

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Gytis Pleskūnas

BALTIJOS JŪROS VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO  
GALIMYBIŲ STUDIJA

Magistro darbas

**Vadovas**

doc. dr. E. Nevardauskas

ŠIAULIAI, 2011

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

**TVIRTINU:**  
Katedros vedėjas  
dr. G. Valiulis

2011-06

BALTIJOS JŪROS VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO  
GALIMYBIŲ STUDIJA

Energetikos inžinerijos magistro darbas

**Recenzentas**  
lekt. M. Rauchas

2011 06

**Vadovas**

doc. dr. E. Nevardauskas

2011 06

**Atliko**

EM-9 gr. stud.  
G.Pleskūnas

2011 06

ŠIAULIAI, 2011

Pleskūnas Gytis. Baltijos jūros vėjo elektrinių galimybių studija:

Magistro darbas/ vadovas doc.dr.E.Nevardauskas; Šiaulių universitetas Technologijos fakultetas, Elektros inžinerijos katedra. – Šiauliai, 2011.

## SANTRAUKA

Brangstant iškastiniam kurui, vėjo elektrinių ir jų parkų statymas ir prijungimas prie elektros tinklų šiuo metu darosi labai aktuali tema. Lietuvoje vis plačiau, ne tik pajūryje, yra statomos ir prijungiamos vėjo elektrinės ir jų parkai.

Mano darbo tikslas yra ištirti vėjo elektrinių parko Baltijos jūroje Lietuvos respublikos teritorijoje, prijungimo prie elektros tinklų galimybes, kas įtakoja jų prijungimo galimybes.

Darbe ištirta šiuo metu aktuali Baltijos jūros vėjo elektrinių parko statybos galimybė. Parinktoje teritorijoje suprojektuotas vėjo elektrinių parko išdėstymas, numatyta prijungimo prie esamų perdavimo tinklų prijungimo galimybė.

Palyginti parkų išorinio prijungimo schemų variantai, bei išnagrinėtos jūros vėjo energetikos prijungimo prie krante esančių elektros tinklų problemos.

Numatytos tolimesnių tyrimų kryptys.

Pleskūnas G. The Workshop of Possibilities of Wind Power Station in Baltic Sea: Master's Degree Work / the Advisor: assoc. prof. dr. E. Nevardauskas; Šiauliai University, the Faculty of Technology, the Department of Electric Engineering. – Šiauliai, 2011.

## SUMMARY

Together with the increasing price of the fossil fuel, construction of wind power-stations and their parks as well as their connection to electrical networks has become a relevant topic. In Lithuania, wind power-stations and their parks have been constructed and connected not only in the seaside.

The aim of my Work is to analyze possibilities of the wind power-stations' park in the Baltic sea in the territory of the Republic of Lithuania, their connection to electrical networks and influencing factors.

The Work analyses the relevant possibility of constructing the Baltic park of the sea wind power-stations. The selected theory projected the arrangement of the park of wind power-stations; the possibility of connection to the existing transmission networks was defined.

Variants of external connection schemes have been compared and problems of connecting the sea wind energetic to electrical networks in the coastline have been analyzed.

Further Survey aspects have been projected.

## **Paveikslėlių sąrašas:**

1.pav. Vėjo greitis: a) jūroje, b) sausumoje .....	12
2 pav. Baltijos jūros Lietuvos išskirtinė ekonominė zonos užimtumas .....	14
3 pav. Lietuvos prikrantės jūros gyliai.....	15
4.pav. Jūros dugno geologinė sandara. ....	16
5 pav. Vidutinis bangų aukštis priklausomai nuo vėjo greičio. ....	17
6 pav. VE prijungimas prie 330kV tinklo planas: a) viena jūrinė pastotis. B) dvi jūrinės pastotys. 21	
7 pav. VE prijungimo prie Lietuvos elektros tinklo galimas variantas.....	22
8 pav. Kabelis XLPE-AL-LRT .....	28
9 pav. Ekvivalentinė jungimo schema .....	29
10 pav.Vėjo elektrinės prijungimo schema[7]. ....	34
11 pav.Vėjo elektrinių parko prijungimo prie elektros tinklo schemas.....	35
12pav. Jūrinės pastoties maketas .....	37
13 pav.Vėjo elektrinės generatoriaus išjungimo ir įjungimo akimirksniai[10] .....	40
14 pav. Enercom e-126 galios kreivė ir galios koeficientas .....	43
15 pav. Vėjo elektrinės pagaminamos elektros energijos charakteristika. ....	45
16 pav. Vėjo stiprumas jūroje Lietuvos teritorijoje. ....	45
17 pav. VE parkų atsiperkamumas. ....	47

## Lentelių sąrašas:

1. Vidutinis sezoninis bangų aukštis atviroje jūroje priklausomai nuo vėjo greičio .....	16
2. Bangų aukštis .....	18
3. Vėjo elektrinių parkų galimos galios Baltijos jūroje Lietuvos teritorijoje .....	20
4. Preliminarios išlaidos Darbėnų 330 kV skirstykloje, jungimas kvadratu .....	24
5. Preliminarios išlaidos Darbėnų 330 kV skirstykloje, jungimas vienišynė nesekcionuota elektrinių sujingimų schema .....	25
6. Variantų apibendrinimas. ....	25
7. Jūrinės pastoties įrengimai. ....	37
8. Vėjo elektrinių parko apsaugų nuo vidinių pažeidimų nustatymai .....	39
9. Vėjo elektrinės išjungimo kriterijai .....	39
10. Žemės paviršiaus šiurkštumo klasės ir laipsnio rodikliai .....	42
11. Veibulo formos orientacinis parametras nuo aukščio 10 lentelė .....	42
12. Vėjo elektrinės gamintojo parametrai ir vietovės meteorologiniai duomenys .....	43
13. Apskaičiuotas veibulo skalės parametras .....	43
14. Vėjo greičių pasiskirstymas valandomis, pagaminamos elektros energijos kiekiai tam tikriems vėjo greičiams .....	44

# Turinys

Turinys .....	7
Įžanga .....	8
1. Jūroje statomų vėjo elektrinių vystymosi apžvalga ir perspektyvos.....	10
2. Lietuvos priekrančių vėjo elektrinėms statyti galimybės.....	12
3. (Konkrečios vietos pavadinimas) vėjo elektrinių parko vietos ir galios parinkimas. ....	19
4. Konkretaus vėjo elektrinių parko išorinio prijungimo schemos ir tinklo parinkimo variantų palyginimas. ....	22
5. Parko vidinių sujungimų schemos ir pastotės parinkimas. ....	32
Prijungimo schemos tipai.....	32
6. Jūrinėje platformoje įrengtos pastotės aprašas.....	36
7. Valdymo ir apsaugų sistemų parinkimas .....	38
8. Jūrinio vėjo elektrinių parko finansinio atsiperkamumo skaičiavimai. ....	41
9. Išvados. ....	48
10. Literatūra.....	49
Priedai .....	50

## Ižanga

Šio darbo tikslas yra atlikti Baltijos jūros vėjo elektrinių parko galimybių studiją.

Vėjo energija – vėjo kaip oro judėjimo energija. Apskaičiuota, kad 1-3% Žemę pasiekiančios Saulės energijos virsta vėjo energija. Tai 50-100 kartų daugiau už energijos kiekį, fotosintezės dėka pereinantį į biomasės energiją. Didžioji dalis tos energijos pasireiškia aukštuosiuose oro sluoksniuose, kur nuolat pučia ~160 km/val. greičio vėjai. Galų gale vėjo energija dėl oro trinties virsta oro šiluma

Vėjo energiją pastarąjį dešimtmetį pradėta vertinti, kaip nacionalinį kiekvienos šalies turta, lygiai taip pat kaip organinio kuro (naftos, dujų) išteklius. Šie energijos resursai, skirtingai negu organinio kuro, yra neišsiankantys. Jų panaudojimas duoda didelę ekologinę, socialinę ir politinę naudą, o artimoje ateityje teks ir neabejotiną ekonominę naudą.

Šiandien aukščiausio rango pasaulio politikai iš tribūnų kalba apie tai, kad sistemą energetikoje reikia keisti, antraip planetai teks patirti katastrofines pasekmes. Žalioji energija, kuri laiką laikyta tik entuziastų prasimanymu, tampa vis patrauklesnė stambiojo verslo investicijoms.

Ekspertų nuomone, žemyninėje Lietuvos dalyje realus vėjo elektrinių potencialas gali būti daugiau negu 1200 megavatų (MW), galimas 1000 MW vėjo jėgainių parkų įrengimas Baltijos jūroje[2].

Iki šiol pasaulyje instaliuota kiek daugiau nei 120 tūkst. MW galios vėjo elektrinių. Nuo metų pradžios ES į atsinaujinančią energetiką buvo investuota 4,5 mlrd. eurų, neišmesta į orą 57 mln. tonų CO<sub>2</sub>.

Apskaičiuota, kad jeigu naftos kaina viršija 49 dolerius už barelį, elektros gamyba iš vėjo energetikos taps pigesnė nei naudojant tradicinius elektros energijos gamybos šaltinius. Kuo labiau plėtojama vėjo energetika, tuo konkurencingesnė tampa jos kaina, palyginti su gamyba naudojant naftą.

Numatytas vėjo energijos pramonės išvystymas leis per dešimtmetį:

- išvengti 13,2 mlrd. EUR išlaidų organiniam kurui pirkti;
- sutaupyti 9,4 – 24 mlrd. EUR išorinių išlaidų;
- sumažinti CO<sub>2</sub> emisiją 523 Mt, t.y. EB įvykdyti 30% Kioto protokolo įsipareigojimų;
- padidinti naujų sukurtų darbo vietų skaičius iki 3 400 000.



2020m. Prognozuojama, kad vėjo elektrinių įrengtoji galia sieks 180 000 MW, ir jos generuos 425TWh elektros energijos per metus. Šis kiekis sudarys 12,1% viso ES elektros energijos poreikio.

Europos šalys, naujai prisijungusios prie Europos Sąjungos, vėjo pramonės vystymu taip pat nebus paliktos nuošalyje. Į Europos Tarybos susitikimus pakviesti šalių kandidačių vadovai buvo paraginti prisidėti prie ES tikslų įgyvendinimo paspartinimo, suintensyvinti pastangas didinti elektros energijos gamybą iš atsinaujinančių energijos šaltinių, nustatyti savo nacionalinius tikslus šioje srityje kiekvienai šaliai atskirai.[1].

# 1. Jūroje statomų vėjo elektrinių vystymosi apžvalga ir perspektyvos

Europoje pirmą kartą vėjo malūnas paminėtas 833 metais. Prancūzijoje jie pasirodė XII a., Anglijoje, Nyderlandose, Vokietijoje, Čekijoje – XIIIa., Lenkijoje – XIVa., Lietuvoje – XIVa., Rusijoje- XVa., Baltarusijoje – XVIa. Matyt, nesuklysimė tardami, kad tai pačios Europos pajūrio ir lygumų gyventojų kūrinys. Viduržemio, Šiaurės, Baltijos jūrų pakrantėse buvo malūnų su sparnais, nuolat atgręžtais į vyraujančią vėją. Iš tokių malūnų ir išsirutuliojo malūnai, gręžiami į vėją visu liemeniu.

Lietuva, kaip ir mūsų kaimynus, malūnai pasiekė per Baltijos jūrą. Pirmieji iš baltų su malūnais susipažino prie Baltijos gyvenę senieji prūsai. Pirmieji malūnai buvo stiebiniai. Po to atsirado kepuriniai.

Vėjo malūnų būta labai įvairių tiek savo paskirtimi, tiek galingumu, tiek vėjaračio pasisukimo prieš vėją būdu, statybinėmis medžiagomis ir architektūrine forma, tiek ir vidaus techniniais sprendimais ir technine įranga.

Malūnų paskirtis buvo grūdams malti, lentoms pjauti, metalo lydymo darbams atlikti, popieriaus ir kartono gamyboje.

Malūnus skirstydavo į tris grupes: 1) stacionarūs, pastatyti ant pamatų, 2) mažos galios, pastatyti ant ūkinio pastato stogo, 3) mobilūs malūnai.

Malūno galia buvo reguliuojama dviem būdais. Norint išlaikyti maksimalią galią nuolatos kaitaliojantis vėjo kryptis, reikėjo sparnus kuo tiksliau atsukti prieš vėją. Malūno sparnams pasukti buvo naudojamas rankinis gražulas, rankinė gervė.

Kiekvieno malūno pagrindinę techninę įrangą skirstoma į tris mazgus: 1) vėjo energijos konverteris – vėjaratis, 2) mechaninės galios perdavimo mechanizmas – pavara ir darbo mechanizmas – pavara, 3) Darbo mechanizmas – girnos.

XVI – XIX amžiuose plačiai paplito keturių menčių dangiškieji ir daugiamenčiai amerikietiškieji prerijų malūnai. 1981m. vėjo turbina Danijoje pirmą kartą istorijoje buvo panaudota elektros energijai gaminti.

Per visą vėjo turbinų technologijos vystymosi istoriją buvo sukurta ir naudojama daugybė įvairiausių technologinių sprendimų. Tačiau visi jie skirstomi į dvi koncepcijas: turbinos su horizontaliaja ašimi ir turbinos su vertikaliaja ašimi.

Pastarąjį dešimtmetį nepaprastai dideliais tempais vykstanti vėjo turbinų technologijos evoliucija iš esmės pakeitė klasikinę sampratą apie vėjo energijos panaudojimo mechanizmą

konstrukciją. Išryškėjo visiškai naujos vėjo turbinų techninių ir technologinių sprendimų tendencijos, ir jos tapo vyraujančiomis. Tai reguliuojamojo posūkio kampo vėjaračio mentės, kintamojo greičio galios turbinos.

Visus technologinius sprendimus galima suskirstyti į 5 grupes pagal tris svarbiausius požymius: 1) turbinos galios reguliavimo būdą, 2) pagal greitį, 3) mechaninės pavaros naudojimą.

Paskutiniuosius 15 metų sparčiai didėjo vėjo turbinų vienetinė galia – nuo 30kW 1980m. iki 5000 kW 2005m., rotoriaus diametras – nuo 15m. iki 115m, bokšto aukštis – 20m iki 100m, vienos turbinos pagamintos elektros energijos kiekis per metus nuo 35000 iki 17000000 kWh.[1]

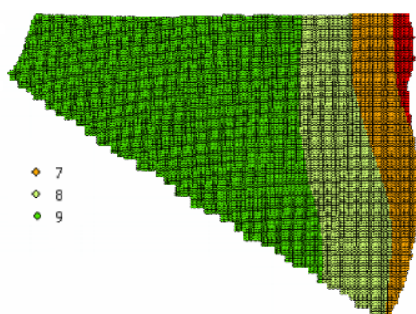
## 2. Lietuvos priekrančių vėjo elektrinėms statyti galimybės

Vandenynai ir jūros – didinga vandens stichija, užimanti apie 71 proc. mūsų planetos paviršiaus, - nuo seniausių laikų žadino žmonių smalsumą. Pasaulinis vandenynas, ne tik stebino savo paslaptingumu ir triukšmaujančia jėga, bet ir teikė maistą, atvėrė kelius į nežinomus kraštus, žadėjo neišsemiamus lobius. Šiandien vandenynai ir jūros vaidina svarbų vaidmenį mūsų ekonominiame, socialiniame ir kultūriniame gyvenime, yra reikšmingas žmonių gerovės šaltinis, teikiantis didelių plėtros galimybių. Norint išnaudoti šias galimybes, būtina rūpintis darniu ir atsakingu jūrų aplinkos naudojimu. To siekia ir daugelis valstybių.

