliska šķidruma plūsmā, kura piedzen 250kW elektroģeneratoru. Saražotā elektroenerģija uz krastu tiek nogādāta pa zemūdens kabeli.

Port Fairy pilot-projekts pilna izmēra *BioWAVE* izstrāde, uzbūvēšana, uzstādīšana un testēšana norisinās saskaņā ar darba grafiku līdz pat šim brīdim.

Timotijs Finigans (Vadošais direktors) deklarē, ka tāpat kā *Carnegie Energy*, *BioPower* stratēģisks mērķis ir padarīt viļņu enerģijas izmaksas tuvas vēja enerģijas izmaksām, kas nozīmē – CAPEX 2 000 000USD/MW un enerģijas izmaksas 100USD/MWh vai zemāk. *BioPower* ir četru soļu plāns, kā šo sliekšni sasniegt līdz šīs dekādes beigām [200].

### 1.93. *Wave Bombora (Bombora Wave Power)* 2007. gads (1p. 74. att.) [201], [202]



1p. 74. att. *Wave Bombora* [201], [202].

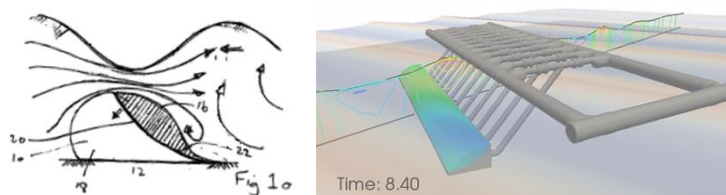


*Bombora* ir līdzīga tipiskam zemūdens spiediena starpības VEP, kurš sastāv no vairākiem elastīgas membrānas sūkņiem, kuri sūknē gaisu kesona kamerās. Parasti šādas iekārtas uzstāda 5–15m dziļumā un tādejādi tai ir dabīga aizsardzība pret vētrām.

Membrānas sūkņiem darbojoties, pateicoties augsta un zema spiediena vārstiem gaisa kanālos tiek nodrošināta vienvirziena gaisa plūsma, kura darbina zemspiediena gaisa turbīnu.

2014. gadā *Bombora Wave Power* saņēma licenci izmēģinājumiem Como pietātnē Perth's Swan upes [203].

Plūdlīnijas dizains – viļņa horizontālo garenvirziena un vertikālo svārstību uztveršanai (1p. 75. att.) [203].



1p. 75. att. Plūdlīnijas dizains [203].

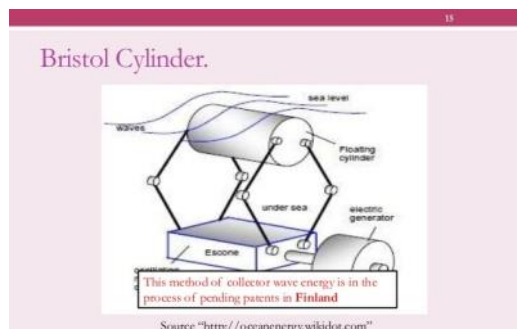
Ja ūdens krasta tuvumā kļūst seklāks par  $\frac{1}{2}$  no viļņa garuma (kurš okeānā ir aptuveni 40 m), ūdens daļiņas vilnī tiecas saglabāt tām piemītošo enerģiju un ir spiestas kustēties pa plakanām, elipsveidīgām orbītām. Lai uztvertu šo enerģiju un tajā pašā laikā samazinātu berzi un samazinātu nevajadzīgu slodzi uz konstrukciju, *Bombora* konstruktori uztvērēja absorbējošo virsmu ir izveidojuši kā sasvērtu rampu ar plūdlīnijas šķēsgriezumu. Tiek apgalvots, ka tas ļauj uztvert enerģiju no viļņa daļiņu plūsmas un ūdens līmeņa vertikālām svārstībām vilnī, tādejādi iesaistot enerģijas uztveršanā vairākas brīvības pakāpes. Manuprāt viļņu iedarbības un enerģijas uztveršanas pastiprināšanai tiek izmantotas to hidrodinamiskās īpašības.

#### 1.94. *Bristol Cylinder WEC* [204]

Viļņu enerģijas uztvērēja galvenā sastāvdaļa ir peldošs iegremdēts ciets cilindrs, kurš reaģē uz viļņa straumēm un spiediena izmaiņām vilnī (1p. 76. att.) [204].

EPS veido “*Eskone*” pārveidošanas iekārta, kura šarnīru “roku” kustību no uztvērēja cilindra pārveido vārpstas rotācijā. Vārpsta piedzen elektrogeneratoru. Ģenerators apgriezīgu skaits laika vienībā ir neliels.



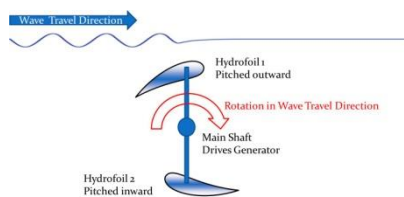


1p. 76. att. *Bristol Cylinder WEC* [204].

Eksistē klasiskā Bristoles cilindra modifikācijas ar cita tipa *EPS* [205].

#### 1.95. *CycWEC* (*Atargis Energy Corporation*)

Hidrokinētiska rotējoša spārna cēlējspēka radīta griezes momenta, pilnībā iegremdēta viļņu slāpēšanas iekārta ar mehānisku pieslēgumu elektroģeneratora vārpstai (1p. 77. att.) [206]. Uztvērējs ir rotors, kuru veido divi zemūdens spārni ar vadāmu uzplūdes leņķi. *EPS* masa 45t, visa konstrukcija 75t, uzstādīšanas dziļums 25–100m, paredzētā jauda – 5MW.



1p. 77. att. *CycWEC* [206].

Ir ziņas, ka pateicoties atgriezeniskajai saitei – sinhronizācijai ar ienākošiem viļņiem, iekārta var pilnībā absorbēt (vairāk kā 95 %) ienākošo vilni [207].

Sīkāk 1/10 mēroga prototipa modeļa Ražības novērtējuma beigu atskaitē 2010.–2012. DE-EE0003635.

Izdevumi 40 *CycWEC* klastera būvniecībai ir starp 2058USD/kW un 3206USD/kW. Salīdzinot šos skaitļus ar sauszemes vēja ģeneratoriem, *CycWEC* var uzskatīt par konkurētspējīgu, *LCOE* izteiksmē (5–10 miljoni EUR par 5MW vienību, atkarībā no akvatorija īpatnībām) [208].

Iekārtas parametri *MokapuPoint* demonstrācijā [209]:

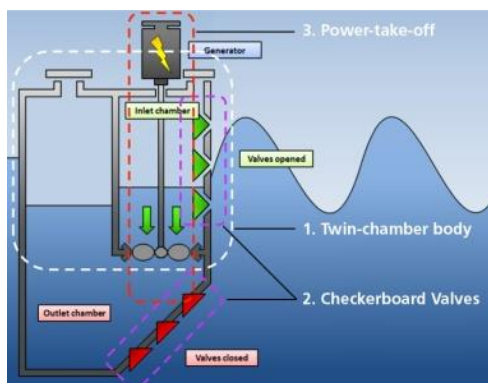
- viļņu klimats (10,8 kW/m),
- ūdens dziļums 60 m,
- iekārtas projektētā jauda – 1 MW,
- rotora rādiuss – 5 m, spārna horda – 5 m,
- spārna izpletums – 40 m,



- pamats kesona piesūceknis,
- reāli iegūstams enerģijas daudzums 1,32 miljoni kWh gadā,
- cena (*ICC*) – 2 900 000EUR,
- *LCOE* 0,29 USD/kWh.

#### 1.96. *Drakoo (Hann Ocean)*

Iekārta ir divkameru oscilējošu ūdens kolonnu sistēma, kura pārveido viļņus nepārtrauktā ūdens plūsmā (1.p. 78. att.) [210]. Sākumā (1. solis) ienākošais vilnis palielina ūdens līmeni ieejas kamerā. Starp kamerām, virzienā no ieejas uz izeju parādās ūdens plūsma. pēc tam (2. solis), kad viļņa ūdens līmenis ieejā kritās, abu kameru ūdens līmenis krītas, jo ūdens turpina aizplūst uz izejas kameru. Kamēr viļņi ir ieejā, šī divu soļu darbība atkārtojas, un nodalījumu vārsti nodrošina vienmērīgu ūdens plūsmu, kura darbina hidroturbīnas ģeneratoru.



