



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Gedas Dilius

**2 MW VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO PRIJUNGIMAS PRIE
SKIRSTOMOJO ELEKTROS TINKLO TAURAGĖS RAJONE IR JO
EKONOMINIS VERTINIMAS**

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas

Lekt. dr. Ramūnas Deltuva

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**2 MW VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO PRIJUNGIMAS PRIE
SKIRSTOMOJO ELEKTROS TINKLO TAURAGĖS RAJONE IR JO
EKONOMINIS VERTINIMAS**

Baigiamasis bakalauro projektas
Atsinaujinančioji energetika (612E33001)

Vadovas

Lekt. dr. Ramūnas Deltuva
2015 m. d.

Recenzentas

.....
2015 m. d.

Projektą atliko

Gedas Dilius
2015 m. gegužės 19 d.

KAUNAS, 2015

BAKALAURO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTISIšduota studentui: **Gedui Diliui**Grupė **EAE-1/1****1. Darbo tema:**

Lietuvių kalba: 2 MW Vėjo elektrinių parko prijungimas prie skirstomojo elektros tinklo Tauragės rajone ir jo ekonominis vertinimas

Anglų kalba:

Connection of 2 MW Wind Power Park to the Electric Power Distribution Network in Tauragė District and its Economic Assessment

Patvirtinta 2015 m. balandžio mėn. 7 d. dekanų potvarkiu Nr. ST18-F-03-1

2. Darbo tikslas:

Išanalizuoti ir suprojektuoti 2 MW galingumo vėjo parko prijungimo galimybę prie esamo 10 kV elektros tinklo Tauragės raj.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Darbo tikslui pasiekti keliami šie uždaviniai:

1. Parinkti vėjo elektrinę bei elektros įrenginius išnaudojant turimus resursus;
2. Atlikti trumpųjų jungimų ir galios srautų pasiskirstymo skaičiavimus;
3. Atlikti vėjo parko prijungimo prie elektros tinklo ekonominį vertinimą;
4. Atlikti finansinio atsiperkamumo vertinimą.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BBP pobūdį, pateiktą Metodinių reikalavimų 14 ir 15 punktuose.

Skaičiuojamojo-aiškinamojo bakalauro baigiamojo projekto turinys (nagrinėjami klausimai):

1. Įvadas (darbo pagrindimas, aktualumas, tikslai ir uždaviniai);
2. Objekto charakteristika: atsinaujinančių energetikos išteklių plėtra ir panaudojimas, elektros energetikos tinklas Lietuvoje, vėjo energetikos vystymas ir jos pritaikomumas, vėjo elektrinių generatoriai, jų veikimo principas, vėjo parkų tipai ir taikymas, vėjo elektrinių apibūdinimas, apkrovos analizė, ir situacijos planas;
3. Vėjo elektrinių parko projektas: elektros energijos vartotojų apkrovos, elektros energijos tiekimo schemos parinkimas, Vėjo elektrinių parko schemos bei elementų parinkimas, trumpųjų jungimų skaičiavimas, apsaugos nuo trumpųjų jungimų parinkimas, apsaugos nuo viršįtampių parinkimas, įrenginių įžeminimas, elektros įrenginių specifikacijos sudarymas;
4. Objekto ekonominis įvertinimas;
5. Išvados;
6. Literatūros sąrašas;
7. Priedai (schemos ir planai).

5. Ekonominė dalis. Jei reikia ekonominio pagrindimo; turinys ir apimtis konkretizuojama darbo eigoje kartu su vadovu.

Apskaičiuoti naujai statomo 2 MW galingumo vėjo parko ekonominius rodiklius ir atsiperkamumo laikotarpį. Numatyti ir įvertinti eksploatavimo išlaidas.

6. Grafinė dalis. Jei reikia, pateikiama schemos, algoritmai ir surinkimo brėžiniai; turinys ir apimtis konkretizuojama darbo eigoje kartu su vadovu.

- Skirstomojo elektros tinklo Tauragės TP 110/35/10 kV operatyvinė schema,
- Vėjo elektrinių parko prijungimo prie 10 kV skirstomojo elektros tinklo operatyvinė schema,
- Aktyviosios galios srautų pasiskirstymo schemos.