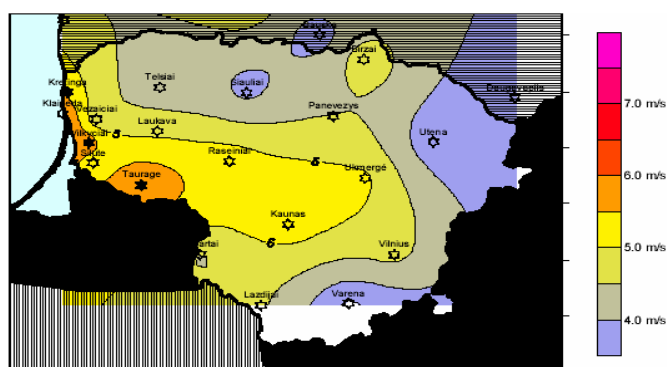
Lietuva, kaip ir kitos Europos Sąjungos šalys, yra įsipareigojusios skatinti energijos išgavimą iš atsinaujinančių energijos šaltinių, tokių kaip vėjas, saulė, bangos, geotermų. Jūros ir vandenynai tai didžiuliai natūralios galios ištekliai. Svarbu išmokti pasinaudoti jų jėga, kad žmonės būtų aprūpinti saugia ir ekologiškai švaria energija.

Pagal decentralizuotos energetikos plėtojimo strateginį scenarijų, sausumoje įrengtos vėjo elektrinės 2015m. leistų tenkinti apie 35 proc. šalies elektros energijos poreikio. Panašų kiekį energijos galėtų gaminti ir jūroje įrengtos vėjo elektrinės.

Palyginti su sausumos vėjo elektrinių įrengimo galimybėmis, jūroje vėjo energetika turi daug svarbių privalumų. Pirmiausia – tai stipresnis vėjas dideliuose jūros plotuose. Galima išvengti teritorinių suvaržymų, kaip tai yra kai kuriose šalyse. Mažesnis vizualinis poveikis. Didesnė elektros energijos generavimo galia. Geresnis elektros tinklų sujungimas. Prie jūros vėjo energetikos problemų galima priskirti didesnius projektų įgyvendinimo kaštus, prastesnį jų konfidencialumą, ribotą pramonės patyrimą, politinį paramos stygių, elektros tinklų išplėtimo, atsinaujinimo ir finansavimo poreikius.



a)



b)

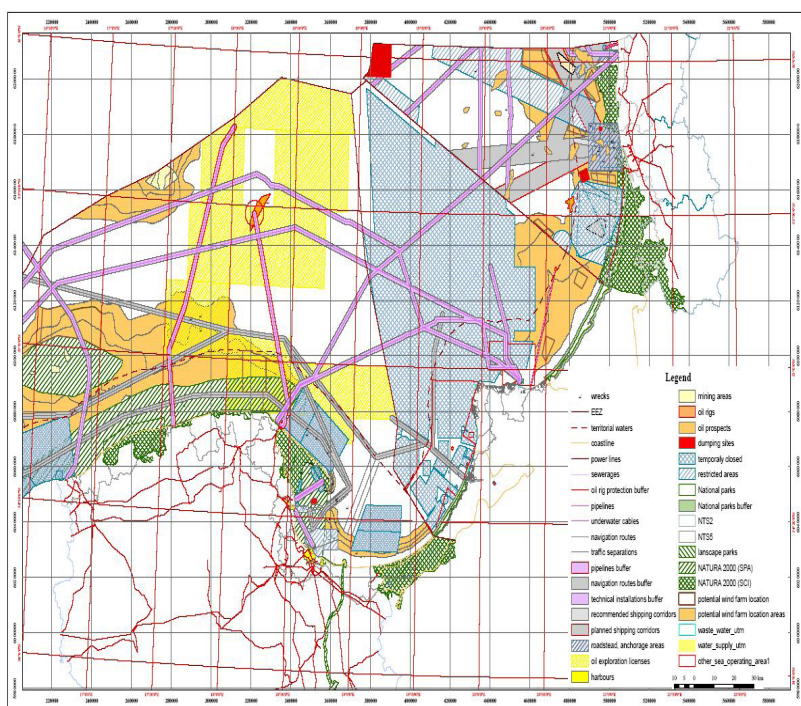
1.Pav. Vėjo greitis: a) jūroje, b) sausumoje

Europos vėjo energetikos asociacija prognozuoja, kad 2030m. jūros vėjo elektrinės gamins daugiau elektros energijos, nei sausumoje.

Jūros vėjo energetikos techninį potencialą nulemia vėjo energetiniai parametrai, jūros gylis. Taip pat būtina įvertinti potencialius konfliktus su gamtine aplinka ir kita žmonių veikla. Norint atrinkti tinkamus vėjo elektrinėms įrengti jūros plotus, būtina detaliam suplanuoti jūrinę teritoriją.

Baltijos jūros Lietuvos išskirtinė ekonominė zona (IEZ) užima apie 6540km<sup>2</sup> plotą Pagal „Natūra 2000“ gamtosaugos reikalavimus 5,7 proc. IEZ ploto užimančiuose gyliuose iki 20m statybos yra ribojamos. Orientuojantis į tradicines dugno pamatų technologijas buvo išskirti jūros dugno plotai nuo 20 iki 40 metrų. Ši dalis sudaro apie 26,7proc. Lietuvos IEZ. Atmetus jau naudojamas jūros teritorijas, tai – grunto sąvartynai, laivų inkaravietės, uostų reidai, laivybos koridoriai, kariniai poligonai bei kitus ribojimus turintys rajonai, išryškėjo potencialios vietos, tinkamos vėjo elektrinėms įrengti. Bendras jų plotas yra apie 240km<sup>2</sup>, arba 3,7 proc. jūrinės teritorijos.

Planuojant būsimųjų parkų vietas, būtina atsižvelgti ir į kitus svarbius veiksnius. Visų pirma tai poveikis žvejybai. Norint numatyti parkų stegimo vietas bei elektros perdavimo linijų instaliacijas jūroje, būtina ištirti dugno geologinę sandarą, nustatyti esamas kliūtis, paskendusius objektus, archeologinius ir kultūros vertybių vietas.[5]





2 pav. Baltijos jūros Lietuvos išskirtinė ekonominė zonos užimtumas.

Šiauriau Klaipėdos plytinčios priekrantės reljefas genėzės bei sąskaidos požiūriu – tai sudėtinga Lietuvos Baltijos jūros priekrantės dalis. Prie kranto vyrauja smėlio zona su jai būdingomis akumuliacinio reljefo formomis: sėkliais ir tarpsėkliais. Už smėlio zonos driekiasi sudėtingo reljefo eroduota moreninė lyguma su povandeniniais gūbriais ir tarp jų įsiterpusiais smėlio kupolais bei kitomis mezo ir mikroreljefo formomis.

Reljefo sąskaida sėklių zonoje labai skirtinga. Šiaurinėje priekrantės dalyje nuo sienos su Latvija iki Šventosios didžiausias sėklių peraukštėjimas virš tarpsėklio siekia 1,6m. o tarp Šventosios ir Ošupio – 1,1m. ties Palanga – 0,4-0,6m. Sėklių parametrai dar sumažėja šiauriau Olando kepurės ( 0,3-0,4m.), toliau vėl padidėja iki 0,7-1,2m. Netoli Klaipėdos uosto šiaurinio molo esančioje priekrantėje sėkliu zonoje dažniausiai būna gilus tarpsėklis ir sėklus virš jo gali iškilti iki 2,2m.

Moreninės povandeninės lygumos sąskaida nevienoda. Išilgai kranto besidriekiantys gūbriai atskirais atvejais iškyla virš lygumos 5-7m. Iki 15m. izobatos kranto zona labia dideliu gūbriuotumu išsiskiria Olando kepurės ir į šiaurę nuo kyšulio esančioje atkarpoje. Atskirų gūbrių aukštis viršija 6m. Taip iskilę gūbriai sąlygoje didžiausių bangų sugožimą net 1,7-1,9 km nuo kranto. Didelėje abraduotos moreninės lygumos sąskaida išsiskiria ir Palangos-Nemirsetos priekrantėje iki 15-20m. Šioje vietoje aptikti gilūs morenoje išgraužti kanjonai neišsiskiria.

Jūrinė lyguma už plynaukštės pasižymi išlygintu reljefu.

Jūros gylis numatomo vėjo elektrinių parko plote siekia nuo 20 iki 30 m. ir užima tarpinę vietą tarp sudėtingos reljefo sąskaidos rajono ir jūrinės lygumos.

Jūros priekrantė nuo Klaipėdos iki Būtingės pasižymi savita geologine sandara. Svarbiaus bruožas yra tas, kad kranto zoną nuo atviros jūros čia skiria iš Klaipėdos – Ventspilio plynaukštė,

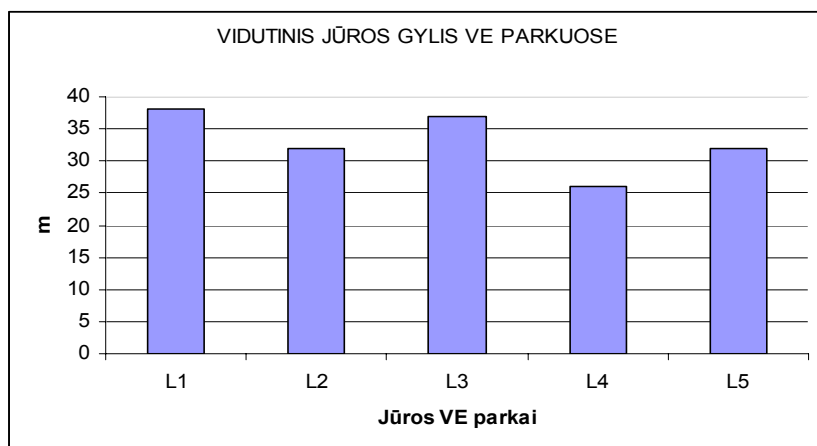
kurios pagrindą sudaro pleistoceno nuogulos. Daug kur šios plynaukštės paviršius nėra padengtas jūrinėmis nuosėdomis ir atsidengia išplautos reliktinės nuogulos – žvirgždas, gargždas ir rieduliai. Fragmentais atsidengę aptinkami moreniniai priemoliai. Šiuolaikinių nuosėdų paplitimas yra nuo kranto linijos iki 4-8m. (Olando kepurė, Palanga), 10-12-16m. gylio. Povandeniniame šlaite aktyvaus smėlio zona yra maždaug iki 10m gylio, kur formuojasi povandeniniai sėkliai, tačiau smėlio migracija stebima ir dedesniuose gyliuose.

Ruože tarp kranto linijos ir plynaukštės šiuolaikines dugno nuosėdas sudaro įvairaus rupumo smėlis, vyrauja smulkus smėlis. Šių smėlių storis plonėja jūros link. Po jais aptinkamos Litorinos laikotarpio nuogulos, kartais praturtintos organine medžiaga, su durpių, sapropelio tarpfluksniais. Plynaukštės paviršius dažniausiai padengtas įvairaus stambulo rieduliais. Stambiausi iš jų gali siekti net kelis metrus, tačiau jie dažniausiai aptinkami Olando kepurės – Palangos ruože. Padengimas rieduliais dažniausiai nėra ištisinis, kai aptinkami, žvirgždo, gargždo, įvairaus rupumo smėlio laukai. Smėlio storiai tokiose vietose nėra dideli ir siekia apie 0,5m.

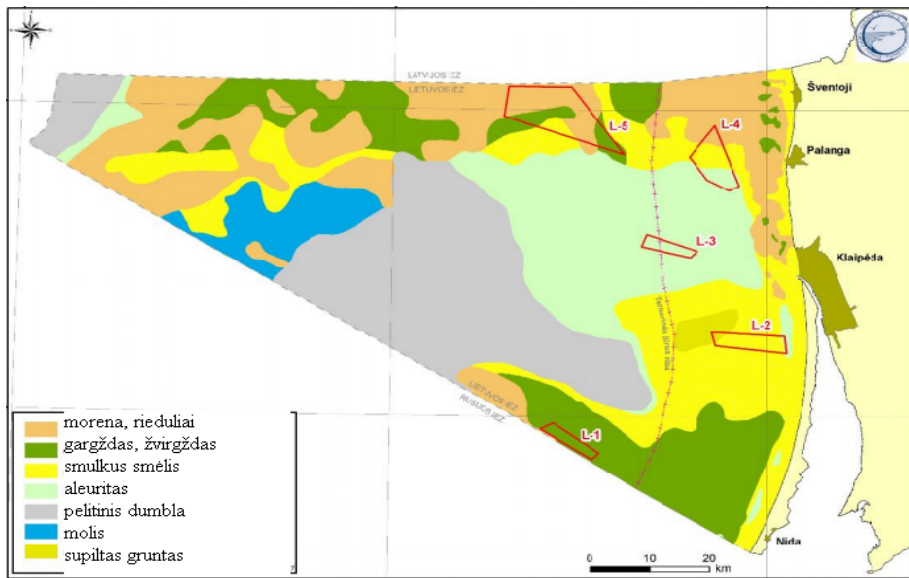
Į šiaurę nuo Klaipėdos įjauriau plynaukštės klostosi smulkaus smėlio ir stambaus aleurito nuosėdos, kurių formavimuisi įtakos turi ir iš Kuršių marių išnešama nuosėdinė medžiaga.

Tokiu būdu nagrinėjamame plote išsiskiria skirtingos geologinės sandaros plotai:

moreninė eroduota lyguma ( reliktinė plynaukštė ) padengta rieduliais, žvirgždu, gargždu, smėliu, morena; eroduota lygumos vakarinis šlaitas, padengtas smėliu; jūrinė lyguma, padengta smėliu ir aleuritu.[6]



3 pav. Lietuvos prikrantės jūros gyiliai.



4.pav. Jūros dugno geologinė sandara.