1p. 78. att. *Drakoo* [210].

2012. gadā *Drakoo-III* prototips (*Drakoo-B0004* mērogā 1:2) *NAREC* (Lielbritānijas Nacionālajā Atjaunojamās Enerģijas centrā) tika izmēģināta iekārtas viļņu enerģijas uztveršanas spēja un pārveidošanas efektivitāte.

#### 1.97. *Robotic Juggler (Enorasy)*

*Robotic Juggler* ir punkta absorbētājs, kuram ir rotējošas masas *EPS* (1p. 79. att.) [211]. Iekārtas izstrādātājs ir Vassos Vamvas. Resursi demonstrāciju sesijai *DOE WEP* izrādījušies par vājiem. Tāpēc izstrādātāji atteikušies no dalības konkursā.

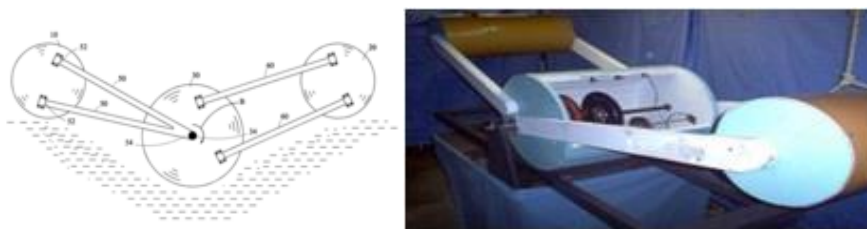




1p. 79. att. *Robotic Juggler* [211].

1.98. *Floating Wave Generator* vai *FWG* (Glenn Edward Cook of Simpson, Pennsylvania), no 2008. gada

Iekārta sastāv no vairākiem peldošiem pludiņiem, kuri peld ūdens masā, kura pakļauta brīvas virsmas gravitācijas viļņu iedarbībai. Pludiņi ir savstarpēji savienoti tā, ka to savstarpējā novietojuma izmaiņa viļņos tiek transformēta rotācijas kustībā. Vienā no pludiņiem ir izvietota transmisija un elektriskais ģenerators elektriskās strāvas ražošanai (1p. 80. att.) [212].



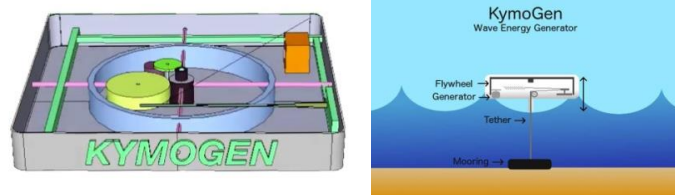
1p. 80. att. *Floating Wave Generator* vai *FWG* [212].

Līdzīga nosaukuma kanādieša Per Andersen izstrādāta iekārta “*Wave making machines*” *US Patent No. 4201496 A*.

1.99. *KymoGen* (*KymoGen*) 2014. gads

Platforma ir noenkurota pie jūras dibena. Tās iekšienē saite ir pievienota sistēmai, kura viļņiem cilājot iekārtu iegriež spararatu, nodrošinot konstantu enerģiju starp viļņiem. Iekārta, kura sver 800lbs 30,5cm viļņos spēj ģenerēt 2hp un 1,22m viļņos – 8hp (1p. 81. att.) [213]. Eksponētājā piemērā nav novērojama bojas rotāciju ierobežojoša konstrukcija.

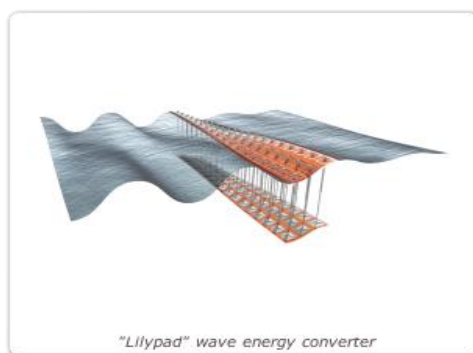




1p. 82. att. *KymoGen* [213].

#### 1.100. Lilypad WEC (Island Energy Ltd.)

Iekārtas uztverošais elements ir peldoša lokana membrāna, kura seko virsmas kustībai. Tā ir ar saitēm piestiprināta iegremdētai membrānai, kura satur atveres ar vārstiem. Vilnim pārvietojoties augšējā membrāna nospriego saites, jo apakšējā membrāna augšup vērstajiem spēkiem rada pretestību, kādēļ izstiepjami cilindri/sūkņi ģenerē hidraulisku spiedienu, kurš aktivē Peltona turbo-ģenerātoru. Tas notiek slēgtā, hermētiskā peldošā nodalījumā (1p. 83. att.) [214].



1p. 83. att. *Lilypad WEC* [214].

#### 1.101. LOPF wave energy buoys (RESEN ENERGY tagad Resen Waves) 2010. gads

*Lever Operated Pivoting Float system (LOPF)* ir ļoti vienkārša iekārta – pakavveidīgs pludiņš ar sviras roku centrālajā daļā ir noenkurots pie okeāna gultnes. Tas nostrādā tiklīdz vilnis paceļ vai pagrūž boju. Noenkurotais sviras gals nevar kustēties augšup, liekot zobratu pārnēsimumam un ģeneratoram rotēt, par cik tā novietojums ir fiksēts pie gultnes. Pārnēsimums un ģenerators ir integrēti bojas enģē. Sviras dzeltenā daļa darbojas kā atsvars un varētu būt vienkāršākais veids, kā darbināt ģeneratoru, ražojot 167 kWh elektrību, un reizē atgriezt sviru sākuma stāvoklī (1p. 84. att.) [215].

Lielākai daļai konvencionālo punkta absorbētāju eksistē punkts, pie kura vilnis ir pārāk augsts, kas noved pie pacelšanās kustības straujas pārtraukšanas, kas parasti sabojā boju vai enkurošanas savienojumu. Šī iekārta kompensē pārslodzi sagriežot boju sānis un izstiepjot



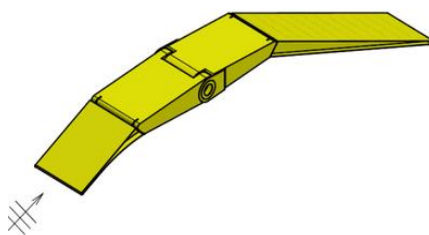
abas tās daļas vertikālā stāvoklī. Nākošais vilnis pārvieto boju pāri enkuram un atgriež to pareizā stāvoklī.



1p. 84. att. *LOPF wave energy buoys* [215]

#### 1.102. *Mocean wave energy converter – MOE (Mocean Energy LTD.)*

Atenuators ar kombinētu reakciju klanīšanos (garenvirzienā), cilāšanos un liekšanos (1p. 85. att.) [216]. Iekārta ir plostis ar eņģēm. Spēki, kuri darbojas vilnī un iekārtas korpusa sastāvdaļu dinamiskā reakcija noved pie kustības ap eņģi (liekšanās), kas darbina *EP* mehānismu, pārvēršot kinētisko enerģiju elektrībā. Iekārta no citām atšķiras ar korpusa formas dizainu, kurš ievērojami uzlabojot tā dinamiku un enerģijas uztveršanu/absorbēšanu. Konfigurācijas ir balstītas uz mainīgu ūdens virsmas izvietojuma proporciju attiecībā pret iekārtas iegremdēto daļu, kur ūdens virsma ietekmē hidrostatisko atjaunošanas spēku (restoring force) un tilpums – masu un pievienoto masu. Mainot šos lielumus, iespējams atrast sakarības starp dažādiem režīmiem un pieskaņot rezonansi viļņu garumiem, kuri ievērojami pārsniedz iekārtas izmērus. Iekārta ar šādu konstrukciju vairāk slāpējot ienākošo vilni un izceļas ar plašāku reakcijas frekvenču diapazonu



1p. 85. att. *Mocean wave energy converter – MOE* [216].

Viens no komandas (Chris Retzler) ir *Pelamis* projekta līdzdibinātājs [217].