7. Ši užduotis yra neatskiriama bakalauro baigiamojo projekto dalis**8. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas**

iki 2015-05-30

(data)

Užduotį gavau: **Gedas Dilius**

(studento vardas, pavardė, parašas)

2015-02-16

(data)

Vadovas: **lekt. dr. Ramūnas Deltuva**

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

2015-02-16

(data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Gedas Dilius

(Studento vardas, pavardė)

Atsinaujinančioji energetika 612E33001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „2 MW Vėjo elektrinių parko prijungimas prie skirstomojo elektros tinklo Tauragės rajone ir jo ekonominis vertinimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 m. birželio 19 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Gedo Diliaus** baigiamasis projektas tema „2 MW Vėjo elektrinių parko prijungimas prie skirstomojo elektros tinklo Tauragės rajone ir jo ekonominis vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Dilius, G. 2MW vėjo elektrinių parko prijungimas prie skirstomojo elektros tinklo Tauragės rajone ir jo ekonominis vertinimas. Atsinaujinančiosios energetikos bakalauro baigiamasis darbas / vadovas lekt. dr. Ramūnas Deltuva; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2015. 46 psl.

SANTRAUKA

Vėjo energija yra atsinaujinanti, neteršianti aplinkos, nemokama ir nepriklausoma elektros energijos gamybos rūšis. Pasaulyje brangstant iškastiniam kurui vis didesnę įtaką turi atsinaujinanti energija.

Šiame darbe projektuojamas 2 MW vėjo elektrinių parko prijungimas prie 10 kV elektros tinklo. Darbe yra parenkamos keturios EWT DIRECTWIND po 500 kW horizontalios ašies vėjo elektrinės, kurios yra jungiamos prie Tauragės 110/35/10 kV pastotės 10 kV šynų. Projekte apskaičiavus trumpuosius jungimus parenkami galios kabeliai, bei parenkami modulinėje pastotėje esantys įrenginiai.

Atliekamas vėjo elektrinių prijungimo prie tinklo galimybių vertinimas, galios srautų pasiskirstymas tinkle, kai tinklo apkrova minimali arba maksimali, galių pasiskirstymas tinkle paros laikotarpiu vartotojams. Atliekamas objekto ekonominis vertinimas.

Darbo pabaigoje pateikiamos išvados apie atliktus skaičiavimus.

Reikšminiai žodžiai: vėjo parkas, vėjo elektrinė, prijungimas, ekonominis vertinimas.

Dilius, G. Connection of 2 MW wind power park to the electric power distribution network in Tauragė district and its economic assessment. Final project of Renewable Energy Engineering bachelor degree / supervisor lekt. dr. Ramūnas Deltuva; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical Energetics Systems.

Kaunas, 2015. 46 psl.

SUMMARY

Wind energy is a renewable, non-polluting, free and independent power generation type. When in a world fossil fuels becoming more and more expensive that enables growing interest in renewable energy.

In the work is projected 2 MW wind farm and connected to the 10 kV power distribution network. In the work there are selected four EWT DIRECTWIND by 500 kW horizontal-axis wind turbines and they are connected to Tauragės 110/35/10 kV 10 kV substation busbars. In project, by calculated short-circuits, selected power cables and modular substation equipment.

Performed wind power grid connection possibilities evaluation, power flow distribution network when the network load minimum or maximum, the power load distribution in twenty-four hours to the network users. Carried out an economic assessment of the object.

At the end of the work is presented the conclusions of the calculations.

Keywords: wind park, wind power plant, connection, economic evaluation.