### Bangavimas

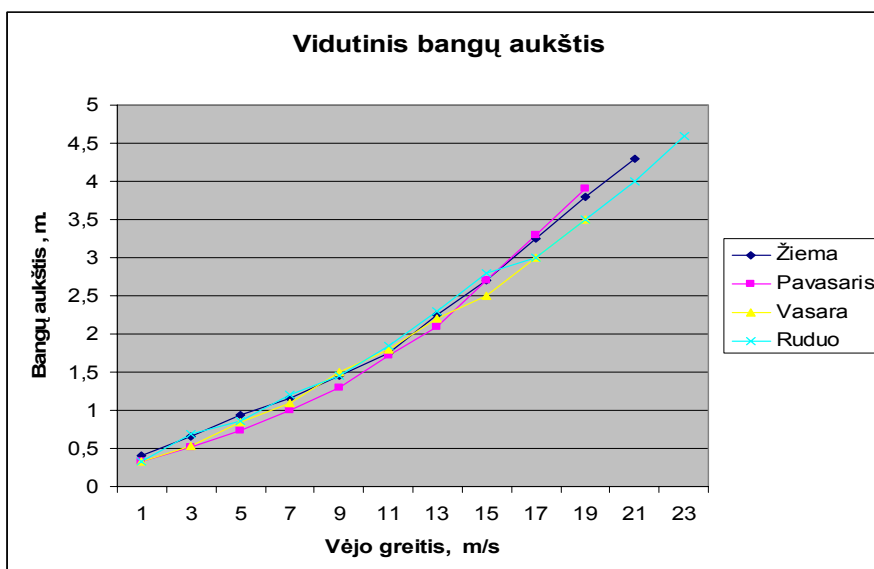
Bangavimas jūroje priklauso nuo vėjų režimo, kurį savo ruožtu nulemia bendri atmosferos cirkuliacijos procesai tyrinėjamame rajone. Cikloninės veiklos įtaka čia didžiausia rudens pabaigoje, žiemą ir pavasario pradžioje. Bangavimo pobūdžiometinė eiga atkartoja vėjų režimą. Vidutinis bangų aukštis atviroje jūroje Klaipėdos akvatorijoje priklausomai nuo vėjo greičio pateikiami lentelėje.

Vidutinis sezoninis bangų aukštis atviroje jūroje priklausomai nuo vėjo greičio

1 lentelė

Vėjo greitis, m/s	Bangų aukštis, m			
	Žiema	Pavasaris	Vasara	Ruduo
1	0,40	0,33	0,33	0,33
3	0,65	0,52	0,53	0,68
5	0,93	0,74	0,85	0,86
7	1,15	1,00	1,10	1,20
9	1,45	1,30	1,50	1,45
11	1,75	1,72	1,80	1,85
13	2,25	2,10	2,20	2,30
15	2,70	2,70	2,50	2,80
17	3,25	3,30	3,00	3,00
19	3,80	3,90	3,50	3,50
21	4,30			4,00
23				4,60





5 pav. Vidutinis bangų aukštis priklauso nuo vėjo greičio.

Dažniausiai pasitaikančios bangos yra iki 2m. jos sklinda iš pietvakarių ir vakarų. Su šiomis kryptimis susijusios ir aukščiausios bangos. Didelės, didesnės nei 6m. aukščio bangos susidaro pučiant stipresniems nei 15 m/s vėjams. Dažniausiai pasitaikančios 1-2m. aukščio bangos kyla pučiant 4-8 m/s vėjams. Ilgo periodo bangos (>7 s.) stebimos pučiant didesniams nei 10 m/s vėjams. Dažniausiai stebimas 3-4 s. periodo bangos pučiant 4-10 m/s vėjams.

Labai dažnai Baltijos jūroje kartu kyla mažesnės nei 3m. aukščio bangos ir iki 1 m. aukščio ribuliavimas (siūba). Foninę Baltijos jūros tėkmių „cikloninę“ kryptį nulemia apykaita su Šiaurės jūra (Baltijos jūros lygis vidutiniškai 14cm. aukštesnis už Šiaurės jūros lygį), centrinėje Baltijos akvatorijoje pasireiškianti nukreipiančioji Korolio jėga ir gausi upių gėlo vandens prietaka į Baltijos jūrą iš gretimų teritorijų. Baltijos jūros vandens masės dinamika labiausiai priklauso nuo virš jos vykstančių atmosferos procesų. Greitų atmosferos procesų sąveika su inertiška vandens mase sukuria sudėtingą paviršinių ir gilesnių tėkmių kompleksą.[6]

Stiant vėjo elektrines jūroje taip pat reikia atkreipti dėmesį ir į Baltijos jūros vandens lygį. Vandens lygiai jūroje nuosekliai didėja nuo -25 cm. Danijos sąsiauryje iki 0 cm. Suomijos įlankoje. Baltijos jūros vandens lygio gaugiametę kaitą atspindi Pionersko duomenys. Pionersko jūrinės vandens matavimo stoties duomenimis, maksimalus stebėtas Baltijos jūros lygis 126 cm. minimalus - -98cm. vidutinis daugiametis 4cm.

Staigius ir pavojingus vandens lygio svyravimus Klaipėdos prikrantėje sukelia patvankos ir nuoslūgio procesai. Klaipėdos uosto prieigose patvankas sukelia pietvakarių, vakarų ir šiaurės vakarų kryptių vėjas, o nuoslūgius – priešingų kryptių stiprus vėjas. Dėl gilaus ciklono 1967 10 18d. Klaipėdoje vandens lygis staigiai pakilo iki 185 cm. Pionerske – iki 101cm.

Tai svarbu įvertinant vėjo elektrinės aukštį, kad elektrinės saprai nesiektų vandens.[5]

Bangos balas , B	Bangų aukštis metrais , m.	Pavadinimas	Vandens paviršius	Vėjas balais , B
0	0	Labai rami jūra	Veidronis vandens paviršius	0
1	0-0,25	Rami jūra	Vandens paviršius raibuliuoja	1-2
2	0,25-0,75	raibuliavimas	Trumpa bangelė, keteros be putų	3
3	0,75-1,25	Silpnas bangavimas	Bangos ilgėja, atsiranda baltos keteros	4
4	1,25-2,0	Smarkokas bangavimas	Visur baltos keteros	5
5	2,0-3,5	Žymus bangavimas	Pradedą formotis stambios bangos, baltos keteros	6
6	3,5-6,0	Smarkus bangavimas	Bangos lūžta, eina putų juostos pavėjui	7
7	6,0-8,5	Stiprus bangavimas	Bangos panašėja į kalnus, nuo keturų lekia putas	8
8	8,5-11,0	Labai stiprus bangavimas	Labai aukštos bangos, panašios į kalnus, vanduo baltas, užia	9-10
9	11,0 ir daugiau	Ypatingas bangavimas	Nieko nesimato per purslus	11-12

Vėjo elektrinių techniniai sprendimai, technologijos ir įrengimo kaina labai priklauso nuo jūros gylio. Vėjo elektrinėms įrengti naudojamos dugno pamatų technologijos. Prognozuojama, kad atitartyje vėjo elektrinių parkus bus galima statyti ir didesniuose, kaip 50 metrų gyliuose. Vykdyti tokius projektus bus galima taikant plūdruosius jūros vėjo elektrinių techninius sprendimus.

Daugiamečių vėjo greičių duomenų jūroje analizė rodo, kad 100 metrų aukštyje įrengtų vėjo elektrinių galios veiksnys sudaro 38 – 40 procentų jų projektinio galingumo. Planuojant vėjo elektrinių išdėstymą siekiama išvengti vėjo elektrinių šešėlio efekto. Priklausomai nuo vėjo elektrinių išdėstymo, turbinų skaičius ir tipo apskaičiuota jūros parkų galia.[4]

### **3.(Konkrečios vietos pavadinimas) vėjo elektrinių parko vietos ir galios parinkimas.**

Didelės galios vėjo turbinos, nepriklausomai nuo to, ar jos pastatytos sausumoje, ar atviroje jūroje, dirba sujungtos su vietiniais elektros tinklais ir visą pagamintą elektros energiją atiduoda į elektros tinklą. Elektros tinklai yra susiję su elektros energijos vartotojais, kuriems būtina užtikrinti tiekiamos elektros energijos kokybę, taigi kelia tam tikrų reikalavimų ir elektros energijos, gaunamos iš vėjo elektrinių, kokybės parametrams.

Nuolatinis vėjo greičio svyravimas sukelia ir atitinkamus turbinos generatoriaus įtampos lygio svyravimus (flicker). Jeigu elektros tinklo, prie kurio prijungtos vėjo turbinos, nėra pakankamai didelis, tai gali atsilipti viso tinklo įtampos kokybei ir kartu kelti kai kurių sunkumų tiek buitiniams, tiek pramoniniams vartotojams. Siekiant išvengti šio reiškinio žalingų pasekmių, aukšto dažnio svyravimams slopinti naudojamos atitinkamos įtampos techninės slopinimo priemonės, tačiau žemesnių dažnių svyravimų išlyginimo ir galios balanso elektros tinkle uždavinys tenka įprastinėms elektrinėms, dirbančioms elektros tinklų sistemose.

Konkreči vėjo turbino jungimo į elektros tinklą schema priklauso nuo to, kokio tipo generatorius panaudotas vėjo turbinoje ir koku turbino greičio režimu dirba pati turbina. Kaip žinoma, vėjo turbinose naudojami sinchroniniai ir asinchroniniai elektros generatoriai. Asinchroniniai varikliai šiek tiek pranašesni už sinchroninius. Be to, jie pigesni, todėl ir naudojami 90% visų vėjo turbinų. Be to, dalis vėjo turbinų dirba stabilio rotoriaus sukimosi dažniu, kita dalis stengiantis pasiekti aukštesnį vėjo energijos išnaudojimo efektyvumą, dirba kintamuoju sukimosi dažniu.

Stabilio rotoriaus sukimosi dažniu dirbančios vėjo turbino jungiamos su tinklu tiesiogiai, naudojant individualų galios transformatorių, suderinantį turbino generatoriaus ir elektros tinklo įtampas. Daugumos didelės galios vėjo turbinų generatoriai dirba vardine 690 V įtampa. Tokių turbinų elektros generatoriai dirba sinchroniškai su elektros tinklu.

Tokiais atvejais transformatorius įtaisomas pačioje vėjo turbinoje, o tai savo ruožtu padidina turbino gabaritų. Vėjo turbinų parkuose kai kada statomas vienas galios transformatorius keletui turbinų prijungimo prie tinklo taške.[3]

Kai vėjo turbina dirba kintamuoju rotoriaus sukimosi dažniu, jos generatoriaus įtampos dažnis irgi yra nuolatos kintantis, ir tokia turbina negali būti įjungta į elektros tinklą tiesiogiai. Reikalinga tarpinė šiuos parametrus suderinanti grandis. Tokia grandis – tai įtampos keitiklis (inverteris).

Įtampos keitiklis vėjo turbinos generatoriaus įtampą pirmiausia išlygina, po to išlygintą nuolatinę įtampą paverčia į kintamą įtampą, kurios dažnis atitinka elektros tinklo dažnį.

Naudojami įvairių tipų įtampos keitikliai. Keitiklis yra ganėtinai brangus įrenginys, ir jo naudojimas padidina turbinos kainą. Maža to, turbinas netiesiogiai jungiant į tinklą, tinklo įtampoje gali atsirasti aukštesnių harmonikų dedamųjų. Šios problemos išvengti padeda specialūs aukštesnių harmonikų filtrai.

Tačiau vėjo turbinos jungimas per įtampos keitiklį turi keletą privalumų, kurie atsveria trūkumus:

- Turbina gali dirbti kintamuoju greičiu, o tai leidžia geriau išnaudoti turbinos našumą;
- Leidžia sumažinti turbinos sukimosi dažnį esant mažiems vėjo greičiams;
- Leidžia reguliuoti reaktyviąją galią, o tai labai svarbu silpname tinkle, ir kt. [3]

Vėjo elektrinių parkų galimos galios Baltijos jūroje Lietuvos teritorijoje 3 lentelė

VE modelis		2,5 MW		3MW		5 MW		7,5 MW	
Sklypo žyma	Plotas, km <sup>2</sup>	Turbinų skaičius	MW	Turbinų skaičius	MW	Turbinų skaičius	MW	Turbinų skaičius	MW
L1	18	40	100	32	96	16	80	8	60
L2	33	74	185	58	174	30	150	20	150
L3	17	38	95	30	90	15	75	8	60
L4	48	107	268	85	255	43	215	28	210
L5	121	270	675	213	639	109	545	64	480
Iš viso	237	529	1323	418	1254	213	1065	128	960

### Vėjo elektrinių parko struktūrinė sujungimo schema

Vėjo elektrinės sujungtos grupėmis po 4. Naudojantis ištyrinėtas tinkamas vietas vėjo parkams, sudaromi penki vėjo parkai. Pagal galingumus keturi vėjo parkai prijungiami prie vieno autotransformatoriaus 35/330 kV T-1. Penktas parkas prijungiamas prie antro autotransformatoriaus 35/330 kV T-2. Nuo jūrinės pastotės iki naujai statomos Darbėnų pastotės tiesiami du kabeliai. Kabelių ilgis po 40 km. Nuo vėjo elektrinių sujungtų grupių iki pastotės jūroje priklausomai nuo padėties.

Pateikiami du prijungimo prie Lietuvos elektros tinklo variantai.

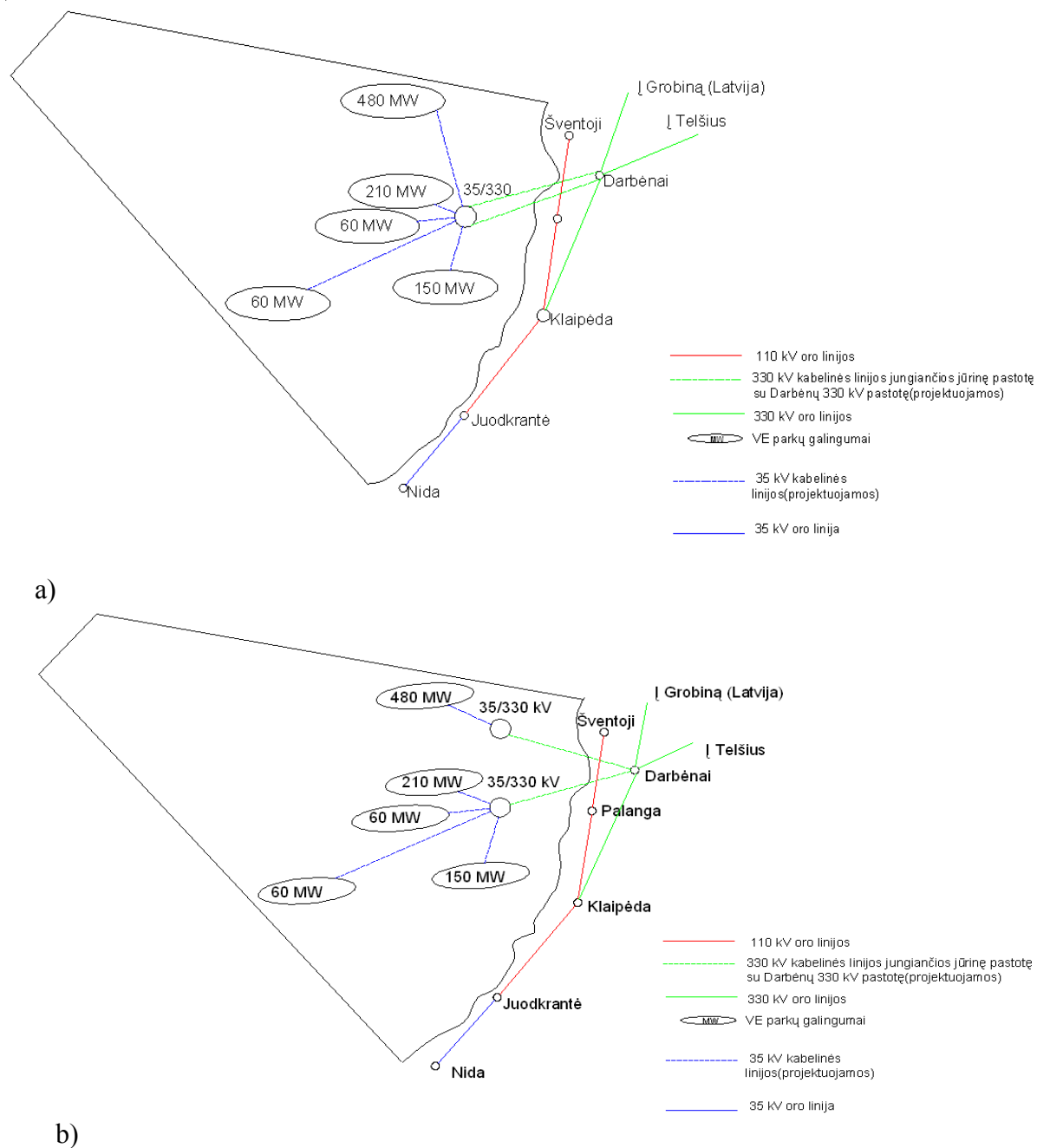
Variantas (a), kai jūroje įrengiamos dvi jūrinės platformos, kiekvienoje po 16 linijinių narvelių, kurių vienas sudarytas iš 35 kV jungtuvo ir dviejų skyriklių ir po vieną įvadinį 35 kV narvelį sudarytą iš dviejų skyriklių ir vieno jungtuvo, vieno transformatoriaus 35/330 kV ir 330 kV narvelio, kurį sudaro du skyrikliai ir jungtuvas.