1.103. *Órgano (Abegona Seapover now Abengoa-Instalaciones Inabensa)* 2014.–  
2015. gads

Iekārtas pamatideja ir punkta absorbētājs, kura *EPS* pamatā ir rotējoša svārsts. Tā bija paredzēta kā inovatīva iekārta okeanogrāfiskā bojā iebūvētu vides parametru mēraparatūras un signālierīču barošanai atklātā jūrā. Projekta ilgums 16 mēneši, un tas ietver:

- 1 – Analīzi, nepieciešamas enerģijas daudzuma noteikšanu, un viļņu enerģijas novērtēšanu potenciālajās uzstādīšanas vietās;
- 2 – Detalizētu viļņu bojas prototipa izstrādi;
- 3 – Prototipa būvniecību un izmēģināšanu viļņu baseinā;
- 4 – Izmaiņu/uzlabojumu ieviešana jūras izmēģinājumiem;
- 5 – Prototipa jūras izmēģinājumi, rezultātu analīze iekārtas dizaina un ražīguma noteikšanai.
- 6 – Perspektīvā tehniskā un ekonomiskā izpēte tās ražošanai [218].

Sākotnējās projekta izmaksas – 645 675EUR, Projekta status – terminēts [219].

Partneri:

1. *ENVIRONMENTAL HYDRAULIC FOUNDATION INSTITUTE*  
*UNIVERSITY OF CANTABRIA (IHC);*
2. *FUGRO OCEANOR AS* (Norvēģija).

1.104. *Rotary (Rotary Wave SL)*

*Rotary* ir konstruēts jūrām un okeānam ar augstu viļņu enerģijas līmeni. Tas var uztvert viļņus ar augstumu, kurš lielāks par 8m. Izgatavots no tērauda ass, kura balsta vienu vai vairākas notektā attālumā izvietotas spirālveida plastmasas caurules (1p. 86. att.) [20].



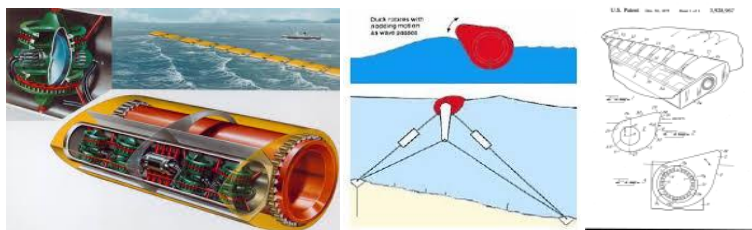
1p. 86. att. *Rotary* [220].

1.105. *Salter's Duck (Edenburg Univesity)* 1973. gads

Viļņi izplatoties ierosina īpašas formas pludiņa “Pīles” rotāciju klanoties. Šī kustība var tikt izmantota enerģijas nesēja sūkņēšanai. Tas var būt gan hidraulisks šķidrums, gan gaiss. Ja



tas ir hidraulisks šķidrums, tad tas darbina hidraulisku motoru, kurš griež ģeneratoru. Ir risinājums, ka hidrauliskais sūknis ir integrēts uztvērēja korpusā (1p. 87. att.) [221], [222].



1p. 87. att. *Salter's Duck* [222].

#### 1.106. *Vigor WEC (Vigor Wave Energy AB)*

Uztvērējs (*attenuator*), tehnoloģija – “*Bulge Wave*”. Galvenā komponente peldoša lokana caurule, kura izliecas līdz ar viļņu virsmu. Gaiss un ūdens caurulē veido kustīgas kabatas, kuras caurules galā rada spiedienu, kurš dzen ūdeni cauri turbīnai, kura griež elektroģeneratoru, kurš ražo elektroenerģiju. Iekārta aprīkota ar attālinātas vadības glābšanas sistēmu (1p. 88. att.) [223].



1p. 88. att. *Vigor WEC* [223].

#### 1.107. *WaveLine Magnet (Sea Wave Energy Limited – SWEL) 2006. gads*

Koncepcija atenuators, kurš sastāv no ar šarnīriem savienotiem peldošiem pludiņiem, kuri turas pie ūdens virsmas pateicoties virsmas spraigumam. *EPS* pamatā ir hidrocilindri, kuri sūknē sālsūdeni un pārvērš to elektriskajā enerģijā. Patlaban (2016. gads) komanda strādā pie sava pēdējā *WM 9.1* prototipa, kura nominālā jauda ir 500kW. Tas tika noenkurots 1km no krasta Larnakas līcī Kiprā un baroja akumulatora lādētāju un apgaismojumu. 50cm viļņos tas ražo 4kW elektroenerģijas (1p. 89. att.) [224].



1p. 89. att. *WaveLine Magnet* [224].



1.108. *Wave Tube WEC*, formerly *Wavebox* (*Vavetube*) 2011. gads

Šis ir patentēts veids enerģijas iegūšanai no okeāna viļņiem. Konceptuālais risinājums ir izolēta sistēma, kura sastāv no trīs paralēliem savstarpēji savienotiem cisternveida nodalījumiem, kuros elektrību ģenerē iekšējā saldūdens plūsma. To izraisa konstrukcijas svārstīšanās vertikālā plaknē, kura paralēla viļņa izplatīšanās virzienam, kurš notiek atšķirīgo ūdens līmeņu iespaidā dažādās viļņa fāzēs. Ūdens no centrālā nodalījuma apakšējās daļas var aiztecēt uz zemāko blakus nodalījumu. Kad struktūra aizsvārstās pretējā virzienā, vārsts bloķē plūsmu uz centrālo-apakšējo nodalījumu. Ūdens var ieplūst tikai centrālajā augšējā nodalījumā, kurš ar apakšējo ir savienota ar zemspiediena turbīnu caurulēm. Rotācija, ko no ūdens plūsmas ģenerē turbīna griež vārpstu, kura ir savienota ar elektroģeneratoru. Tādējādi tiek ģenerēts pulsējošas amplitūdas un mainīgas frekvences maiņspriegums, kurš tiek iztaisnots, stabilizēts un pārraidīts uz krastu tālākai pārveidošanai (1p. 90. att.) [225], [226]. 2013. gadā modelis mērogā 1/25 tika pētīts *Marinet* izmēģinājumos. Atskaite sniegta 2014. gadā.



1p. 90. att. *Vavetube* [225].

V-veida konstrukcijas leņķis un izpletums ir maināms atkarībā no viļņu apstākļiem. *EPS* ir mehāniska un darbojas rotoram tikai rotējot vienā virzienā, kas ļauj ietaupīt uz pludiņu masu. Mehānisms darbojas pēc sprūdrata (“sunīšu”) principa un bez papildus vadības izslēdz mehānismu pretēji vārstu spēku iedarbes gadījumā. *WEPTOS VEP* konstrukcija ļauj to adaptēt noteiktai reakcijas intensitātei uz viļņu iedarbību. Apstākļos, kad viļņu augstums ir neliels un viļņiem ir maz enerģijas, Enerģijas ieguvei jābūt no pēc iespējas plašākas viļņu fronte, kas prasa iespējami lielāku atpļētumu. Apstākļos, kad viļņu augstums ir liels un to enerģija ir ievērojama vai pārmērīga, lai nodrošinātu optimālu enerģijas uztveršanas līmeni un novērstu ģeneratoru pārslodzi, ir nepieciešamas sašaurināt to uztveršanas platumu. *WEPTOS* tehnoloģija automātiski pielāgo konstrukcijas atvērsuma leņķi mainīgiem viļņu apstākļiem, tādējādi nodrošinot optimālu ģeneratora izmantošanu. Vētras padara pārslodzes novēršanu kritiski svarīgu, bet samazināma atvērsuma leņķa dēļ *WEPTOS WEC* konstrukcija neparedz

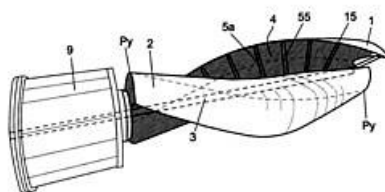


citus līdzekļus izturības palielināšanai. *WEPTOS WEC* ir vienkārša un noturīga trīsstūrveida struktūra, kuras priekšējā daļa ir kustīga. Leņķis tiek noregulēts, ar savilcēm, kuras virzās uz priekšu un atpakaļ. Konstrukcija ir izveidota tā, lai noenkurota, tā pati pozicionētos pret viļņiem. Ziemeļjūrā pie Dānijas ( $\sim 16\text{kW/m}$ ) uzstādīts *WEPTOS* prototips ar atpļētumu 185m. Gadā saražotās enerģijas apjoms sasniegs aptuveni 8,1GWh, un *PTO* jauda ir 1650kW. Tas atbilst kopējam lietderības koeficientam  $\eta = 0,17$  un  $P_{\text{meh.}} 677\text{kW}$ , un tādējādi ļoti augsts noslodzes (*load*) faktors (*LF*) ir 0,39. Salīdzināšanai, caurmēra dāņu vēja turbīnai *LF* ir aptuveni 0,2–0,25.