TURINYS

IVADAS.....	10
1. ATSINAUJINANČIŲ ENERGETIKOS IŠTEKLIŲ PLĖTRA IR PANAUDOJIMAS	11
2. ELEKTROS ENERGETIKOS TINKLAS LIETUVOJE	13
3. VĖJO ENERGETIKA IR JOS PANAUDOJIMAS	14
3.1 Vėjo generatoriai	14
3.2 Vėjo elektrinės veikimo principas	16
3.3 Vėjo parkų tipai ir taikymas	17
4. VĖJO ELEKTRINĖS PARINKIMAS	18
5. PROJEKTINĖ DALIS	20
5.1 Vėjo parko projektavimo planas.....	20
5.2 Trumpųjų jungimų skaičiavimas	20
5.3 Vėjo parkui numatomi laidininkai ir jų parinkimas.....	25
5.4 Vėjo parko sistemos komponentai.....	27
5.4.1 Modulinė pastotė	27
5.4.2 Srovės ir įtampos matavimo transformatorių parinkimas	27
5.4.3 Narvelių parinkimas	28
5.4.4 Galios skyriklio charakteristikos.....	28
5.4.5 Viršįtampių ribotuvų parinkimas	30
5.4.6 Trumpojo jungimo indikatorių parinkimas	30
5.5 Vėjo elektrinių prijungimo galimybės prie 10 kV tinklo	31
5.6 Galios srautų pasiskirstymas	32
5.6.1 Apkrovos T-1 ir T-2 transformatoriuose.....	32
5.6.2 Galios srautų pasiskirstymas elektrines prijungus prie transformatoriaus T-1.	33
5.6.3 Galios srautų pasiskirstymas elektrines prijungus prie transformatoriaus T-2.	34
5.6.4 Paros galių pasiskirstymas skirstomajame tinkle	35
6. OBJEKTO EKONOMINIS VERTINIMAS	38
IŠVADOS.....	44
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	45
PRIEDAI	47
Priedas 1. 110/35/10 kV Tauragės TP operatyvinė schema.....	48
Priedas 2. 110/35/10 kV Tauragės TP ir VE operatyvinė schema	49
Priedas 3. 110/35/10 kV Tauragės TP VE prijungimo operatyvinė schema.....	50

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav.	Atsinaujinančių energijos išteklių plėtros scenarijai [7]	11
1.2 pav.	Elektros energijos gamybos iš atsinaujinančių energijos išteklių plėtra Lietuvoje [7]	12
2.1 pav.	Lietuvos perdavimo tinklo schema ir duomenys [11]	13
3.1 pav.	Atitinkamai Darrieus ir Savonius tipo vertikalios ašies vėjo turbinos [16]	14
3.2 pav.	Horizontalios ašies vėjo generatorius [10]	15
3.3 pav.	Vėjo turbinoje veikiančios dalys [21]	16
3.4 pav.	Sausumoje esantis vėjo elektrinių parkas [12]	17
3.5 pav.	Jūroje esantis vėjo elektrinių parkas. [19]	17
4.1 pav.	EWT DIRECTWIND 54-500kW vėjo elektrinės galios kreivė [17]	18
5.1 pav.	Trumpieji jungimai neįvertinus vėjo elektrinių	23
5.2 pav.	Trumpieji jungimai įvertinus vėjo elektrines	22
5.3 pav.	Trumpieji jungimai neįvertinus vėjo elektrinių	24
5.4 pav.	Trumpieji jungimai įvertinus vėjo elektrines	24
5.5 pav.	1 ir 2 vėjo elektrinės dirba pilna galia maksimalios apkrovos metu	34
5.6 pav.	1 ir 2 vėjo elektrinės dirba pilna galia minimalios apkrovos metu	34
5.7 pav.	3 ir 4 vėjo elektrinės dirba pilna galia maksimalios apkrovos metu	34
5.8 pav.	3 ir 4 vėjo elektrinės dirba pilna galia minimalios apkrovos metu	35
5.9 pav.	Galių pasiskirstymas paroje vartotojams	37
6.1 pav.	Metinės įmokos ir kredito likučio grafikas	41
6.2 pav.	Grynųjų pinigų srauto pasiskirstymas per dvidešimt metų	42

LENTELIŲ SĄRAŠAS

4.1 lentelė. Bendrieji vėjo elektrinės duomenys. [17]	19
5.1 lentelė. Linijų duomenys.....	20
5.2 lentelė. Kabelio techniniai duomenys [22]	25
5.3 lentelė. Srovės transformatoriaus Schneider electric OAM7 techniniai duomenys [14].....	27
5.4 lentelė. Įtampos transformatoriaus Schneider electric OVC2 techniniai duomenys [14].....	28
5.5 lentelė. Techniniai Schneider electric MCset narvelių duomenys [9]	28
5.6 lentelė. Galios skyriklio Shneider electric LBSkit duomenys [8]	29
5.7 lentelė. Viršįtampių ribotuvo Etisurge INZP 12 10 techniniai duomenys [5]	30
5.8 lentelė. Trumpojo jungimo indikatorius Navigator techniniai duomenys [15].....	30
5.9 lentelė. Tinklo paros apkrovos dirbant dviem elektrinėms.....	35
5.10 lentelė. Tinklo paros apkrovos dirbant keturioms elektrinėms.....	36
6.1 lentelė. Pradiniai duomenys.....	38
6.2 lentelė. Paskolos gražinimo grafikas	40