Variantas (b), kai jūroje statoma viena jūrinė platforma ir joje įrengta 35/330 kV pastotė. Pastotė sudaryta iš dviejų 35 kV šynų sistemų, sujuntomis sekcijiniu jungtuvu. Kiekviena šynų sistema turi po 16 linijinių narvelių, sudarytą iš dviejų skyriklių ir jungtuvo, ir vieno įvadinio

narvelio sudaryto iš dviejų skyriklių ir jungtuvo. Kiekvienos šynų sistemo įvadinis narvelis prijungtas prie 35/330 kV transformatoriaus ir per 330 kV narvelius, kurių kiekvienas sudarytas iš dviejų skyriklių ir 330 kV jungtuvo. Pastotė dviem kabeliais sujungima su planuojama 330 kV Darbėnų pastotė.

Palyginus abu variantus, parenku variantą a, nes tai leidžia gauti didesnės naudos iš vėjo elektrinių, kai yra normali sujungimų schema ir kai yra atjungiamas transformatorius remontui.

Varinatų schemas pateiktos 6 paveikslėlyje.



6 pav. VE Prijungimas prie 330kV tinklo planas: a) viena jūrinė pastotis. b) dvi jūrinės pastotys.

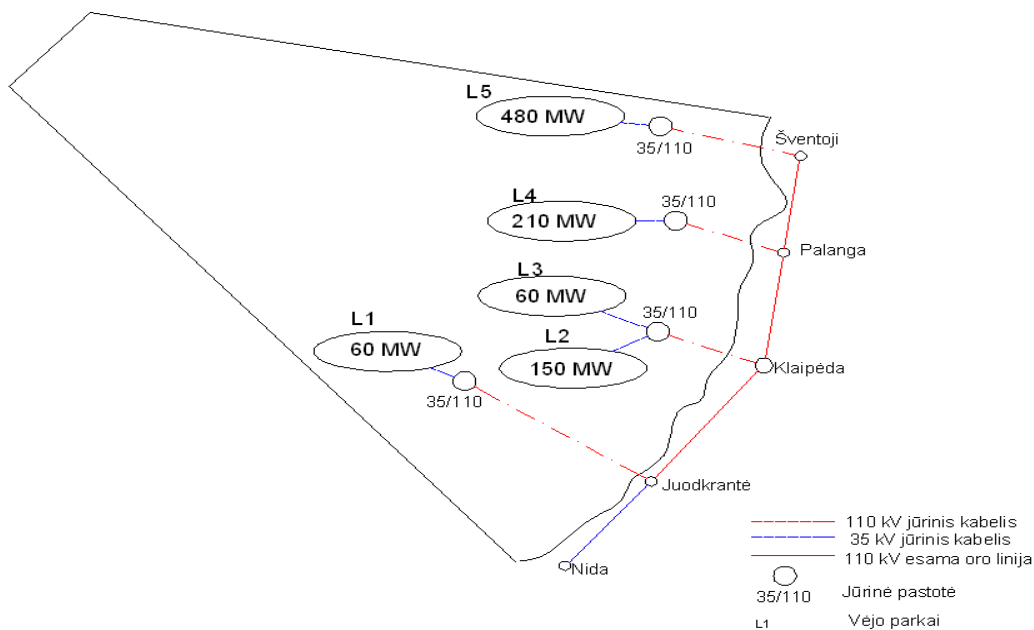
#### 4. Konkretaus vėjo elektrinių parko išorinio prijungimo schemos ir tinklo parinkimo variantų palyginimas.

Jungiant jūrinius vėjo elektrinių parkus prie elektros tinklų galimi keli būdai. Galima atskirus parkus jungti prie atskirų elektros pastočių. Galima sujungti po kelis parkus ir jungti prie esamų pastočių. Galima sujungti visus parkus į vieną 35/330 kV pastotę jūroje, nutiesti kabelius į naują Darbėnų miestelyje pastatytą 330kV pastotę ir naują pastotę sujungti su Klaipėdos 330/110 kV pastotę. Galimas variantas nestatant naujos Darbėnų 330kV pastotės, o sujungiant jūrinę 35/330kV pastotę su Klaipėdos 330/110 kV pastote.

Jungiant jūrinius vėjo parkus prie elektros tinklų, suminės galios prie 110 kV ir 330 kV tinklų prijungtų vėjų parkų neturėtų viršyti nurodytų galių. Įrengus didžiausią galimą galią stambiausiuose jūriniuose vėjo parkuose ir juos jungiant į 330 kV tinklą, reiktų nutiesti antrą 330 kV liniją iki Klaipėdos 330/110 kV pastotės.

Jungiant atskirus vėjo elektrinių parkus prie atskirų pastočių reiktų kiekvienam parkui statyti po atskirą jūrinę pastotę. Sausumoje esančias pastotes reiktų rekonstruoti, reiktų keisti ir linijas jungiančias pastotes. Pateikiu Nidos pastotės trumpą keitimo aprašymą.

Pirmojo vėjo parko L1, kurio galia 60 MW, teritorija yra netoli Nidos miestelio, todėl jungiant prie Nidos pastotės reiktų stiprinti elektros linijas. Tuo tikslu reikia rekonstruoti Nidos 35/10 kV pastotę. 35kV linijos turėtų būti pakeistos į 110 kV linijas, 10 MVA 35/10 kV transformatorių reiktų pakeisti į 100 MVA 110/10 kV transformatorių.



7 pav. VE prijungimo prie Lietuvos elektros tinklo galimas variantas

Tokias rekonstrukcijas reikėtų daryti ir kitose pastotėse. Jungiant didelės galios vėjo parkus į elektros tinklą, labai patogu įterpti į jau esamas 330 kV linijas, tačiau tai neturėtų mažinti elektros sistemos darbo patikimumo. Tikslinga būtų keletą parkų sujungti žemesne įtampa ir tada prijungti prie perdavimo tinklo. Jungiant didelės galios vėjo parkus prie Lietuvos EES 330 kV perdavimo tinklo reikia įrengti atskirą skirstyklą. Jungiant didesnę už 400 MW suminės galios vėjo elektrinių parkus, reikalinga papildoma linija į Klaipėdos 330/110 kV pastotę

Darbėnų 330 kV pastotės statyba:

Ties 330kV elektros perdavimo linija „Grobinė – Klaipėda“ numatoma Darbėnų 330kV AS statyba. Į Darbėnų 330 kV pastotę prijungti dvi linijas iš vėjo elektrinių parkų, vieną liniją prijungti prie linijos Klaipėda – Grobinė, linija nutiesti į Klaipėdos 330/110 kV pastotę, viena linija nutiesti į Telšių 330kV pastotę. Klaipėdos 330/110 kV pastotėje įrengti papildomą narvelį. Telšių 330/110 kV pastotėje įrengti papildomą narvelį.

Vienas iš variantų Darbėnų 330kV AS žiedo tipo elektrinių sujungimų schema. Elektrinių aparatų sujungimas žiedu – patikima ir kompaktiška schema, suteikianti lankstumo vykdant operatyvinius veiksmus veikiančioje atviroje skirstykloje. Šios schemos išpildymui numatomi šeši narveliai su eledujomis užpildytais komutaciniais įrenginiais – jungtuvais, srovės transformatoriais, skyrikliais ir skyrikliais su vienu įžeminimo peilio komplektu, įtampos kontrolės – talpiniais įtampos transformatoriais ir viršįtampių ribotuvais. Įrenginių šyniniams sujungimams ir renkančiomis šynomis numatoma panaudoti lanksčiąsias jungtis. Saugiam skirstomųjų įrenginių aptarnavimui prie skyriklių narveliuose planuojama įrengti kilpas kilnojamų įžemiklių prijungimui. Savųjų reikmių skirstomuosius įrenginius, valdymo pultą, relinės apsaugos spintas, akumuliatorių bateriją ir ryšių mazgą patalpinami moduliniam namelyje.

Darbėnų 330 kV AS nebus autotransformatorių, todėl savųjų reikmių maitinimui energijos tiekimas iš skirstomųjų tinklų. Savų reikmių maitinimui reiktėtų dviejų 10kV kabelinių linijų. Artimiausios pastotės yra Kretingos 110/35/10 kV ir Šventosios 110/10 kV pastotės.

Preliminarios išlaidos darbėnų 330kV skirstyklos pateiktos 4 lentelėje. Schema pateikta šio darbo priede.

Preliminarios išlaidos Darbėnų 330 kV skirstykloje, jungimas žiedu. 4 Lentelė

<b>Įrengimai</b>	<b>Mato vienetai</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Kaina (Lt)</b>
Jungtuvai	3f kompektas	6	2070000
Skyriklis	3f kompektas	17	1632000
Srovės transformatoriai	3f kompektas	6	165000
Atraminiai izoliatoriai	vnt	9	90000
Įtampos transformatoriai	3f kompektas	6	720000
Aparatiniai gnybtai įrengimams	komp	5	150000
Kabeliai (jėgos, kontroliniai)	km	22	290000
Laidas	km	2	51000
Girlinados	3f kompektas	18	32400
Savosios reikmės	3f kompektas	2	138000
Klaipėdos TP 330 kV narvelis	Kompl.	1	1200000
Telšių TP 330kV narvelis	Kompl.	1	1200000
<b>Įrangos kaina</b>			7581800
Statybos darbų vertė			3620000
Išlaidos nenumatytiems atvejams			450000
<b>Viso</b>			11808400

Antrame variante galima vienšlynė neselekcionuota elektrinių sujungimų schema. Šios schemas įgyvendinimui planuojama panaudoti kietas skirstomasias šynas, su galimybe atskirti narvelius nuimamais šyniniais intarpais per saugų izoliacinį 330 kV atstumą, bei nuimamomis narvelio prijungimo jungtimis. Variante, įprastus narvelio komutacinius aparatus, jungtuvą ir du skyriklius su įžeminimo peiliais, pakeisti vienu moduliniu komutaciniu aparatu, jungtuvu įmontuotu skyrikliu ir įžeminimo peiliu. Jungtuvas su imontuotu skyrikliu yra suprojektuotas standartinių jungtuvų pagrindu. Skyriklio funkcija yra integruoto jungtuvo atjungimo kameroje. Tai reiškia, kad šis jungtuvas išpildo ne tik jungtuvo, bet ir skyriklio visus reikalavimus. Tokiu atveju gaunamas kompaktiškas elementas, turintis aukštą patikimumą ir reikalaujantis tik nežymios priežiūros.



Preliminarios išlaidos Darbėnų 330 kV skirstykloje, jungimas vienšynė nesekcionuota  
elektrinių sujungimų schema 5 lentelė

<b>Įrengimai</b>	<b>Mato vienetai</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Kaina (Lt)</b>
Modulinis jungtuvas-skyriklis	3f kompektas	6	3690000
Srovės transformatoriai	3f kompektas	6	990000
Atraminiai izoliatoriai	vnt	28	280000
Įtampos transformatoriai	3f kompektas	7	840000
Aparatiniai gnybtai įrengimams	komp	4	120000
Kabeliai (jėgos, kontroliniai)	km	24	311400
Standi šyнуotė	kmpl.	1	110000
Laidas	km	1	25500
Girliandos	kompl.	10	18000
Savosios reikmės	3f kompektas	2	138000
Klaipėdos TP 330 kV narvelis	Kompl.	1	1200000
Telšių TP 330kV narvelis	Kompl.	1	1200000
<b>Įrangos kaina</b>			8022900
Statybos darbų vertė			4140000
Išlaidos nenumatytiems atvejams			450000
<b>Viso</b>			13205100

Variantų apibendrinimas.

6 lentelė

<b>Kriterijai</b>	<b>Variantas N.1</b>	<b>Variantas Nr.2</b>
Elektrinių sujungimų schemas patikimumas ir lankstumas eksploatacijos metu	Panaudojama tipinė keturkampė elektrinių sujungimų schema. Šioje schemoje galimas lengvas vieno narvelio rezervavimas kitų neatjungiant šynų maitinimo.	Vienšynė nesekcionuota šynų sistema yra nelanksti operatyvinių perjungimų eksploatacijos metu, nes atjungiant narvelį būtina nutraukti OL sujungimą žiedu, kas yra neleistina
Oro linijų užvedimas į skirstyklą	Oro linijos užvedamos iš šešių pusių minimaliai koreguojant esamas trasas	Oro linijų užvedimas į skirstyklą iš dviejų pusių, keturios iš vienos pusės ir dvi iš kitos. Sudėtingas OL iš Klaipėdos, iš jūrinės pastotės, iš Telšių užvedimų išplanavimas
Skirstyklos užimamas plotas	Planuojamas skirstyklos plotas apie 13 tūkst. m <sup>2</sup>	Planuojamas skirstyklos plotas apie 11 tūkst. m <sup>2</sup>
Investicijos į įrenginius ir objekto statybą	11808400 Lt	13205100 Lt

Įvertinus nagrinėtų elektrinių sujungimų schemų atitikimą pagrindiniams kriterijams- elektrinės schemas patikimumas, schemas lankstumas eksploatacijos metu, planuojamas patoguma prijungti elektros perdavimo linijas skirstykloje, investicijas 330 kV „Darbėnų“ AS statybai siūlomas pirmas variantas.

## Kabėlių apžvalga

Kabėliai HVDC ryšiui naudojami tuomet, kai nėra galimybių statyti oro linijas arba kai galia perduodama per jūrą, ežerus arba upes.

Kai galia perduodama per vandens telkinius, kabelinę sistemą sudaro aukštos įtampos pavandeninė kabelių sistema ir aukštos įtampos požeminė kabelių sistema.

HVDC kabelių sistema paprastai yra sudaryta iš kabelio, tarpinių sujungimų, galinių movų. Požeminiai kabėliai klojami plastmasiniuose vamzdžiuose. Povandeninis kabėlis apsaugomas geležiniu apvalkalu ir „čiužiniu“ sudarytu iš betoninių blokų.