Uzstādītā prototipa mērogs ietekmē gadā saražoto enerģijas apjomu (*AEP* – annual energy production), jo palielinājums ir 28 % (mēroga koeficients ir 1:30 pret 1:23,4), dubulto *AEP* [226], [227], [228], [229], [230].

#### 1.109. *Ecowave patent (Ecowave Oy) 2006. gads*

*Ecowave* patent izgudrotāji ir Seppo un Mikko Rynänen. Uztvērēju veido spirāles formas uztvērējs, kuru griež viļņi un stāvokli fiksējošs stabilizators. Uztvērējs atgādina pārveidotu Savonija rotoru (1p. 91. att.) [231]. Funkcija tiks apstiprināta Helsinku Tehnoloģiju universitātē, un pirmās praktiskās pārbaudes tiks veiktas 2009. gada vidū. Septembrī kompānija saņem Kimenlaakso Somijas reģiona reģionālās padomes grantu 45 000 EUR apmērā. To izmanto, lai veiktu sākotnējos testus un datormodelēšanu. Lai izveidotu vairāku metru augstās turbīnas prototipu, kurā izmantoti peldoši pontoni, komerciālā mērogā mēģina iegūt finansējumu no privātiem avotiem, bet līdz šim acīmredzami bez panākumiem.



1p. 91. att. *Ecowave patent* [232].

Bez darbā aprakstītajiem prototipiem tika apskatīti vēl deviņdesmit septiņi citi.



## IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

- [1] J. Berins, A. Grickus, A. Kalnacs. „Wave Energy Conversion-Overview and Perspectives”. [http://site-11936.mozfiles.com/files/11936/Wave\\_erngy\\_conversion\\_publication\\_2a.pdf](http://site-11936.mozfiles.com/files/11936/Wave_erngy_conversion_publication_2a.pdf) 2015.
- [2] J. Beriņš, J. Beriņš. “Wave Energy Factors and Development Perspective in Latvia” “56-th Int. Scient. Conf. on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University” (RTUCON), 14 October 2015, (pp. 25-30) Riga.
- [3] Per Holmberg, Magnus Anderson, Bjorn Bolund, Kerstin Strananger (May, 2011). Wave Power, Surveillance study of the development, Elforsk rapport 11: 02
- [4] G. Mork un citi (2010) Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPPC. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge University press
- [5] <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/drafts/Chapter%2006%20SOD.pdf>
- [6] [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Figure\\_5\\_Gross\\_electricity\\_generation\\_from\\_renewable\\_sources\\_EU-28\\_1990-2016.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Figure_5_Gross_electricity_generation_from_renewable_sources_EU-28_1990-2016.png)
- [7] Viļņu enerģijas pārveidošanas iekārtas ilustrācija no žurnāla Power, November 1920.
- [8] "Wave Energy Research and Development at JAMSTEC". Archived from the original on July 1, 2008. Retrieved 2009-12-18.
- [9] James Balog un komanda. Dokumentālā filma “Chasing Ice”. [chasingice.com](http://chasingice.com)
- [10] "World Population Prospects - Population Division - United Nations". [esa.un.org](http://esa.un.org). Retrieved 2016-09-15
- [11] <https://ourfinitemworld.com/2012/03/12/world-energy-consumption-since-1820-in-charts/>
- [12] Department of Civil Engineering, Ghent University, Technologierpark 904, B-9052 Zwijnaarde, Belgium; philip.balitsky@ugent.be (P.B.); vasiliki.stratigaki@UGent.be (V.S.); peter.troch@ugent.be (P.T.)\* Correspondence: [gael.veraofernandez@ugent.be](mailto:gael.veraofernandez@ugent.be); Tel.: +32-9-264-5489; Fax: +32-9-264-5837
- [13] Gael Verao Fernandez, Philip Balitsky, Vasiliki Stratigaki and Peter Troch Coupling Methodology for Studying the Far Field Effects of Wave Energy Converter Arrays over a Varying Bathymetry. 2018. gada 25.oktobris.
- [14] 3 rd International Conference on Ocean Energy, 6 October, 2010, Bilbao 1 The Potential for Wave Energy in the North Sea H.C. Sørensen<sup>1,2</sup> and J. Fernández Chozas<sup>1,3</sup>
- [15] UrbanHenfridsson<sup>a</sup> ViktoriaNeimane<sup>a</sup> KerstinStrand<sup>a</sup> RobertKapper<sup>a</sup> HansBernhoff<sup>b</sup> OskarDanielsson<sup>b</sup> MatsLeijon<sup>b</sup> JanSundberg<sup>b</sup> KarinThorburn<sup>b</sup> EllerthEricsson<sup>c</sup> KarlBergman<sup>c</sup> „Wave energy potential in the Baltic Sea and the Danish part of the North Sea, with reflections on the Skagerrak”. Publicēts: [file:///E:/Users/JanisB/Downloads/energies-10-02170%20\(2\).pdf](file:///E:/Users/JanisB/Downloads/energies-10-02170%20(2).pdf)



- [16] T. Soomere, M. Eelsalu. On the wave energy potential along the eastern Baltic sea coast; Renewable Energy: An International Journal. 2014.
- [17] Avotiņš A., Greivulis J., Kalniņš L. Baltijas jūras potenciāls viļņu enerģijas pārveidošanai. Enerģētika un elektrotehnika. Nr.23, 2008, 213.-224.lpp. ISSN 1407-7345.
- [18]  
[https://www.researchgate.net/publication/274069267\\_Assessing\\_the\\_Global\\_Wave\\_Energy\\_Potential](https://www.researchgate.net/publication/274069267_Assessing_the_Global_Wave_Energy_Potential)
- [19] Egidijus Kasiulis<sup>a</sup>PetrasPunys<sup>a</sup>Jens PeterKofoed<sup>b</sup> „Assessment of theoretical near-shore wave power potential along the Lithuanian coast of the Baltic Sea”; Journal of Water Security, 2015, Vol. 1, jws2015b001. 2015.
- [20] P. Jakabson. Mapping and Assessment of the United States Ocean Wave Energy Electric Power Resursh Institute, TECHNICAL REPORT. 2011., pp.176.
- [21] J. Beriņš, J. Beriņš, A. Kalnačs. „Viļņu enerģijas potenciāla noteikšana Latvijas EEZ”. “Latvijas fizikas un tehnikas žurnāls” 2016. gada 3. Nr.
- [22] Owerwiew of Ocean Wave Statistics., Ch.4 Spectral analisys.  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6034/06.pdf?sequence=7>;
- [23] McCormick, M.E. (2007). Ocean Wave Energy Conversion. New York: Dover Publications Inc.
- [24] MK noteikumi. Nr.779 (17.08.2010.). „Noteikumi par bāzes līniju punktu koordinātēm”.
- [25] A. Zviedris, Datorrealizācijas matemātiskās metodes, Lekciju konspekts, Pārstrādāts un papildināts izdevums, RTU, Rīga 2004.g.78. lpp.
- [26] Owerwiew of Ocean Wave Statistics., Ch.4 Spectral analisys.  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6034/06.pdf?sequence=7>
- [27] DMI Ocean and Ice services, DMI WAM model  
<http://ocean.dmi.dk/models/wam.uk.php>;
- [28] <http://www.ndbc.noaa.gov/measdes.shtml>
- [29] Soomere T., Keevallik S., Anistropy of moderate and strong winds in the Baltic Proper., 35 Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2001, 7, 1, p.35–49;
- [30] DMI Ocean and Ice services, DMI WAM model <http://ocean.dmi.dk/models/wam.uk.php>
- [31] "First Electricity Generation in Portugal".
- [32] "Pelamis Sinks Portugal Wave Power". Cleantech. Archived from the original on March 21, 2009. Retrieved September 15, 2016.
- [33] Fyall, Jenny (May 19, 2010). "600ft 'sea snake' to harness power of Scotland". The Scotsman. Edinburgh. pp. 10–11. Retrieved 2010-05-19.
- [34] James Sturcke (April 26, 2007). "Wave farm wins £21.5m grant". The Guardian. London. Retrieved 2009-04-08.