IVADAS

Vėjo energija šiuo metu yra viena iš sparčiausiai besivystančių atsinaujinančios energetikos šakų. Lietuvoje ir pasaulyje statoma vis daugiau komercinių vėjo turbinų parkų, bendra instaliuota galia Lietuvoje siekia 282 MW, tai sudaro 77 proc. visos atsinaujinančius išteklius naudojančių elektrinių įrengtosios galios. Iki 2020 metų Lietuvoje prie elektros tinklų prijungtų vėjo elektrinių įrengtoji suminė galia turėtų būti padidinta iki 500 MW, tai yra beveik dvigubai. Per ateinančius 15 metų Lietuva galėtų išplėsti energetikos ūkį taip, kad nuo 24 iki 35 proc. suvartojamos elektros energijos būtų pagaminta iš atsinaujinančių energijos išteklių.

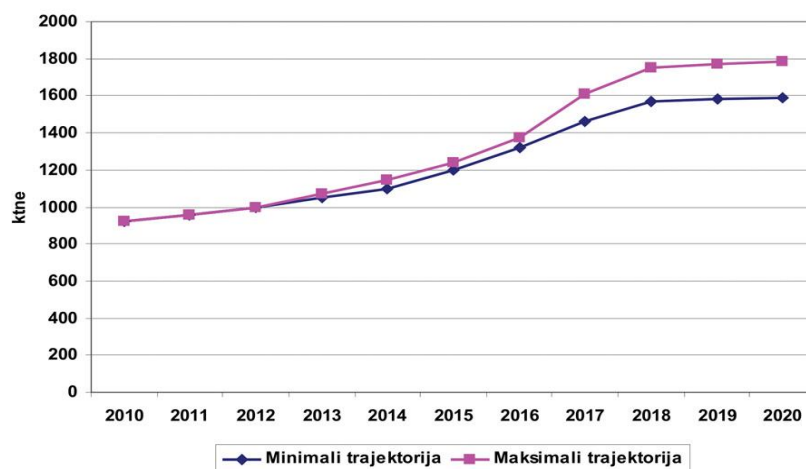
Vėjo elektrinių parkų gaminama elektra šiuo metu superkama taikant 7,5 ct/kWh fiksuotą elektros energijos gamybos kainą. Iš visų elektros energijos gamintojų, gaminančių atsinaujinančių išteklių elektros energiją, ji yra mažiausia. Toliau tobulėjant vėjo elektrinių technologijoms tikėtina, kad atotrūkis tarp rinkos kainos ir fiksuotos elektros energijos gamybos kainos ir toliau mažės.

Europa turi didelę vėjo elektrinių parkų eksploatavimo patirtį. Kintant vėjo elektrinių galingumui ir vystantis technologijoms, kito ir prijungimo bei valdymo metodai. Vieningos parkų prijungimo schemos nėra, kiekvienu atveju pasirenkamas tai vietai tinkantis tiek techniniu, tiek ekonominiu požiūriu tinkamiausias variantas, neretai apsunkinantis jų vieningo valdymo galimybes. Vis daugiau valstybių susikuria palankias įstatymines bazes atsinaujinančiųjų šaltinių energetikai plėtoti. Labai palankias bazes turi Vokietija, Danija, Ispanija, Jungtinė Karalystė. Lietuva palankios visapusiškos įstatyminės bazės atsinaujinančiųjų šaltinių energetikai plėtoti dar neturi.