### HVAC kabėliai:

Vamzdžio tipo: padengtas ir apsaugotas plieno vamzdžiu, kuriame yra kabėlis ir dielektrinis skystis, dielektrinis skystis yra po spaudimu, izoliacinė medžiaga yra „kraft“ popierius arba sluoksniuotas popieriaus polipropilenas.

Užpildyti skysčiu kabėliai ( SCFF – Self-contained, fluid-filled) : izoliuoti specialiu popieriumi, impregnuoti mažos klampos alyva; laidininkas turi centrinę skysčio vamzdelį.

Presuoto ištrižai sujungto polietileno kabėliai ( XLPE – Extruded cross-linked polyethylene): patikima dielektrinė izoliacija, nereikia skysčio, nereikia spaudimo įrangos.

HVAC kabėlių ilgį riboja: talpumo srovė, ir vamzdžio tipo ir SCFF kintamos srovės kabėliams skysčio spaudimo apribojimai. HVAC kabėliai turi būdingus dielektrinius nuostolius. XLPE turi mažesnius dielektrinius nuostolius, nei kintamos srovės kabėliai.

Dažniausiai naudojami MI kabėliai. Jie naudojami daugiau nei 40 metų ir yra itin patikimi. Šiuo metu naudojami nuolatinėms įtampoms iki 500 kV. Laidininko skerspjūvis iki 2500mm<sup>2</sup>.

SCFF kabėliai naudojami ypač aukštomis įtampoms (600 kV DC) ir trumpiems sujungimams, kai nėra hidraulinių apribojimų. Šiuo metu naudojami nuolatinės įtampoms iki 500kV. Laidininko skerspjūvis iki 300mm<sup>2</sup>.

Srovės nustatymas

Maksimalios darbo srovės, kai vėjo elektrinių parkas dirba maksimalia galia

$$S_N = \frac{P_n}{\cos \varphi} = \frac{7500}{0,85} = 8800 \text{ kVA};$$

Srovė kabelyje :

V1 vėjo elektrinės srovė kabelyje

$$I_{L1} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} = \frac{8800}{\sqrt{3} \cdot 35} = 145 \text{ A}.$$

Srovė kabelyje L2 :

$$I_{L2} = \frac{S_n \cdot n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{8800 \cdot 4}{\sqrt{3} \cdot 35} = 580 \text{ A}.$$

Srovė kabelyje jungiančio jūrinę pastotę su naujai projektuojamą pastotę.

$$I_{L3} = \frac{S_n \cdot n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{8800 \cdot 64}{\sqrt{3} \cdot 330} = 984 \text{ A}.$$

Laidininkų parinkimas:

Laidininkus parenkame iš ankstesnio skyriaus apskaičiuotų srovių ir aplinkos temperatūros normaliaame darbo režime. Aplinkos ir kabelio temperatūriniai parametrai paaimami iš žinyno:

$\vartheta_l = 70^\circ \text{ C}$  - leistina kabelių temperatūra;

$\vartheta_{0N} = 25^\circ \text{ C}$  - aplinkos vardinės temperatūra;

$\vartheta_0 = 15^\circ \text{ C}$  - vandens temperatūra.

Kabeliui L<sub>1</sub>:

$$I'_{L1} = I_{L1} \cdot \sqrt{\frac{\vartheta_l - \vartheta_0}{\vartheta_l - \vartheta_{0N}}} = 145 \cdot 0,853 = 124 \text{ A}.$$

Iš žinynų, pagal gamintojo reikalavimus parenkamas 95 mm<sup>2</sup> kabeliai.

Kabeliui L<sub>2</sub>:

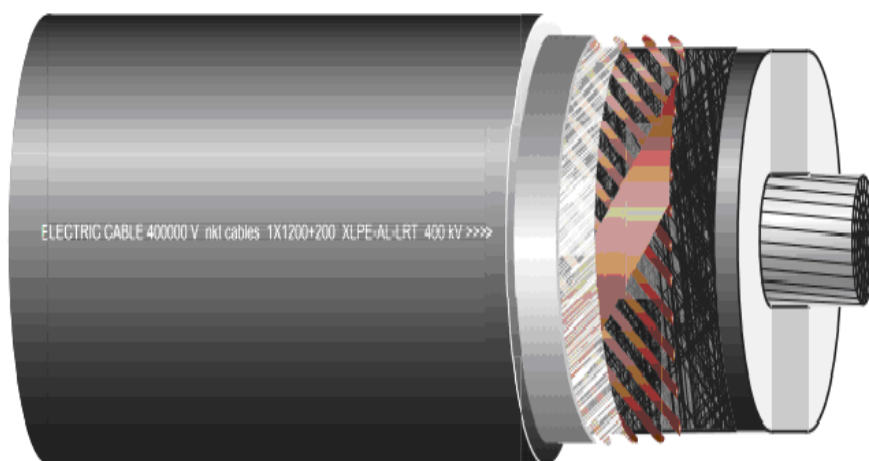
$$I'_{L2} = I_{L2} \cdot \sqrt{\frac{\vartheta_l - \vartheta_0}{\vartheta_l - \vartheta_{0N}}} = 580 \cdot 0,853 = 495 \text{ A}.$$

Iš žinynų, pagal gamintojo reikalavimus parenkamas 240 mm<sup>2</sup> kabeliai.

Kabeliui  $L_3$ :

$$I'_{L3} = I_{L3} \cdot \sqrt{\frac{g_l - g_0}{g_l - g_{0N}}} = 984 \cdot 0,853 = 840 A.$$

Iš žinyų, pagal gamintojo reikalavimus parenkamas  $1 \times 1200 + 200 \text{ mm}^2$  kabeliai



8 pav. kabelis XLPE-AL-LRT

### Bazinė galia

$$S_T = \frac{P_G \cdot n}{\cos \varphi} = \frac{7,5 \cdot 64}{0,85} = 565 MVA.$$

Parenkame  $S_N = 625 \text{ MVA}$  galios transformatorius, kuris tenkina sąlygą  $S_N \geq S_T$ .

Ekvivalentinė schema ir jos varža:

Transformatoriaus T1 reaktyvioji varža :

$$X_{T1} = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S_b}{S_N} = \frac{10}{100} \cdot \frac{625}{625} = 0,1.$$

Vėjo elektrinės transformatoriaus TVE reaktyvioji varža:

$$X_{TVE} = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S_b}{S_N} = \frac{6}{100} \cdot \frac{625}{8,8} = 4,26.$$

Keturių transformatorių grupės reaktyvioji varža:

$$X_{\Sigma TVE} = \frac{X_{TVE}}{n_{\Sigma L}} = \frac{4,26}{4} = 0,061.$$

Kabelio L3 reaktyvioji varža:

$$X_{L3} = \left( \mu_0 \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) \right) \cdot l \cdot \omega = \left( 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln\left(\frac{0,071}{0,0225}\right) \right) \cdot 35 \cdot 314 = 2,53 \Omega.$$

Kabelio L3 aktyvioji varža:

$$R_{L3} = \rho \cdot \frac{l}{q} = 0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{35000}{2 \cdot 10^{-4}} = 3,1.$$

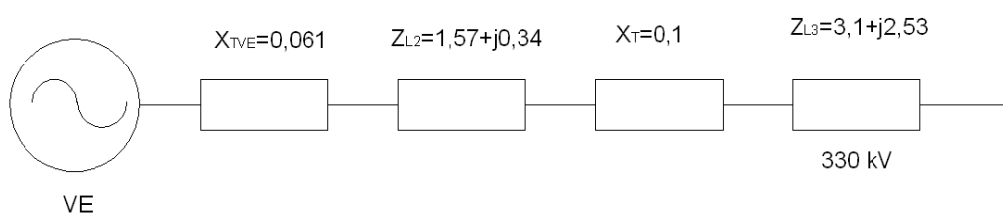
Kabelio L2 reaktyvioji varža:

$$X_{L2} = \left( \mu_0 \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) \right) \cdot l \cdot \omega = \left( 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln\left(\frac{0,048}{0,008}\right) \right) \cdot 3 \cdot 314 = 0,34 \Omega.$$

Kabelio L2 aktyvioji varža:

$$R_{L2} = \rho \cdot \frac{l}{q} = 0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3000}{2 \cdot 10^{-4}} = 1,575 \Omega.$$

Sudaroma, vėjo elektrinių prijungimo prie 330 kV perdavimo tinklo ekvivalentinė schema.



9 pav. Ekvivalentinė jungimo schema

## Kabėlių parametų analizė

Kabėlių talpą apskaičiuojama pagal išraišką:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot l}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}$$

čia:  $\epsilon = 2,3$  medžiagos dielektrinė skvarba,  
 $R$  – kabėlio išorinis spindulys,  
 $r$  – laidininko spindulys.

Kabėliui L3:

$$C_{L3} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot l}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-9} \cdot 2,3 \cdot 35}{\ln\left(\frac{0,071}{0,0225}\right)} = 3,9 \mu F$$

Laidumas:

$$b_{L3} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{L3} = 314 \cdot 3,9 \cdot 10^{-6} = 1,2246 \cdot 10^{-3} S.$$

Reaktyvioji galia kabėlyje L3:

$$Q_{L3} = U_N^2 \cdot b_{L3} = 330^2 \cdot 1,2246 \cdot 10^{-3} = 134 MVA.$$

Kritinis kabėlio ilgis L3:

$$l_{L3} = \frac{S_N}{\frac{Q_{L3}}{l}} = \frac{625}{\frac{134}{35}} = 163 km. \text{ Reaktyviosios galios sumažinimui naudojami šuntiniai reaktoriai.}$$

Kabėliui L2:

$$C_{L2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot l}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-9} \cdot 2,3 \cdot 2,5}{\ln\left(\frac{0,048}{0,008}\right)} = 0,072 \mu F$$

čia 2,5 km vidutinis atstumas nuo jūrinės pastotės iki vėjo elektrinės.

L2 tipo kabėlių yra 16, tuomet talpa

$$C_{\Sigma} = 0,072 \cdot 16 = 1,152 \mu F.$$

Laidumas:

$$b_{L2} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{L2} = 314 \cdot 1,152 \cdot 10^{-6} = 3,62 \cdot 10^{-4} S.$$

Reaktyvioji galia kabelyje L2:

$$Q_{L2} = U_N^2 \cdot b_{L3} = 35^2 \cdot 3,62 \cdot 10^{-4} = 444 \text{ kVA}.$$

Kritinis kabelio ilgis L2:

$$l_{L3} = \frac{S_N}{\frac{Q_{L3}}{l}} = \frac{35000}{\frac{444}{2,5}} = 197 \text{ km. Reaktyviosios galios sumažinimui naudojami šuntiniai$$

reaktoriai.

Kritinis kabelio ilgis L1:

$$l_{L3} = \frac{S_N}{\frac{Q_{L3}}{l}} = \frac{8800}{\frac{444}{2,5}} = 49 \text{ km. Reaktyviosios galios sumažinimui naudojami šuntiniai reaktoriai.}$$

Orientacinis vertinimas

Vertinama apytiksliai, atsižvelgiant į sistemos pajėgumą ir vėjo elektrinių tipą.

Sistemos varžas :

$$X_S = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{7,05^2 + j31,7^2} = 31,7 \Omega.$$

Trumpojo jungimo srovė  $I_k$  iki vėjo elektrinių prijungimo transformatoriaus nuo sistemos pusės, kai sistemos varža  $31 \Omega$ .

Varžumo modulis :

$$|Z| = \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2} = \sqrt{(1,575 + 3,1)^2 + (0,34 + 0,1 + 2,53)^2} = 5,54 \Omega.$$

Trumpojo jungimo srovė:

$$I_k = \frac{U_N}{|Z|} = \frac{330000}{5,45} = 60 \text{ kA}.$$

Trumpojo jungimo pilnutinė galia:

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_k = \sqrt{3} \cdot 330 \cdot 60 = 34295 \text{ MVA}.$$

## 5. Parko vidinių sujungimų schemos ir pastotės parinkimas.

### Prijungimo schemos tipai

Vėjo elektrinių prijungimo prie sistemos tinklų schemos parinkimas yra kompleksinis techninis ir saugos nuo elektros uždavinys. Paskirstytasis elektros generavimas labai praplečia su elektra profesionaliai turinčių reikalų žmonių ratą, kas sukelia papildomą elektros traumų pavojų. Todėl pirmoje vietoje yra elektrosaugos užtikrinimas.

Vėjo elektrinių generatoriai turi turėti aiškiai matomą nuo likusios elektros tinklo dalies izoliuojantį jungtuvą arba skyriklį. Elektros energijos šaltinį izoliuojantysis skyriklis naudojamas generatorius remontuojant, o taip pat elektros linijų priežiūrai, kai darbuotojai atjungia visus įtampą į liniją paduodančius šaltinius, kad galėtų saugiai dirbti. Energetikos inspekcijos darbuotojai, tikrindami ar gerai įrengtas generatorius, pirmiausia tikrina ar gerai įrengtas izoliuojantysis skyriklis (jungtuvas) ir ar sklandžiai jis atsijungia, nes vartojamas labai retai. Tikrinimas būna pateikiamas kaip papildomas saugos reikalavimas.

Antras prijungimo schemeje dažnai reikalaujamas elementas yra skiriantysis transformatorius. Šiaip transformatorius taikomas dėl generatoriaus išėjimo ir elektros tinklo vardinės įtampų skirtumų. Už skiriantįjį transformatorių pasisako daug elektros bendrovių. Teigiama, kad skiriantysis transformatorius vieną gretimai esantį vartotoją ar mažojo šaltinio savininką apsaugo nuo kito šalia esančio vartotojo skleidžiamų harmoninių trikdžių bei sumažina galimą fazinę nesimetriją, nes yra daug paplitusių vienfazių šaltinių, pavyzdžiui, nedidelės galios vienfazių fotoelektrinių, kurias pagal daugelio bendrovių reikalavimus galima jungti į tinklą, jei jų galia neviršija 20% tos fazės apkrovos.[7].

Lietuvoje visi vėjo elektrinių generatoriai yra trifaziai, dažniausiai jungiami į 10 kV tinklą, todėl įtampą aukštinantysis transformatorius kartu yra ir skiriantysis. Tiesiogiai prie žemosios įtampos jungiamų generatorių atveju žemoji įtampa - žemoji įtampa skiriantysis transformatorius taip pat turėtų būti naudojamas, nes tada įmanoma lanksčiai taikyti skirtingus neutralės režimus: elektros tinkle tradiciškai įžemintąją neutralę, o generatoriaus grandinę – sujungtą trikampiui ir neįžemintą visai be neutralės taško. Tokie generatoriai nebijo atsiktinių įžemėjimų, yra patogesni apsaugoms įrengti ir dažnai yra pigesni.