- [35] Tender problems delaying Wave Hub". BBC News. April 2, 2008. Retrieved 2009-04-08.
- [36] "Go-ahead for £28m Cornish wave farm". *The Guardian*. London. September 17, 2007. Retrieved 2008-10-12
- [37] Scott Macnab (November 2, 2017). "Government's £200m wave energy plan undermined by failures". *The Scotsman*. Retrieved 2017-12-05
- [38] Bombora Wave Power (Bombora Wave Power Pty Ltd)
- [39] mWave
- [40] "Renewable Power from the Ocean's Waves". CETO Wave Power. Retrieved November 9, 2010.
- [41] Keith Orchison (October 7, 2010). "Wave of the future needs investment". *The Australian*. Retrieved November 9, 2010.
- [42] "WA wave energy project turned on to power naval base at Garden Island". *ABC News Online*. Australian Broadcasting Corporation. 18 February 2015. Retrieved 20 February 2015.
- [43] Downing, Louise (February 19, 2015). "Carnegie Connects First Wave Power Machine to Grid in Australia".
- [44] Lockheed Martin, Woodside, Ocean Power Technologies in wave power project, Portland Victoria Wave Farm
- [45] "Oceanlinx 1MW Commercial Wave Energy Demonstrator". ARENA. Retrieved 27 November 2013.
- [46] America's Premiere Wave Power Farm Sets Sail, Reedsport Wave Farm
- [47] US catching up with Europe - Forbes October 3, 2012
- [48] Reedsport project delayed due to early onset of winter weather - OregonLive Oct 2012
- [49] oregonlive.com Oregon wave energy stalls off the coast of Reedsport, 30 August 2013
- [50] Prototype Testing Could Help Prove a Promising Source
- [51] Graham, Karen." First wave-produced power in U.S. goes online in Hawaii" Digital Journal. 19 September 2016. Web Accessed 22 September 2016.
- [52] Eugen Rusu. Evolution of the Wave Energy Conversion Efficiency in Various Coastal Environments, *Energies* 2014, 7.
- [53] V. Jayashankar, K. Mala, S. Kedarnath, J. Jayaraj, U. Omezhilan, V. Krishna. Design of a 100 GWh Wave Energy Plant. World Renewable Energy Congress 2011.
- [54] ITTC. Wave Energy Converter Model test experiments. 04. 2014.
- [55] IRENA. Wave Energy technology Brief. June 2014.
- [56] [http://www.aeea.us/AEEASite/Electricity\\_Option.html](http://www.aeea.us/AEEASite/Electricity_Option.html) (13.12.2017)
- [57] <http://www.boltwavepower.com/?nid=349850&lcid=1033> (26.12.2017)
- [58] <http://www.seewec.org/results/Publishable%20final%20activity%20report.pdf> (26.12.2017)



- [59] <http://www.ecomerittech.com/centipod.php> (02.1.2018)
- [60] <https://www.oceannews.com/news/milestones/aquamarine-power-announces-plans-to-downsize-business> ( 19.01.2018.)
- [61] [https://books.google.lv/books?id=NMW6BQAAQBAJ&pg=PA95&lpg=PA95&dq=OEBuoy&source=bl&ots=77NpCEyJNM&sig=bIX8sg-mnuzk8DCihWKkyl1kjrA&hl=lv&sa=X&ei=\\_WUeVZ2RBMHiaJ-FgcAN&ved=0CEUQ6AEwBTgK#v=onepage&q=OEBuoy&f=false](https://books.google.lv/books?id=NMW6BQAAQBAJ&pg=PA95&lpg=PA95&dq=OEBuoy&source=bl&ots=77NpCEyJNM&sig=bIX8sg-mnuzk8DCihWKkyl1kjrA&hl=lv&sa=X&ei=_WUeVZ2RBMHiaJ-FgcAN&ved=0CEUQ6AEwBTgK#v=onepage&q=OEBuoy&f=false) ( 01.01.2018.)
- [62] <http://www.weptos.com/wp-content/uploads/2012/07/OMAE2012-83751-WEPTOS-Paper.pdf> (08.01.2018.)
- [63] [https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1648834&HistoricalAwards=false](https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1648834&HistoricalAwards=false) (02.1.2018)
- [64] <https://waveenergyprize.org/teams/> (02.1.2018)
- [65] <http://www.awsocan.com/flexible-wave-power.html> (10.01.2018.)
- [66] <https://wello.eu/the-penguin/technology/>
- [67] <https://www.oist.jp/news-center/news/2017/9/20/sustainable-future-powered-sea> ( 01.01.2018)
- [68] <http://www.ihctidalenergy.com/projects/>
- [69] J. Beriņš, J. Beriņš. Measurements Of Wave Power In Wave Energy Converters Effectiveness Evalution, Latvijas fizikas un tehnikas žurnāls, 2017, Nr. 4
- [70] <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/valuation/npv-formula/>
- [71] <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf>
- [72] Vivek S. Borkar. Probability Theory: An Advanced Course. Springer, New York, NY, 1995.
- [73] Agnis Andžāns, Jānis Čakste, Tomass Larfelds, Līga Ramāna, Mārīte Seile. Vidējās vērtības metode.
- [74] <http://www.resolutemarine.com/news/2010/02> (25.12.2017)
- [75] <https://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1079615> (25.12.2017)
- [76] <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/370/1959/481> (25.12.2017)
- [77] <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc828012/> (25.12.2017)
- [78] <https://www.theengineer.co.uk/issues/11-january-2010/swell-development/> (25.12.2017)
- [79] <https://waveenergyprize.org/teams/aimmer-marine-energy> (25.12.2017)
- [80] [http://en.openei.org/wiki/MHK\\_Technologies/AirWEC](http://en.openei.org/wiki/MHK_Technologies/AirWEC) (25.12.2017)
- [81] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/WEC\\_PTO\\_modeltest\\_UNI-STRATH-1.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/WEC_PTO_modeltest_UNI-STRATH-1.pdf) (25.12.2017)
- [82] [http://www.piposystems.com/sistemaapspisys\\_en.html](http://www.piposystems.com/sistemaapspisys_en.html) (26.12.2017)