1. ATSINAUJINANČIŲ ENERGETIKOS IŠTEKLIŲ PLĖTRA IR PANAUDOJIMAS

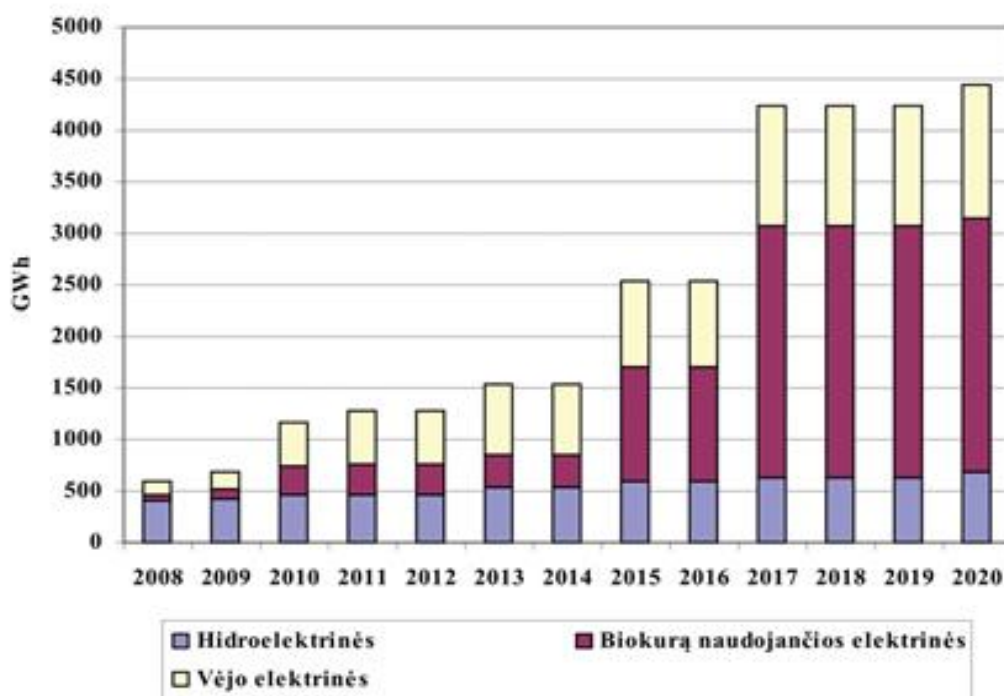
Atsinaujinančių energijos išteklių (toliau AEI) plėtra yra vertinama kaip svarbus nacionalinis uždavinys, užtikrinantis tvarią energetikos sektoriaus plėtrą ir šalies energetinę nepriklausomybę. Naudojant daugiau energijos, pagamintos iš atsinaujinančių energijos išteklių, mažėja poreikis iškastinio kuro importui, užtikrinamas efektyvesnis šalies energetinių išteklių panaudojimas, mažėja išmetamų į atmosferą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis ir mažinamas energetikos sektoriaus poveikis klimato kaitai. Taip pat pažymėtina, kad 2009 m. balandžio 23 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje 2009/28/EB dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją, visoms ES šalims narėms buvo nustatyti nacionaliniai atsinaujinančių energijos išteklių dalies, palyginti su šalies bendruoju galutiniu energijos suvartojimu, tikslai, kuriuos šalys turi įgyvendinti iki 2020 m. Lietuvai nustatytas 23 proc. galutinio AEI suvartojimo dalies tikslas lyginant su bendru galutiniu energijos suvartojimu. [6]

Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo galimybės šiuo metu nėra pakankamai panaudotos – jų dalį Lietuvos bendrųjų galutinių sąnaudų struktūroje tikslinga padidinti iki 23 %. Tokias jų plėtros apimtis galima užtikrinti netaikant jokių paramos schemų, jei energetikos sektoriaus funkcionavimas būtų grindžiamas laisvos rinkos principais. Pagrindinis įtakojantis veiksnys, skatinantis platesnę atsinaujinančių energijos išteklių plėtrą, yra energetikos objektų funkcionavimo išlaidas vertinantys išoriniai kaštai, nustatomi per mokesčius už į atmosferą išskiriamas CO₂ dujas. Tokiu atveju atsinaujinančių energijos išteklių, kuriuos racionalu panaudoti šalies ūkio energetinėms reikmės tenkinti, apimtis per dešimtmetį tikslinga padidinti 1,8–2 kartus (1.1 pav.). [7]



1.1 pav. Atsinaujinančių energijos išteklių plėtros scenarijai [7]

Jų dalis 2020 m. pasiektų 26–29 %. Pateiktuose scenarijuose reikšmingas indėlis tenka elektros gamybai iš atsinaujinančių energijos išteklių (1.2 pav.), iš kurių 2020 m. galima pagaminti 27–31 % šalies ūkiui reikalingos elektros energijos.