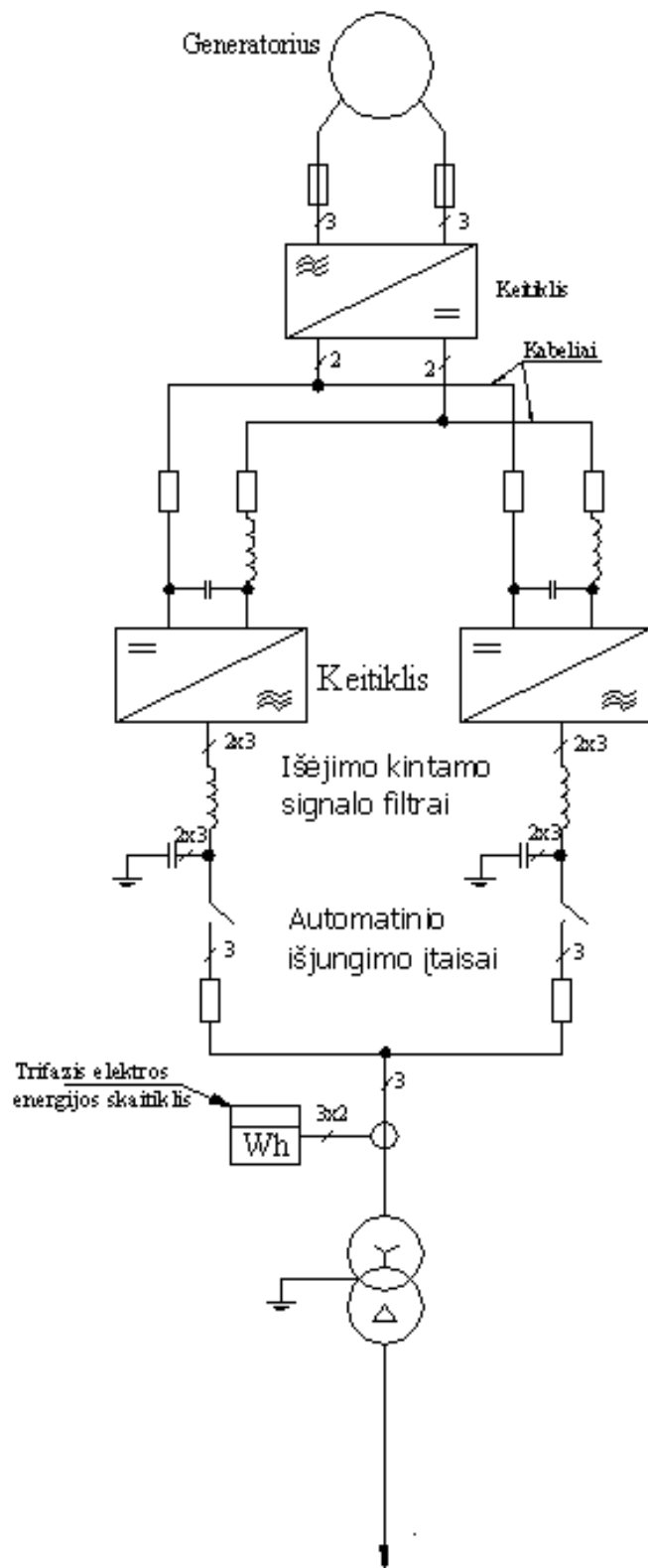
Jei žemosios įtampos generatorius (pvz., kuro baterija, energijos kaupiklis ir pan.) prie elektros tinklo yra jungiamas per keitiklį, skiriantysis transformatorius kartu yra ir aukštinantysis, todėl prijungimo schemeje jis vis tiek yra.

Kiti reikalavimai yra jau susiję su prijungimo schemos eksploatavimu. Pirmiausia dažnai reikalaujama eksploatacijos pradžios tikrinimų. Šie gali būti labai paprasti, pavyzdžiui

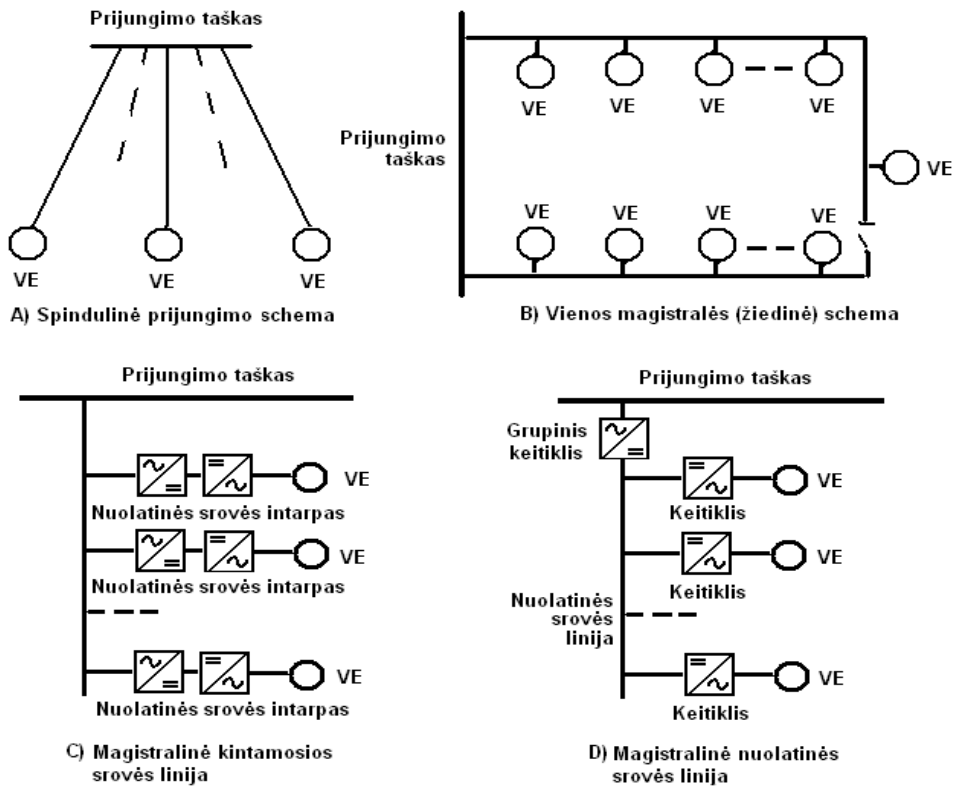


fotoelektrinės atveju reikia patikrinti ar ji prisijungia prie tinko ir ar atsijungia skiriančiuoju jungtuvu (skyrikliu, kirtikliu). Žymiai sudėtingesni įrenginio montavimo tikrinimai yra atliekami sinchroninių ar asinchroninių generatorių atvejais. Tikrinami prijungimo linijos parametrai (talpis, varža), apsaugų suderinamumas, žeminimo schemų atitikimas projektuotoms, izoliuojančiųjų nuo sistemos įrenginių veikimas, viršįtampių ribotuvo veikos zona. Dažnai prijunginio schemos patikrą pavedama atlikti ir rezultatus aprašyti pačiam generatoriaus savininkui, arba kitai bendrovei.

Daug elektros bendrovių reikalauja atlikti jau veikiančio ir prie elektros tinklo prijungto generatoriaus parametrų ir išėjimo dydžių matavimus. Dalis matavimų turi būti atliekami nuolat: generatoriaus pagamintas aktyviosios ir pagamintas ar suvartotas reaktyviosios energijos kiekiai ir išėjimo arba prijungimo taško įtampa, o nuo tam tikros galios generatoriams dar išėjimo galios ( $P$  ir  $Q$ ). Epizodiškai reikalaujama matuoti harmoninius iškrypius, nesimetrijos lygį, įtampos svyravimo, sukeliančios apšvietos mirgėjimą, aštrumo rodiklius. Kartais dar papildomai reikalaujama epizodiškai tikrinti apsaugos priemonių suderinamumą, o energetikos priežiūros organizacijos – turėti ir visą laiką registruoti generatoriaus, kaip prie elektros tinklų prijungto elektros įrenginio, visus priežiūros ir remontų darbus. Kartu tai gera auklėjimo ir apsaugos nuo elektros sukiamų pavojų didinimo priemonė.[3]



10 pav. Vėjo elektrinės prijungimo schema[7].



11 pav. Vėjo elektrinių parko prijungimo prie elektros tinklo schemas.

## 6. Jūrinėje platformoje įrengtos pastotės aprašas.

Elektrinių ir pastočių elektrinės dalies struktūrinė schema vaizduoja generatorių ir transformatorių prijungimą prie skirtingų įtampų skirstyklų. Struktūrinės schemos parenkamos remiantis techniniais ir ekonominiais skaičiavimais. Tam sudaromi ne mažiau, kaip du techniškai lygiaverčiai struktūrinės schemos variantai, parenkami transformatoriai, jungtuvai ir analizuojant skaičiavimo rezultatus, nustatomas geriausias variantas. Techniškai gali būti lyginamos tik skirtingos struktūrinės schemos variantų dalys. Parenkant, jungtuvai gali būti parinkti tik pagal vardinę įtampą ir maksimalią darbo srovę.

Projektuojant dviejų įtampų pastotės struktūrinę schemą, pakanka parinkti reikiamus transformatorius.

Galingų elektrinių generatoriai ir transformatoriai dažniausiai jungiami į bloką.

Skirstyklų elektriniai aparatai ir laidininkai turi patikimai veikti tiek normaliu režimu, tiek esant įvairiems nukrypimams nuo jo. Visi elektros įrenginių elementai parenkami normaliu darbo režimu, įvertinant ir poavarinį režimą, ir tikrinami trumpo jungimo sąlygomis. Parenkant aparatus, reikia atsižvelgti į jų pastatymo vietą, temperatūrą, drėgmę, užterštumą.

Paaukštintos įtampos skirstyklų schemas, ypač didelių elektrinių, keliami griežti reikalavimai. Reikia įvertinti, kad vieno elemento techninė apžiūra arba keitimas gali sutapti su kito elemento gedimu. Linijų ir galingų blokų atjungimas gali sukelti didelius nuostolius šalies ekonomikai. Elektrinę schemą reikia parinkti taip, kad ji atitiktų tam tikrus reikalavimus:

1. Atjungus jungtuvą techniniai apžiūrai, nenutraukiant elektros tiekimo ir galios tranzito;
2. Sugedus ar nesuveikus pagrindinės grandinės jungtuvui, turi atsijungti ne daugiau kaip viena linija ar blokas;
3. Remontuojant vieną jungtuvą ir nesuveikus kitam, neturi atsijungti abi vienos krypties lygiagrečios linijos arba keletas linijų, kurios pažeistų elektros sistemos darbo stabilumą.

Galios transformatorių parinkimo metu yra nustatomi tipas, vardinė galia ir skaičius. Transformatoriaus galia nustatoma pagal skaičiuojamą galią. Skaičiuojamajai galiai nustatyti tiriami normalaus ir poavarinio darbo režimai. Nustatomi galios srautai transformatoriaus apvijose arba apkrovos galia. Galios srautų arba apkrovos maksimali galia ir yra skaičiuojamoji galia. Apkrovai nustatyti įvertinama kelių metų perspektyva. [9]

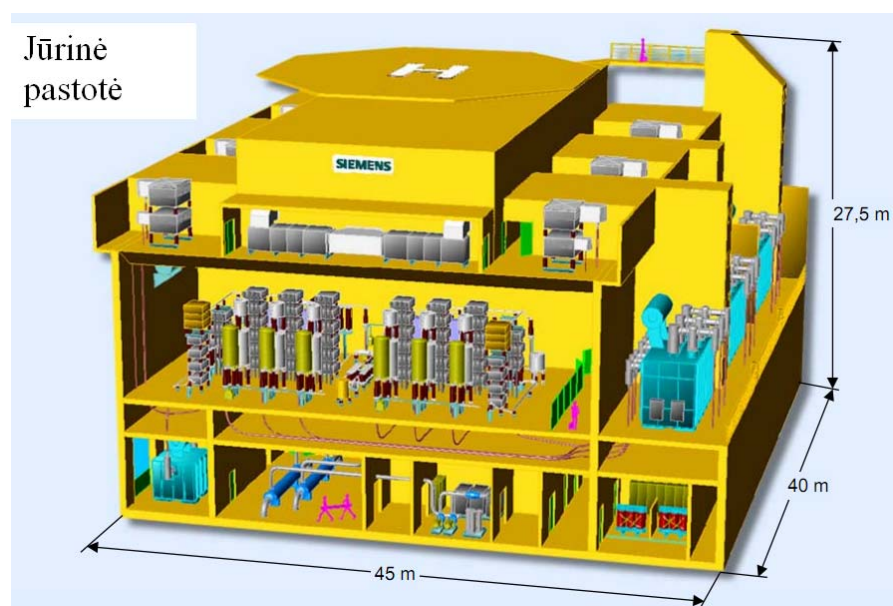
Galia paskaičiuota šio darbo 4 skyriuje.

Jungtuvas yra pagrindinis aukštos įtampos komutacinis aparatas, todėl jis parenkamas atsižvelgiant į daugelį sąlygų. Jūroje planuojama statyti vieną pastotę, todėl pateikiu pastoties siūlomus pagrindinius įrengimus ir jūrinės pastoties schemą. Priedas.

Jūrinės pastoties įrengimai.

7 lentelė

Eil. Nr.	Įrengimo pavadinimas	Įtampa kV	Kiekis vnt.	Kaina litais
1.	Dviejų apvijų transformatorius su įtampos reguliatoriumi	35/330	2	1000000
2.	Linijinis narvelis	35	32	480000
3.	Įvadinio jungtuvo narvelis	35	2	540000
4.	Įtampos transformatoriaus narvelis	35	2	16000
5.	Jungtuvas	330	2	800000
6.	Skyriklis	330	4	384000
7.	Įtampos transformatorius	330	2	400000
8.	Pilnos komplektacijos RAA spinta	35	2	560000
9.	Pilnos komplektacijos teleinformacijos ir perdavimo įrengimų spinta		2	360000
10.	Pilnos komplektacijos RAA spinta	330	2	200000
11.	Programinės įrangos pilnas komplektas		2	200000
12.	Relinės apsaugos įrenginių bandymo įranga		1	100000
13.	Pirminės įrangos ( jungtuvų ) bandymo įranga		1	100000
14.	Jėgos ir kontrolinių kabelių montavimas			300000
15.	Įrenginių montavimas			500000
16.	Modulinė pastoties pastatas		2	1000000
17.	<b>Viso</b>		<b>58</b>	<b>20260000</b>



12pav. Jūrinės pastoties maketas

## 7. Valdymo ir apsaugų sistemų parinkimas

Vėjo elektrinių generatorių relinė apsauga turi apsaugoti generatorių ar energijos keitiklį nuo vidinių pažeidimų ir trumpųjų jungimų, taip pat nuo išorinio tinklo pažeidimų bei trumpųjų jungimų, kurie sukeltų grėsmę generatoriui. Tai būtų apsauga nuo nesvarbu kokios kilmės viršįtampių, nuo per daug staigių ir per daug gilių tam tikros trukmės įtampos kryčių ir dažnio, matuojamo prijungimo vietoje, pokyčių. Šiam vėjo elektrinių parkui kaip ir kitiems naudojamoms mikroprocesorinės apsaugos relės, kurios yra skaitmeninė apsauga, savyje turinti kombinuotą daugiafunkcionalų įrenginį apjungiantį savyje įvairias apsaugos funkcijas:

1. Matavimus;
2. Kontrolę;
3. Vietinį ir distancinį valdymą.

Elektros sistemos tinklų operatoriaus požiūriu vėjo elektrinių generatoriai turi turėti patikimą relinę apsaugą. Ji turi sugebėti atjungti ne mažiau kaip 6 dvifazius ar trifazius trumpuosius jungimus per 5 minutes. Tai yra, kad šių generatorių apsauga turi turėti nepriklausomą maitinimo šaltinį, pavyzdžiui, pakankamai talpią akumuliatorių bateriją ar pan. Energijos kaupimas kondensatoriuose, įmagnetintuose solenoiduose ar mechaninėse spyruoklėse šiuo atveju yra nepakankamas. [10].