- [83] [http://en.openei.org/wiki/MHK\\_Projects/Makah\\_Bay\\_Offshore\\_Wave\\_Pilot\\_Project](http://en.openei.org/wiki/MHK_Projects/Makah_Bay_Offshore_Wave_Pilot_Project) (26.12.2017)
- [84] [http://www.theregister.co.uk/2007/11/09/aquabuoy\\_wave\\_power\\_renewable\\_sinks/](http://www.theregister.co.uk/2007/11/09/aquabuoy_wave_power_renewable_sinks/) (26.12.2017)
- [85] <http://www.newswire.ca/news-releases/finavera-renewables-announces-sale-of-ocean-energy-division-and-aquabuoytechnology-544571122.html> (26.12.2017)
- [86] <https://waveenergyprize.org/teams/aquaharmonics> (29.12.2017)
- [87] <https://waveenergyprize.org/teams/aqua-shift>
- [88] <https://tidalenergytoday.com/2016/03/01/video-awecs-wave-energy-converter/> (29.12.2017)
- [89] <http://www.4cengineering.co.uk/case-studies/aws-ocean-energy-technology-demonstrator/> (29.12.2017)
- [90] <http://subseaworldnews.com/2014/07/22/aws-iii-wave-power-generator-successfully-tested/> (29.12.2017)
- [91] [http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs\\_2013\\_list.pdf](http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs_2013_list.pdf) (26.12.2017)
- [92] <http://www.seewec.org/> (26.12.2017)
- [93] <http://docplayer.net/61682775-Wavegen-publishable-final-activity-report.html> (26.12.2017)
- [94] <http://www.boltwavepower.com/?nid=349863&lcid=1033> (26.12.2017)
- [95] <http://www.mdpi.com/2076-3417/3/2/420/htm> (27.12.2017)
- [96] [http://en.openei.org/wiki/MHK\\_Technologies/Under\\_Bottom\\_Wave\\_Generator](http://en.openei.org/wiki/MHK_Technologies/Under_Bottom_Wave_Generator) (27.12.2017)
- [97] [http://brandlmotor.de/brandlgenerator\\_eng.htm](http://brandlmotor.de/brandlgenerator_eng.htm) (27.12.2017)
- [98] [http://en.openei.org/wiki/MHK\\_Technologies/Brandl\\_Generator](http://en.openei.org/wiki/MHK_Technologies/Brandl_Generator) (27.12.2017)
- [99] <http://www.seewec.org/pictures.html> (08.01.2016)
- [100] <http://www.proteanenergy.com/Technology/Wave-Energy-Converter> (02.01.2018.)
- [101] <http://www.powerengineeringint.com/articles/2015/03/world-s-first-grid-connected-wave-power-station-activated-in-australia.html> (02.01.2018)
- [102] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/CETO\\_Hydrodynamics\\_UEDIN.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/CETO_Hydrodynamics_UEDIN.pdf) (08.01.2018)
- [103] [http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com\\_contenido&task=viewNoticia&id=14727](http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com_contenido&task=viewNoticia&id=14727) (04.1.2018)
- [104] [http://www.fp7-marinet.eu/access\\_completed-projects\\_costas\\_wave.html](http://www.fp7-marinet.eu/access_completed-projects_costas_wave.html) (08.01.2016)
- [105] [http://www.fp7-marinet.eu/public/docs/Infrastructure\\_Access\\_Report\\_COSTAS\\_WAVE.pdf](http://www.fp7-marinet.eu/public/docs/Infrastructure_Access_Report_COSTAS_WAVE.pdf) (08.01.2016)



- [106] [http://www.fp7-marinet.eu/public/docs/HiWave\\_ECN\\_infrastructure\\_access\\_report.pdf](http://www.fp7-marinet.eu/public/docs/HiWave_ECN_infrastructure_access_report.pdf) (08.01.2016)
- [107] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/HiWave\\_ECN\\_infrastructure\\_access\\_report.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/HiWave_ECN_infrastructure_access_report.pdf) (08.01.2016)
- [108] <http://www.corpowerocean.com/corpower-technology/corpower-wave-energy-converter/> (08.01.2016)
- [109] [http://en.openei.org/wiki/MHK\\_Technologies/The\\_Crestwing\\_Wave\\_Energy\\_Converter](http://en.openei.org/wiki/MHK_Technologies/The_Crestwing_Wave_Energy_Converter) (04.1.2018)
- [110] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/CyanWave4-QUB\\_Infrastructure\\_Access\\_Report-1.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/CyanWave4-QUB_Infrastructure_Access_Report-1.pdf) (14.01.2018)
- [111] <http://www.google.com/patents/US7686583> (09.01.2018)
- [112] <http://www.docstoc.com/docs/118669262/Cyclical-Wave-Energy-Converter---Patent-8100650> (09.01.2018)
- [113] <http://www.dexawave.com/philosophy.html> (08.01.2018.)
- [114] <http://www.offshorewind.biz/2012/03/20/denmark-dexawave-receives-usd-178-million-grant/> (08.01.2018.)
- [115] <http://www.tvmidtvest.dk/indhold/boelgeenergi-forsoeget-fortsætter/>
- [116] <http://nnmrec.oregonstate.edu/announcement/m3-wave-announces-successful-deployment-submerged-wave-energy-device-oregon-coast> (08.01.2018.)
- [117] <https://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/46964/CollinsErinM2014.pdf?sequence=1> (08.01.2018.)
- [118] [http://english.giec.cas.cn/rh/rp/201304/t20130428\\_101448.html](http://english.giec.cas.cn/rh/rp/201304/t20130428_101448.html) (08.01.2018.)
- [119] <http://www.puremarinegen.com/technology-r-d-2.html> (08.01.2018.)
- [120] <http://www.amioceanpower.com/systemconfigurations.html> (08.01.2018.)
- [121] [http://www.avinc.com/engineering/marine\\_energy](http://www.avinc.com/engineering/marine_energy) (09.01.2018.)
- [122] <https://www.google.com/patents/US6756695> (11.01.2018.)
- [123] <http://www.abletechnologiesllc.com/egwap.htm> (09.01.2018.)
- [124] <http://www.techconnectworld.com/World2014/participate/innovation/pop.html?id=109> (09.01.2018.)
- [125] [http://centercut.blogspot.com/2009\\_06\\_01\\_archive.html](http://centercut.blogspot.com/2009_06_01_archive.html) (09.01.2018.)
- [126] [http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs\\_2013\\_list.pdf](http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs_2013_list.pdf) (09.01.2018.)
- [127] [https://www.revolvy.com/main/index.php?s=Energen\\_Wave\\_Power&stype=videos](https://www.revolvy.com/main/index.php?s=Energen_Wave_Power&stype=videos) (09.01.2018.)
- [128] [http://www.etymol.com/downloads/etymol\\_brochure\\_english.pdf](http://www.etymol.com/downloads/etymol_brochure_english.pdf) (10.01.2018.)



- [129] [http://www.buch-der-synergie.de/c\\_neu\\_html/c\\_06\\_08\\_wasser\\_wellenenergie\\_d\\_bis\\_norwegen.htm](http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_06_08_wasser_wellenenergie_d_bis_norwegen.htm)
- [130] <https://sea-technology.com/features/2014/0514/7.php> (10.01.2018.)
- [131] <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=2656029>
- [132] Leirbukt, A. and Tubaas, P., 2006. A wave of renewable energy. ABB Review. **3**, 29-31.
- [133] [http://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&ved=0CB0QFjAAOAqFQoTCJmwmvnmLMYCFWrhcgodkBAJBg&url=http%3A%2F%2Fwww.vliz.be%2Fimisdocs%2Fpublications%2F220173.pdf&ei=p2WAVdnAPOrCywOQoaQw&usg=AFQjCNHhx9rn-7yb\\_0ejFA6KG64zw8XSsA&sig2=g\\_fmGY\\_bXEGxvs6Z-X--2Q&bvm=bv.96041959,d.bGQ](http://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&ved=0CB0QFjAAOAqFQoTCJmwmvnmLMYCFWrhcgodkBAJBg&url=http%3A%2F%2Fwww.vliz.be%2Fimisdocs%2Fpublications%2F220173.pdf&ei=p2WAVdnAPOrCywOQoaQw&usg=AFQjCNHhx9rn-7yb_0ejFA6KG64zw8XSsA&sig2=g_fmGY_bXEGxvs6Z-X--2Q&bvm=bv.96041959,d.bGQ)
- [134] [http://www.vegvesen.no/\\_attachment/328174/binary/575806?fast\\_title=Technology+survey+for+renewable+energy+integrated+to+bridge+constructions%3A+Wave+and+tidal+energy.pdf](http://www.vegvesen.no/_attachment/328174/binary/575806?fast_title=Technology+survey+for+renewable+energy+integrated+to+bridge+constructions%3A+Wave+and+tidal+energy.pdf)
- [135] [http://en.openei.org/wiki/MHK\\_Technologies/Gentec\\_WATS\\_System](http://en.openei.org/wiki/MHK_Technologies/Gentec_WATS_System)
- [136] <http://www.cleantechinvestor.com/portal/greenheat-systems-ltd.html>
- [137] <https://waveenergyprize.org/teams/greenfield-technologies-llc>
- [138] <http://www.illawarramercury.com.au/story/1628263/ocean-erodes-ports-abandoned-wave-generator/#slide=2>
- [139] <http://www.adelaidenow.com.au/business/a-wave-generator-sunk-off-carrickalinga-beach-will-cost-3-million-to-clean-up/story-fni6uma6-1227166451746>
- [140] <http://www.austrade.gov.au/MultiMediaFiles/Clean-Energy-and-Environment-Directory/files/assets/seo/page173.html>
- [141] [http://en.openei.org/wiki/MHK\\_Projects/Port\\_Kembla](http://en.openei.org/wiki/MHK_Projects/Port_Kembla)
- [142] <https://waveenergyprize.org/teams/gyro-gen-tm>
- [143] <http://paradymeusa.com/>
- [144] [https://openei.org/wiki/MHK\\_Technologies/GyroWaveGen](https://openei.org/wiki/MHK_Technologies/GyroWaveGen)
- [145] <http://iea-ret.d.org/wp-content/uploads/2011/09/ADORET-Final-Report-2011-2-Main.pdf>
- [146] <http://www.theengineer.co.uk/news/live-marine-muscle/309316.article#ixzz3WbxQIIRG>
- [147] <http://www.aws ocean.com/active-mooring.html> (13.01.2018.)
- [148] <https://tidalenergytoday.com/2015/02/10/fishing-boat-turned-into-wave-energy-plant/>
- [149] Study of the Intention wave energy converter, PhD Jørgen Hals, Sintef MARINTEK, 2011. Report for Intention.
- [150] <http://openwaveenergy.org/all-owep-news/431-marinet-test-of-iowep-at-aa-denmark.html> (14.01.2018.)