Relinė apsauga turi saugoti vėjo elektrinės generatorius nuo:

1. Per mažo ir per didelio dažnio;
2. Per mažos ir per didelės įtampos;
3. Signalizuoti apie atsijungimą nuo tinklo;
4. Viršsrovių;
5. Virštemperatūrių;
6. Įžemėjimų ir kitų pokyčių prijungimo schemose.

Trumpuosius jungimus galima atjungti tik kryptinėmis apsaugomis.

Kadangi pagal gamintojų užtikrinimus, vėjo elektrinių generatoriai yra mažai jautrūs arba visai nejautrūs trumpųjų jungimų viršsroviams, rekomenduojamos paprastesnės apsaugos pirmuoju trumpojo jungimo akimirksniu, po to turėtų sekti pakartotinas automatinis įjungimas ir sudėtingesnės bei didesne delsa suprojektuotos antrojo etapo apsaugos [7].

Matuojamasis dydis	Statos vertė	Apsaugos delsa
$U < 1$	70%	2- 10 sekundžių, vėjo elektrinių atjungimas
$U >^{17}$	110%	<100 ms, įtampos mažinimas
$f < 2$	47,0 – 48,0 Hz	300 ms, parko atjungimo ilgiausia delsa
$f >^{18}$	50,5 – 51,0 Hz	300 ms, parko atjungimo ilgiausia delsa

### 2.2.7. VĖJO ELEKTRINĖS PALEIDIMAS IR STABDYMAS

Vėjo elektrinės parką įjungti ir išjungti bus galima valdant iš Tinklo operatoriaus dispečerinės. Valdymui naudojama SCADA valdymo sistema.

Vėjo elektrinė stabdoma suveikus relinei apsaugai.

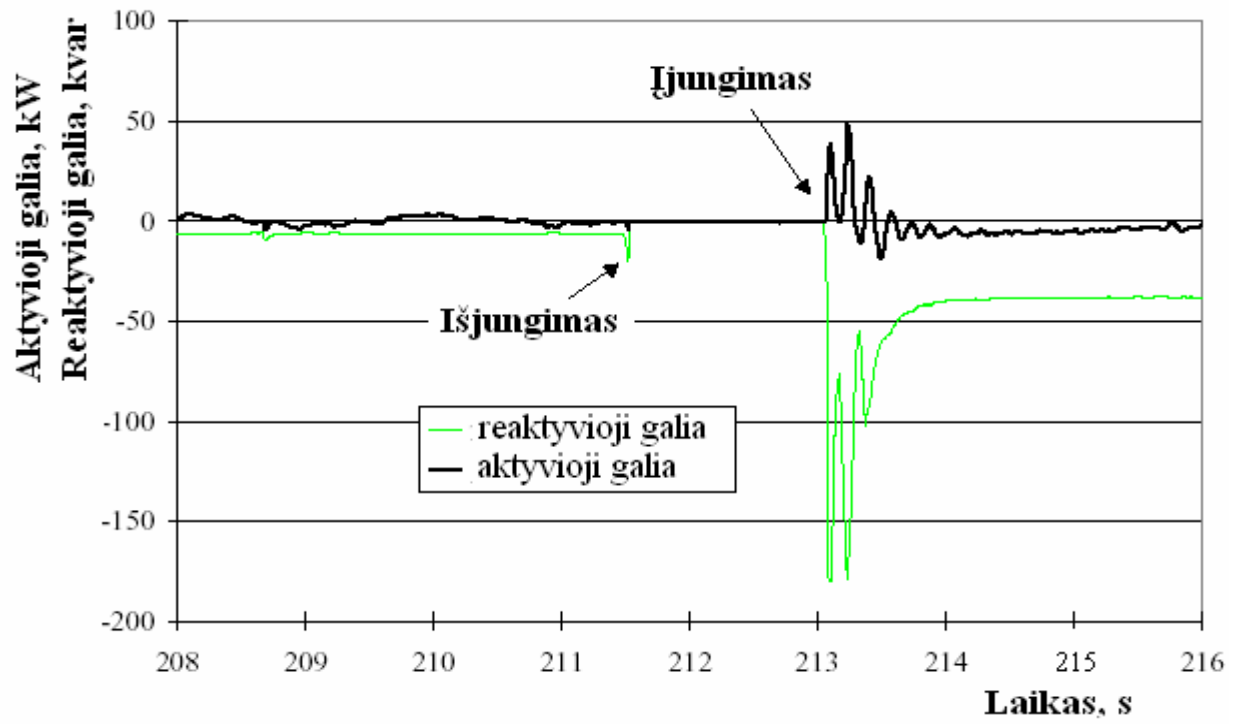
Vėjo elektrinės išjungimo kriterijai

9 lentelė

Išjungimo kriterijus	Apsaugos nustatymo vertė		Nustatymo vertės peržengimo leistinoji delsa	
Per žema įtampa	$0,9 U_n$	V	10 . 60	s
Per daug žema įtampa	$0,85 U_n$	V	$\leq 10$	s
Per aukšta įtampa	$1,06 U_n$	V	60	s
Viršįtampis	$1,1 U_n$	V	200	ms
Per daug aukštas dažnis	50,5	Hz	200	ms
Per daug žemas dažnis	47	Hz	200	ms

Taip pat elektrinei dirbant normaliaame režime ir skirstomajame tinkle įvykus pažeidimui, tai suveikus relinei apsaugai elektrinės automatiškai atsijungia ir įsijungti gali po 5 ar 10 minučių, kai tinklo veikos sąlygos tampa įprastinėmis. Kitas atvejis, jei elektrinė atsijungia dėl per didelio greičio, ji gali pati automatiškai įsijungti vėjo greičiui sumažėjus.

Stabdymo vėjo greitis turi būti ne mažesnis kaip 25 m/s. Vėjo elektrinės turi būti patvirtinto tipo konstrukcijos ir jų stabdymo vėjo greitis turi būti patvirtintas bandymu [10].



13 pav. Vėjo elektrinės generatoriaus išjungimo ir įjungimo akimirksniai[10]



## 8. Jūrinio vėjo elektrinių parko finansinio atsiperkamumo skaičiavimai.

### Vėjo elektrinių bokšto aukščių ir generuojamosios galios energetinės ir finansinės priklausomybės

Vėjo energetika sparčiai vystosi tiek gamintojų pastangomis, tiek ES siekiu mažiau teršti aplinką ir gaminti elektros energiją iš alternatyvių atsinaujinančių šaltinių.

Svarbu įvertinti ekonomiškai planuojamus pagaminti elektros energijos kiekius pagal pasirinktą vėjo elektrinės modelį, jos bokšto aukštį, kad optimaliai būtų išnaudojami vėjo energetiniai resursai. Vėjuotose vietovėse statant mažos ar vidutinės galios VE su mažais išnaudojimo koeficientais ir nedideliais VE bokštų aukščiais būtų neoptimaliai išnaudotos puikios vėjo energetinės vietos, bei sugadintas kraštovaizdis.

Pasirenkant vėjo elektrinės modelį, galią ir vietovę, reikia atlikti generuojamos galios skaičiavimus, kurie apspręstų vėjo elektrinės tinkamumą ir projekto atsiperkamumą.

Vėjo elektrinių generuojamosios galios energetinės ir finansinės priklausomybės nuo bokšto aukščio leistų apspręsti optimalų ekonomišką variantą pasirenkant vėjo elektrinės gamintoją, modelį ir planuojamos vietovės pasirinkimą.

Atliekami generuojamos galios skaičiavimai su E-126 vėjo elektrinės modeliu. Šie skaičiavimai atliekami pritaikius Veibulo parametrus ir vėjo elektrinės galios kreivę.

Nemažą įtaką vėjo greičio dydžiui turi aukštis. Vidutinį vėjo greitį vėjo elektrinės ašies aukštyje galima apskaičiuoti pagal tokią 1.1 formulę:

$$v_2 = v_1 \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^n, \quad (1.1)$$

$$v_2 = 7 \cdot \left( \frac{126}{10} \right)^{0,01} = 7,18 \text{ m/s}$$

čia:  $v_1$  – vėjo greitis (m/s) išmatuotas aukštyje  $h_1$  (m);

$v_2$  – vėjo greitis (m/s) vėjaračio stebulės aukštyje  $h_2$  (m);

$n$  – laipsnio rodiklis, įvertinantis vietovės šiurkštumo laipsnį 1.1 lentelė.

Veibulo skalės parametras  $a$  apskaičiuojamas pagal 1.2 formulę.

$$a = \frac{V_{vid}}{e^{\Gamma((1+1)/k)}} \quad (1.2)$$

Čia  $\Gamma$ - gama funkcija.

$V_{vid}$  – vidutinis metinis greitis

$k$ - Veibulo formos parametras

Veibulo skalės parametras  $a$

$a = 8,03 \text{ m/s}$

### Žemės paviršiaus šiurkštumo klasės ir laipsnio rodikliai

10 lentelė

Paviršiaus tipas	Paviršiaus šiurkštumo klasė	Laipsnio rodiklis $n$
Vandens paviršius	0	0,01
Visiškai atvira vietovė su lygiu paviršiumi, pvz. keliai, aerodromai, ganyklos ir t.t.	0,5	0,077
Atvira, retomis kalvomis apsupta žemės ūkio vietovė, be tvorų ir medžių su retai pasitaikančiais pastatais.	1	0,12
Tarp laukų įsiterpusi kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti maždaug $0,125 \text{ km}^2$	1,5	0,145
Tarp laukų įsiterpusi kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti maždaug $0,25 \text{ km}^2$	2	0,16
Tarp laukų įsiterpusi kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti maždaug $1 \text{ km}^2$	2,5	0,2
Kaimo gyvenvietė, nedideli miesteliai, sodai ir miškai	3	0,28

Veibulo formos orientacinis parametras  $k$  parenkamas nuo vėjo vidutinio matavimo aukščio  $h_x$  11 lentelė.

### Veibulo formos orientacinis parametras nuo aukščio 11 lentelė

Aukštis $h_x$ , m	Veibulo formos parametrai
Iki 30	1,7
Iki 50	2
Iki 70	2,2
Iki 90	2,3
Virš 100	2,4

Veibulo parametrai skaičiuojami regionams arba vietai pagal vėjo greičių kitimo pasiskirstymą atlikus vėjo matavimus toje vietoje. Pagal surinktus duomenis sudaromas metinis vėjo greičių pasiskirstymo grafikas, kuriuo remiantis paskaičiuojamas Veibulo formos parametras [1].

Skaičiuojami tikėtini vėjo greičiai valandomis per metus pagal Veibulo ir skalės parametrus pagal 1.3 formulę.

$$H = \left( e^{-\left( e^{\ln\left(\left(\frac{V_i-0,5}{a}\right)^k}\right)} \right)} - \left( e^{-\left( e^{\ln\left(\left(\frac{V_i+0,5}{a}\right)^k}\right)} \right)} \right) \right) \cdot 8760 \quad 1.3$$

$$H = \left( e \left( -e^{\left( \ln \left( \left( \frac{1+0.5}{8.3} \right)^{2.4} \right) \right)} \right) - \left( e \left( -e^{\left( \ln \left( \left( \frac{1+0.5}{8.3} \right)^{2.4} \right) \right)} \right) \right) \right) \cdot 8760 = 1871 \text{ h / m}$$

Atliekami energetiniai skaičiavimai pagal vėjo elektrinės gamintojo parametrus ir vietovės meteorologinius duomenis 1.3 lentelė.

Vėjo elektrinės gamintojo parametrai ir vietovės meteorologiniai duomenys 12 lentelė

Oro tankis $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Vėjo matavimo aukštis $h_1$ , m	vėjo greitis $V_1$ , m/s	Laipsnio rodiklis	Veibulo formos parametras	VE galia P, MW
1,225	10	7	0,01	2,4	7,5

Vėjo elektrinės Enercon E-126 galios ir koeficiento kreivės pateiktos 1.1 paveikslėlyje, o daugiau informacijos apie šią vėjo elektrinę galima rasti gamintojo tinklalapyje [2].

Atlikus skaičiavimus pagal formules 1.1 ir 1.2 gauti rezultatai pateikti 1.4 lentelėje

Apskaičiuotas Veibulo skalės parametras 13 nentelė

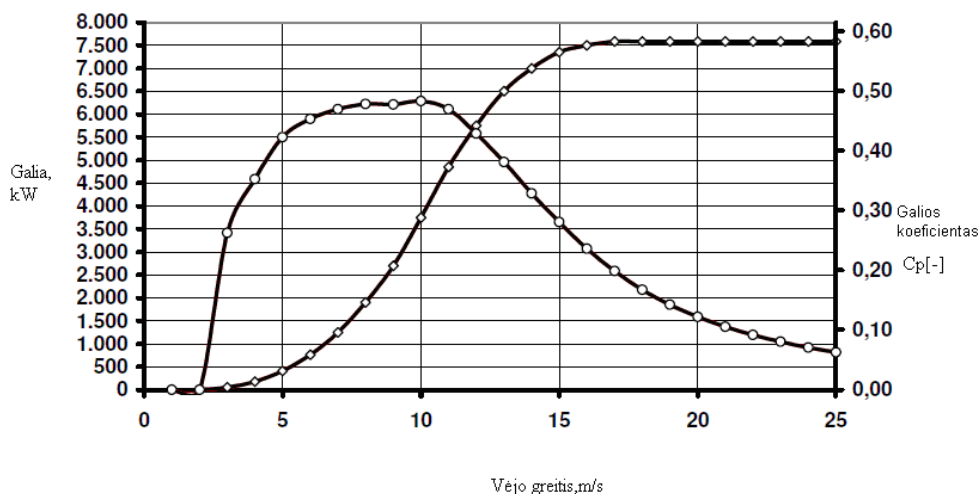
Vėjo elektrinės bokšto aukštis $h_2$	vėjo greitis $v_2$ m/s	Veibulo skalės parametras a, m/s
126	7,12	8,03

Vėjo elektrinės Enercon E 126 pagaminamos elektros energijos kiekis skaičiuojamas pagal 1.4 formulę.

$$W = H_i \cdot P_i \quad 1.4$$

čia:  $H_i$  – valandų pasiskirstymas pagal vėjo greitį;

$P_i$  – vėjo elektrinės galios pagal galios kreivę;



14 pav. Enercom E-126 galios kreivė ir galios koeficientas

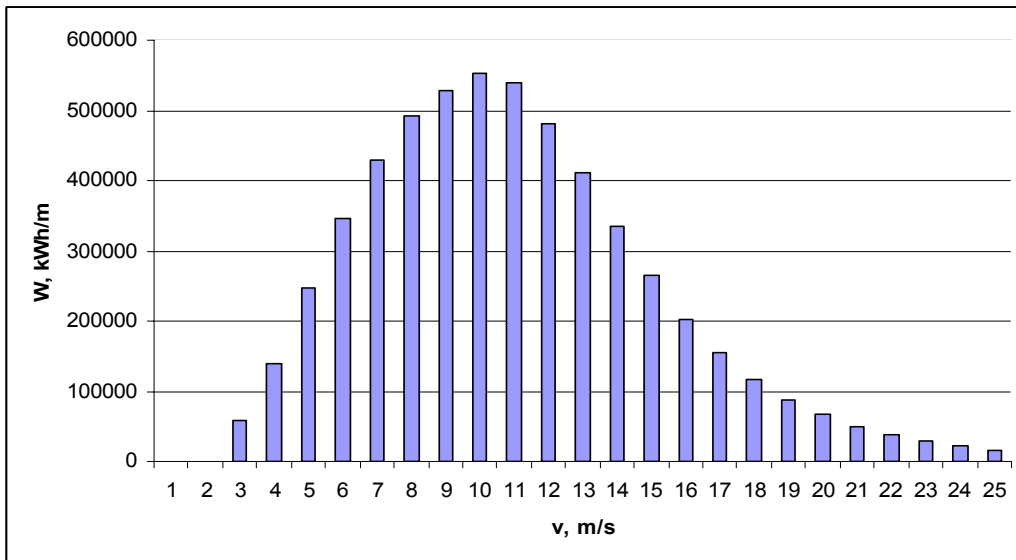
Atlikus skaičiavimus pagal anksčiau paminėtas formules gauti rezultatai pateikti 14 lentelėje.

Vėjo greičių pasiskirstymas valandomis, pagaminamos elektros energijos kiekiai tam tikriems vėjo greičiams

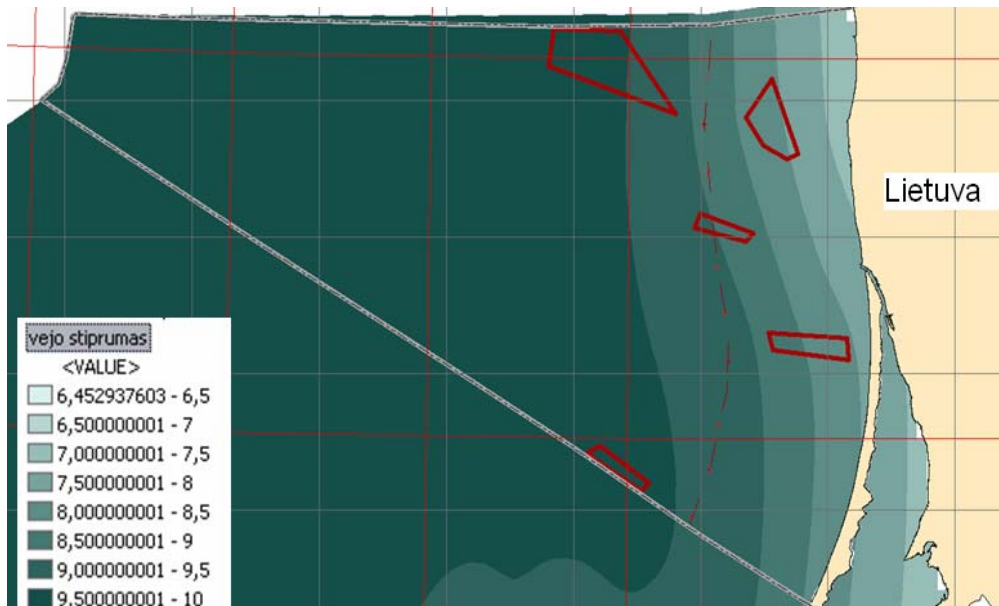
14 lentelė

Vėjo greitis	Pasiskirstymas	Galia iš gamintojo galios kreivės prie oro tankio $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$	Elektros energijos kiekis	Galios koeficientas iš gamintojo galios koeficiento kreivės prie oro tankio $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$
$V_i$ [m/s]	H [h/m]	P [kW]	W [kWh/m]	c(p) [ - ]
1	1871,172	0,0	0	0,00
2	1410,878	0,0	0	0,00
3	1063,813	55,0	58509,72	0,26
4	802,1227	175,0	140371,5	0,35
5	604,807	410,0	247970,9	0,42
6	456,03	760,0	346582,8	0,45
7	343,85	1.250,0	429812,5	0,47
8	259,265	1.900,0	492603,5	0,48
9	195,488	2.700,0	527817,6	0,48
10	147,4	3.750,0	552750	0,48
11	111,14	4.850,0	539029	0,47
12	83,8	5.750,0	481850	0,43
13	63,2	6.500,0	410800	0,38
14	47,7	7.000,0	333900	0,33
15	36	7.350,0	264600	0,28
16	27,09	7.500,0	203175	0,24
17	20,43	7.580,0	154859,4	0,20
18	15,4	7.580,0	116732	0,17
19	11,61	7.580,0	88003,8	0,14
20	8,75	7.580,0	66325	0,12
21	6,6	7.580,0	50028	0,11
22	5	7.580,0	37900	0,09
23	3,75	7.580,0	28425	0,08
24	2,83	7.580,0	21451,4	0,07
25	2,13	7.580,0	16145,4	0,06

Susumavus visus energijos kiekius  $W_i$  tikėtinas Enercon E-126 vėjo elektrinės pagaminamos elektros energijos kiekis per metus kWh. 5609642kWh.



15 pav. Vėjo elektrinės pagaminamos elektros energijos charakteristika.



16 pav. Vėjo stiprumas jūroje Lietuvos teritorijoje.

Ekonominiai ir energetiniai skaičiavimai pagal vėjo elektrinės bokšto aukščius

Pagal [2] duomenis, orientacinės VE bazinės kainos su pristatymu į vietą yra tokios: su 65 m. bokštu – 1,795 mln. eurų, 86 m. – 1,90 mln. eurų, 99 m. – 2,050 mln. eurų ir 114 m. – 2,250 mln. eurų. VE bazinė kaina kinta nuo bokšto aukščio ir transportavimo.

VE pamato kaina kintanti ir priklauso nuo grunto, tačiau gamintojo pateiktos ribos lieka nedaug pakitusios padidėjus bokšto aukščiui. Pamato kaina skaičiavimams atlikti priimta, kad kaina vienoda ir nepriklauso nuo VE bokšto aukščio, nes gamintojo pamato skirtumo ribos nuo 1000-5000 eurų. Transformatoriaus ir krano kaina nekinta statant, vieną vėjo elektrinę. Statant vėjo elektrinių parkus, krano kaina kinta, nes kaina priklauso nuo statomų VE skaičiaus.

Ekonominiams ir energetiniams skaičiavimams atlikti priklausomybei nuo bokšto aukščio imamas vėjo elektrinės bazinės kainos ir transportavimo išlaidų skirtumas, bei VE bokšto aukščio skirtumo įtaką pagaminamos elektros energijos kiekiui.

Vėjo elektrinės pastatymo ir įsigijimo kaina apytiksliai būtų apie vieną milijoną eurų už 1 MW. Taigi mūsų pasirinkta 7,5MW galios vėjo elektrinė kainuotų 7,5 mln. eurų, arba 25,875 mln. litų.. Vėjo elektrinėse pagaminamos elektros energijos supirkimo kaina 0,3 Lt/kWh. Bendras VE pagamintos elektros energijos kiekis  $\Sigma W = 5609642 \text{ kWh}$ .

Pelnas, gautas pardavus elektros energiją:

$$C = 5609642 \cdot 0,3 \text{ Lt} / \text{kWh} = 1682892,6 \text{ Lt}$$

Projektuojamuose parkuose, numatoma pastatyti 128 vėjo elektrines tai pelnas pardavus elektros energiją:

$$C_1 = 1682892,6 \cdot 128 = 215410252,8 \text{ Lt}.$$

Vėjo elektrinių parkų kaina - 3312000000 Lt.

Jūrinių pastočių kaina - 20260000 Lt.

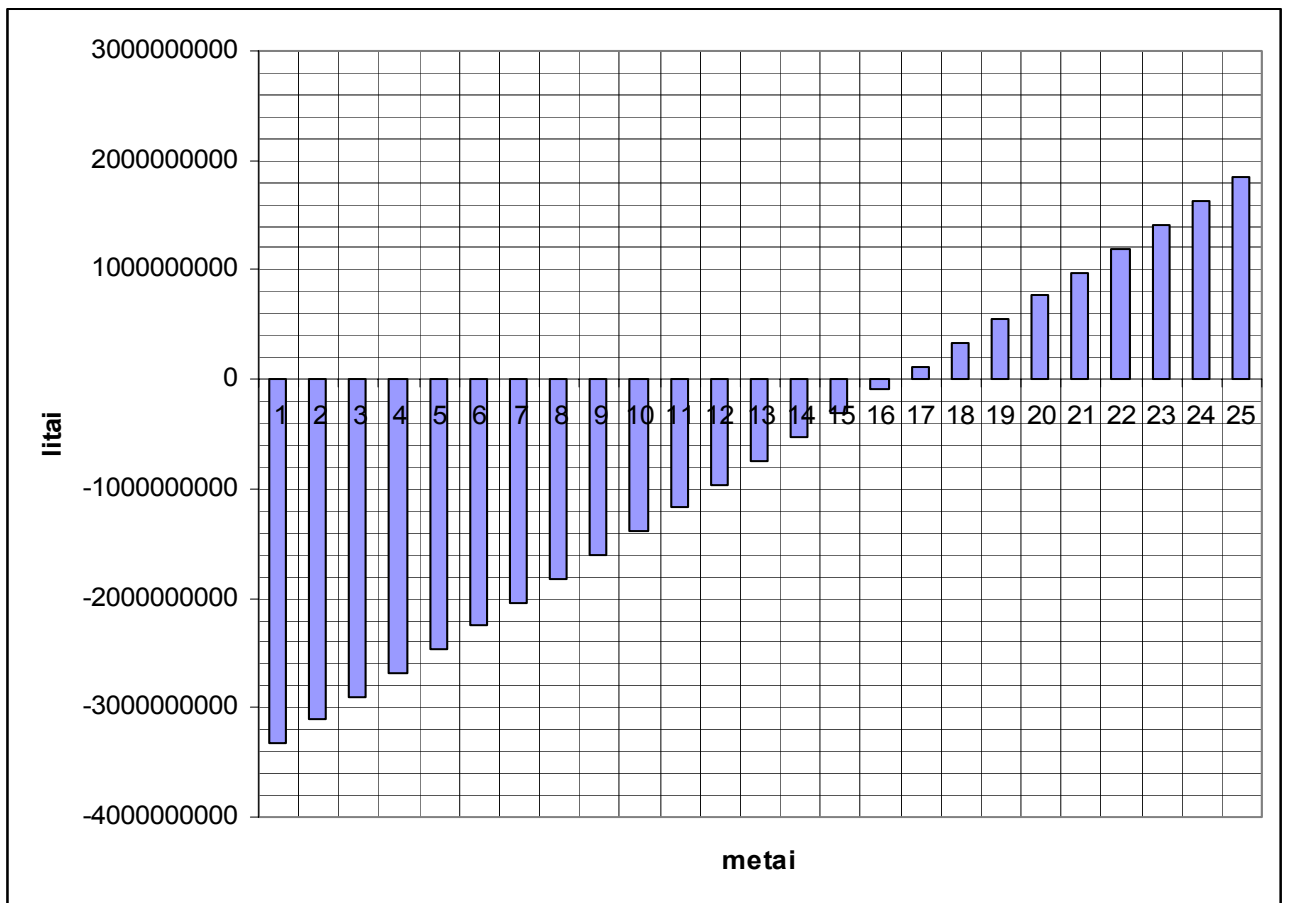
Darbėnų pastoties kaina - 11808400

Kabelių kaina - 200000000

Jūrinės pastoties aprašymas pateiktas šio darbo šeštame skyrelyje, Darbėnų pastoties įrenginių kainos pateiktos šio darbo ketvirtame skyrelyje. Viso : 3544068400 litų.

$$T_{at} = \frac{3544068400}{215410252,8} = 16,5$$

Vėjo elektrinių parkai atsiperks po 17 metų.



17 pav. VE parkų atsiperkamumas.

## 9. Išvados.

Ar verta statyti vėjo elektrinių parką Baltijos jūroje? Verta, nes, nežiūrint į šalies politinę ir ekonominę padėtį, tai yra naujos darbo vietos, tai netik vėjo elektyrinių statyba, bet ir gamyba, mokslinė veikla, darbuotojų kvalifikacijos kėlimas.

Ši galimybių studija parodė, kad yra galimybė Baltijos jūroje statyti vėjo elektrinių parką.

Todėl :

1. Lietuvoje priekrančių vėjo elektrinėms statyti parenkamos pereinamojo gylio 7,5 MW galios, 126m aukščio vėjo elektrines.
2. Penkiuose vėjo elektrinių parkuose pastatyti 128 vienetus vėjo elektrinių. Bendra parkų galia 960 MW.
3. Įrengti vieną jūrinę pastotę su dviem 35/330 kV transformatoriais.
4. Sujungti jūrinę pastotę dviem linijomis su nauja Darbėnų 330kV pastotimi.
5. Įvertinus elektrinių sujungimų schemas 330 kV pastotę Darbėnuose statyti žiedinio jungimo.

Norint gauti didesnę ekonominę efektą, reikia sutrumpinti atsipirkimo laiką. Dabar, kol Lietuvoje nepatenkinama ekonominė situacija, šis klausimas yra prioritetas: ką reikia padaryti, kad vėjo elektrinių atsipirkimo laikas sutrumpėtų? Tai būtų kitų tyrimų uždavinys.



## 10.Literatūra

1. KYTRA,Stasys; *Atsinaujinantys energijos šaltiniai* . Kaunas 2006. p.112- 169.
2. Prieiga per internetą <http://www.technologijos.lt>
3. NEVARDAUSKAS E.V. *Vėjo elektrinių prijungimo prie Lietuvos elektros energetikos sistemos techninės taisyklės*. Patvirtintos 2004 m. balandžio 6 d. Ūkio ministro įsakymu Nr. 4-102. Valstybės žinios, 2004.
4. Mokslas ir gyvenimas 2007 8
5. Vilniaus universiteto ekologijos institutas, Vėjo energijos panaudojimas atviroje jūroje Šventosios – palangos atkarpoje.Vilnius, 2007. p. 15-17.
6. BRUNONAS Gailišius; KRIAUCIŪNIENĖ, Jūratė; KOVALENKOVIENĖ Milda , *Baltijos jūros priekrantės hidrodinaminis modeliavimas*. 2000m.
7. PIDRE J. C; CARRILLO C. J; FEIJOO LORENZO A. E. *Probabilistic model for mechanical power fluctuations in asynchronous wind parks // IEEE Transaction on Power Systems*. May 2003.
- 8.. LSTN EN 61400-21, Vėjo elektrinių generatorių sistemos. 21 dalis. Prie elektros tinklų prijungtų vėjo elektrinių elektros kokybės charakteristikų matavimas ir įvertinimas. 2001
9. DEKSNYS Rimantas Pranas; STANIULIS Robertas; MIŠKINIS Vaclovas. *Elektrinių ir pastočių elektrinės dalies kursinis projektavimas*. Kaunas 2008.
10. Prieiga per internetą :<<http://www.enercon.de>> [2010.01.24]

**Priedai:**