- [151] <https://waveenergyprize.org/teams/iowec> (14.01.2018.)
- [152] <https://www.linkedin.com/pulse/wave-energy-prize-stefano-brizzolara> (14.01.2018.)
- [153] Study of the Intention wave energy converter, PhD Jørgen Hals, Sintef MARINTEK, 2011. Report for Intention.
- [154] <http://openwaveenergy.org/all-owep-news/431-marinet-test-of-iowep-at-aau-denmark.html> (14.01.2018.)
- [155] <http://web.b.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=20763417&AN=120994833&h=4OvuquF7uwCXdLsEECPUPveTpbXMzDOrEk8Jzvfhp5n9DVXeQ7MdJfqGskxjggusJWmC9nlxQlt7Q4QBDPx55g%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrINotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d20763417%26AN%3d120994833> (14.01.2018.)
- [156] <http://www.ips-ab.com/Working%20principle.htm> (14.01.2018.)
- [157] <http://www.jospa.ie/the-concept.html> (14.01.2018.)
- [158] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/ISWEC\\_HMRC.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/ISWEC_HMRC.pdf) (14.01.2018.)
- [159] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/Wavetrain\\_HMRC\\_Infrastructure\\_Access\\_Report-1.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/Wavetrain_HMRC_Infrastructure_Access_Report-1.pdf) (05.01.2018)
- [160] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/KNSWING\\_HMRC\\_Infrastructure\\_Access\\_Report-1.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/KNSWING_HMRC_Infrastructure_Access_Report-1.pdf) (06.01.2018.)
- [161] <https://link.springer.com/article/10.1007/s40722-015-0032-4> (06.01.2018.)
- [162] <https://www.peacelink.it/ecologia/docs/4942.pdf> (06.01.2018.)
- [163] [http://orbit.dtu.dk/files/119986039/Linearized\\_potential\\_flow\\_analysis\\_of\\_a\\_40\\_chamber\\_oscillating\\_water\\_column\\_wave\\_energy\\_device.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/119986039/Linearized_potential_flow_analysis_of_a_40_chamber_oscillating_water_column_wave_energy_device.pdf) (06.01.2018.)
- [164] [http://www.buch-der-synergie.de/c\\_neu\\_html/c\\_06\\_09\\_wasser\\_wellenenergie\\_port\\_bis\\_grenzen.htm](http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_06_09_wasser_wellenenergie_port_bis_grenzen.htm)
- [165] <https://tidalenergytoday.com/2017/02/07/interview-laminaria-gears-up-to-take-wave-sector-by-storm/> (13.01.2018.)
- [166] <http://leviathanenergy.com/technology/wave-energy/> (13.01.2018.)
- [167] <http://www.reuk.co.uk/wordpress/wave/manchester-bobber-wave-power/>
- [168] <http://www.ccell.co.uk/technology.html>
- [169] <https://www.tecnalia.com/en/energy-and-environment/news/oceantec-deployed-at-bimep-its-first-wave-energy-converter.htm> (15.01.2018.)
- [170] <https://waveenergyprize.org/teams/maruthi-power> (15.01.2018.)



[171] <https://baonguyen1994.wordpress.com/introduction-to-wave-energy/ocean-wave-technologies/attenuators/mccabe-wave-pump/> (15.01.2018.)

[172] <http://oceanenergysys.com/index.cfm?ref=30150> (15.01.2018.)

[173] <http://www.sigma-energy.si/technology-2/> (15.01.2018.)

[174] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/SigMAR\\_IFREMER\\_Infrastructure\\_Access\\_Report-1.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/SigMAR_IFREMER_Infrastructure_Access_Report-1.pdf) (15.01.2018.)

[175] <https://vtnews.vt.edu/articles/2016/03/032316-me-waveharvest.html>

[176] [https://openei.org/wiki/MHK\\_Technologies/Magnetohydrodynamic\\_MHD\\_Wave\\_Energy\\_Converter\\_MWEC](https://openei.org/wiki/MHK_Technologies/Magnetohydrodynamic_MHD_Wave_Energy_Converter_MWEC) (15.01.2018.)

[177] [http://www.buch-der-synergie.de/c\\_neu\\_html/c\\_06\\_09\\_wasser\\_wellenenergie\\_port\\_bis\\_grenzen.htm](http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_06_09_wasser_wellenenergie_port_bis_grenzen.htm) (15.01.2018.)

[178] <https://www.google.com/patents/US7821150> (15.01.2018.)

[179] <http://www.motorwavegroup.com/motorwavegroupwebsite/powergenproject.pdf>

[180] [http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/england/cornwall/8408984.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/cornwall/8408984.stm) (15.01.2018.)

[181] <https://waveenergyprize.wordpress.com/2015/10/22/team-technical-summaries/>

[182] <http://www.power-technology.com/projects/mutriku-wave/>

[183] <http://www.renewable-technology.com/projects/mutriku-wave-energy-plant/>

[184] <http://www.ft.com/cms/s/0/240b274c-6e89-11e1-a82d-00144feab49a.html#axzz3X4ypKhcs>

[185] <http://www.renewable-technology.com/projects/mutriku-wave-energy-plant/>

[186] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/NEMOS\\_AAU\\_Infrastructure\\_Access\\_Report-1.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/NEMOS_AAU_Infrastructure_Access_Report-1.pdf) (06.01.2018.)

[187] <http://www.neptunerenewableenergy.com/wave-technology-the-neptune-triton-device/> (31.12.17)

[188] <http://www.innoenergy.com/neptune-project-tests-its-buoy-at-sea/> (17.01.2018)

[189] <http://www.mermaidpower.com/present> (17.01.2018)

[190] <http://www.neptunewavepower.com/index.php/technology/index.html> (01.01.2018)

[191] [http://www.neptunewavepower.com/index.php/technology/page/model\\_3.1/index.html](http://www.neptunewavepower.com/index.php/technology/page/model_3.1/index.html) (17.01.2018)

[192] <http://www.re-vision.net/projects.shtml> (01.01.2018)

[193] <https://waveenergyprize.org/teams/next-gen.php> (01.01.2018)

[194] <https://waveenergyprize.org/teams/nm-aggie-waves> (17.01.2018)

[195] <http://www.noddingbeam.com/wave-power-technology>

[196] [http://www.buch-der-synergie.de/c\\_neu\\_html/c\\_06\\_09\\_wasser\\_wellenenergie\\_port\\_bis\\_grenzen.htm](http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_06_09_wasser_wellenenergie_port_bis_grenzen.htm) (17.01.2018)



- [197] <http://www.freshwatercleveland.com/innovationnews/tremontelectric102011.aspx> (17.01.2018)
- [198] <http://www.oceanharvesting.com> (under construction) (17.01.2018)
- [199]. [http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs\\_2013\\_list.pdf](http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs_2013_list.pdf) (17.01.2018)
- [200] [www.kineticsocean.com](http://www.kineticsocean.com)
- [201] <https://waveenergyprize.org/teams/ocean-lab> (17.01.2018)
- [202] <https://www.google.com/patents/US6756695> (17.01.2018)
- [203] <https://www.google.com/patents/US20130147199> (17.01.2018)
- [204] Yeung, R. W. & Ananthakrishnan, P. A. (1997), "Viscosity and Surface-Tension Effects on Wave Generation by a Translating Body", *Journal of Engineering Mathematics*, 32 (2-3): 257–280
- [205] Fernandez, D.; Moreu, J.; Guzman, J.; Yeung, R. W. & Moreu, M. (2014), "Numerical Simulations in the Design of a New Tension-Tethered Marine Current Turbine", *Proceedings, ASME 33rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE2014)*, Paper Number OMAE2014-24382, San Francisco, CA
- [206] <http://oceanmotionintl.com/> (17.01.2018)
- [207] [https://openei.org/wiki/MHK\\_Technologies/OMI\\_Combined\\_Energy\\_System](https://openei.org/wiki/MHK_Technologies/OMI_Combined_Energy_System) (17.01.2018)
- [208] <http://www.google.mg/patents/US7525212> (17.01.2018)
- [209] <http://seatricity.com/technology/> ( 18.01.2018.)
- [210] [http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs\\_2013\\_list.pdf](http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs_2013_list.pdf) ( 19.01.2018., skatīt OWEC)
- [211] <http://www.owec.com/inception.html#development> ( 19.01.2018.)
- [212] <http://www.owec.com/Patent-8810056.pdf> ( 19.01.2018.)
- [213] <http://www.owec.com/Patent-4232230.pdf> ( 19.01.2018.)
- [214] <http://personal.maths.surrey.ac.uk/st/T.Bridges/OWEL/> ( 19.01.2018.)
- [215] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/OWEL\\_MARINET\\_Infrastructure\\_Access\\_Report-1.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/OWEL_MARINET_Infrastructure_Access_Report-1.pdf) (19.01.2018.)
- [216] <http://personal.maths.surrey.ac.uk/st/T.Bridges/OWEL/> ( 19.01.2018.)
- [217] <https://www.pelamiswave.com/pelamis-technology/> ( 19.01.2018.)
- [218] [http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs\\_2013\\_list.pdf](http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs_2013_list.pdf) (20.01.2018. 62.lpp.)
- [219] <https://icce-ojs-tamu.tdl.org/icce/index.php/icce/article/viewFile/5573/5247> ( 19.01.2018.)
- [220] <https://www.wavehub.co.uk/latest-news/wello-testing-15-scale-penguin-device-at-plocan> ( 19.01.2018.)



- [221] <http://coastalenergyandenvironment.web.unc.edu/ocean-energy-generating-technologies/wave-energy/anaconda-wave-converter-device-research/> (29.12.2017)
- [222] <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/370/1959/403.full.pdf> (29.12.2017)
- [223] <http://www.biopowersystems.com> (26.12.2017)
- [224] <http://www.biopowersystems.com/port-fairy.html> (26.12.2017)
- [225] <http://www.bomborawavepower.com.au> (27.12.2017)
- [226] <http://bomborawavepower.com.au/technical/overall-features/> (27.12.2017)
- [227] <http://www.theswitchreport.com.au/business/bombora-wave-power/>
- [228] <https://www.slideshare.net/ireyzer/wave-energy-31936954> (31.12.17)
- [229] [https://www.researchgate.net/publication/275345702\\_The\\_New\\_Bristol\\_Cylinder\\_A\\_sub](https://www.researchgate.net/publication/275345702_The_New_Bristol_Cylinder_A_sub)
- [230] <http://oregonwave.org/oceanic/wp-content/uploads/2014/10/Oregon-Incubator-Stefan-Seigel.pdf> (08.01.2018.)
- [231] [http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs\\_2013\\_list.pdf](http://www.crses.sun.ac.za/files/technologies/ocean/WECs_2013_list.pdf) (10.01.2018.)
- [232] <https://www.etde.org/etdeweb/servlets/purl/1061484/1061484.pdf> (08.01.2018.)
- [233] <http://oregonwave.org/oceanic/wp-content/uploads/2014/10/Oregon-Incubator-Stefan-Seigel.pdf> (08.01.2018.)
- [234] <http://www.renewablesinternational.net/new-type-of-wave-energy-device-prepares-for-launch/150/407/30058> (08.01.2018.)
- [235] <https://marineenergy.biz/2018/05/02/carnegie-wraps-up-ceto-6-wave-tank-testing/> (02.05.2018.)
- [236] <http://www.google.com/gi/patents/US7315092>
- [237] <http://www.alternative-energy-news.info/kymogen-wave-energy/> (13.01.2018.)
- [238] <http://www.energyisland.com/projects/lilypad/lilypad.html> (13.01.2018.)
- [239] <http://www.resenwaves.com/default.asp?Action=Menu&Item=82>
- [240] <http://www.moceanenergy.com/technology.html> (15.01.2018.)
- [241] <http://www.moceanenergy.com/team.html> (15.01.2018.)
- [242] <http://www.inabensa.com/web/en/innovacion/innovacion/proyectos/ProyectoWavebuoy.html> (01.01.2018.)
- [243] <https://eeagrants.org/project-portal/project/ES02-0169> (01.01.2018.)
- [244] <http://www.rotarywave.com/en/projects/> (24.01.2018.)
- [245] [https://www.researchgate.net/publication/279806325\\_Conceptual\\_study\\_of\\_a\\_drag\\_type\\_water\\_turbine\\_for\\_electricity\\_generation\\_from\\_wave\\_power?\\_sg=xqv5XcMO7oBIDVXiEGaTvNnvU3jY1-VyvkS3IGRRy9MhONHvTM8nc99oFkyLTjr2X5S99rzL0A](https://www.researchgate.net/publication/279806325_Conceptual_study_of_a_drag_type_water_turbine_for_electricity_generation_from_wave_power?_sg=xqv5XcMO7oBIDVXiEGaTvNnvU3jY1-VyvkS3IGRRy9MhONHvTM8nc99oFkyLTjr2X5S99rzL0A)



- [246] [https://ipfs.io/ipfs/QmXoyvizjW3WknFiJnKLwHCnL72vedxjQkDDP1mXWo6uco/wiki/Salter's\\_duck.html](https://ipfs.io/ipfs/QmXoyvizjW3WknFiJnKLwHCnL72vedxjQkDDP1mXWo6uco/wiki/Salter's_duck.html) (24.01.2018.)
- [247] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/RI-Access-Report-W2P-Performance-Test\\_submitted-1.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/RI-Access-Report-W2P-Performance-Test_submitted-1.pdf) (06.01.2018.)
- [248] <http://swel.eu/technology/> (12.02.2018.)
- [249] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/WaveTube-WEC\\_AAU\\_Infrastructure\\_Access\\_Report-1.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/WaveTube-WEC_AAU_Infrastructure_Access_Report-1.pdf) (07.01.2018.)
- [250] <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:552195/FULLTEXT01.pdf> (07.01.2018.)
- [251] Arthur Pecher, Jens Peter Kofojed and Tommy Larsen. "Design specifications for Hanstholm VEPTOS Wave Energy Converter", *Energies*, 2012.5., pp. 1001-1017.
- [252] [http://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CDUQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.mdpi.com%2F1996-1073%2F5%2F4%2F1001%2Fpdf&ei=uRRBVfCaKoWvsQG1iIHodw&usg=AFQjCNHSSlHvfPAteZ5hkutbKQmes7UiDQ&sig2=LQZX5N-QK-ZCMTIFh0\\_dGQ&bvm=bv.91665533,d.bGg](http://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CDUQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.mdpi.com%2F1996-1073%2F5%2F4%2F1001%2Fpdf&ei=uRRBVfCaKoWvsQG1iIHodw&usg=AFQjCNHSSlHvfPAteZ5hkutbKQmes7UiDQ&sig2=LQZX5N-QK-ZCMTIFh0_dGQ&bvm=bv.91665533,d.bGg) (08.01.2018.)
- [253] <http://www.weptos.com/wp-content/uploads/2012/07/OMAE2012-83751-WEPTOS-Paper.pdf> (08.01.2018.)
- [254] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/AAU\\_WEC\\_UEDIN.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/AAU_WEC_UEDIN.pdf) (08.01.2018.)
- [255] [http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/AAU\\_WEC\\_UEDIN.pdf](http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/AAU_WEC_UEDIN.pdf) (09.01.2018.)
- [256] <http://www.rotarywave.com/en/projects/> (19.02.2018.)
- [257] Z. Radziņš, V. Zars. *Hidrauliskās mašīnas un mehānismi*. Latvijas Valsts izdevniecība, 1964. gads, 510. lpp.