1.2 pav. Elektros energijos gamybos iš atsinaujinančių energijos išteklių plėtra Lietuvoje [7]

Hidroelektrinių plėtra ir panaudojimas elektros energijai gaminti, kaip matyti iš diagramos (1.2 pav.) nėra didelės perspektyvos, nes hidroelektrinių statybai dažniausiai reikia užtvėnkinti upes, o tai padaryti trukdo gamtosauginiai reikalavimai. Saulės elektrinių kaina ir saulės panelės sparčiai pinga, tačiau pagaminti dideliems elektros energijos kiekiams reikia labai didelių žemės plotų. Perspektyviausi atsinaujinantys energijos ištekliai yra vėjo elektrinės, dėl nemažo vėjo potencialo Lietuvoje ir elektrinių efektyvumo, bei biokurą naudojančios elektrinės, dėl mažos kuro kainos.

2. ELEKTROS ENERGETIKOS TINKLAS LIETUVOJE

Lietuvos elektros energetikos tinklas susideda iš sujungtų aukštos įtampos perdavimo tinklo linijų, žemos įtampos skirstomųjų linijų ir tarpusavyje suderintu režimu veikiančių elektros įrenginių, skirtų elektros energijai perduoti ir skirstyti.

„Litgrid“ yra elektros perdavimo sistemos operatorius. Įmonė valdo Lietuvos elektros perdavimo tinklą ir atsako už jo plėtrą. Pagrindinė funkcija – užtikrinti veiksmingą ir patikimą Lietuvos elektros sistemos darbą. Rūpintis jungiamųjų linijų su kitomis elektros sistemomis valdymu, jų eksploatavimu ir koordinuota plėtra. Užtikrina, kad perduodama elektros energija bus kokybiška. Vardinis tiekiamos įtampos dažnis turi būti tarp 49,5 ir 50,5 Hz. Įgyvendina strateginius elektros jungčių su Lenkija „LitPol Link“ ir Švedija „NordBalt“ projektus, juos planuojama baigti 2017m. Lietuvos 330–110 kV įtampos elektros perdavimo tinklas apima 234 transformatorių pastotes ir skirstykklas bei apie 6690 km elektros perdavimo linijų. Bendra 330 kV transformatorių įrengtoji galia – 4225 MW, o 110 kV transformatorių – 92,6 MW. [11]



2.1 pav. Lietuvos perdavimo tinklo schema ir duomenys [11]

Lietuvos elektros skirstomųjų tinklų operatorius yra „AB LESTO“ jos pagrindinės funkcijos yra elektros energijos persiuntimas vartotojams skirstymo tinklais, vartotojų poreikių tenkinimas, skirstomųjų tinklų eksploatavimas, priežiūra, valdymas ir plėtojimas, jų saugumo ir patikimumo užtikrinimas. Skirstomąjį tinklą sudaro 121,698 tūkst. km elektros linijų: 78,7 proc. jų sudaro elektros oro linijos, o 21,3 proc. – elektros kabeliai. Taip pat LESTO ūkį sudaro 930 vnt. 110/35 kV transformatorių pastovių bei skirstomųjų punktų ir 35 913 vnt. transformatorių. [13]

3. VĖJO ENERGETIKA IR JOS PANAUDOJIMAS

3.1 Vėjo generatoriai

Šiuolaikiniai vėjo generatoriai yra tūkstantmečio, vėjo malūnų, evoliucijos rezultatas. Šiandien labiausiai paplitusios vėjo generacijos elektrinės yra vertikalių ir horizontalių ašių tipų. Mažosios turbinos iki 50 kW naudojamos baterijoms krauti, kaip pagalbinis energijos šaltinis valtimis, mobiliems namams arba šviečiantiems eismo ženklams pamaitinti. Truputį didesnio galingumo vėjo generatoriai gali aprūpinti namų ūkį elektra, nesunaudotą jos dalį galima parduoti į bendrą elektros tinklą. Dideli vėjo generatoriai, kurių galios viršija vieną megavatą, pastatyti viename plote, dar žinomi kaip vėjo parkai, tampa vis svarbesniu atsinaujinančiosios energijos šaltiniu. Dauguma šalių investuoja į vėjo parkų statybą tam, kad sumažintų priklausomybę nuo iškastinio kuro. [10]

Vertikalios ašies vėjo generatorius (3.1 pav.). Tokio tipo vėjo elektrinių pranašumas yra tame, jog jų nereikia nukreipti į vėją, kad elektrinė būtų efektyvi, todėl jas naudinga statyti ten, kur vėjo kryptis dažnai keičiasi. Kitas pranašumas – generatorius ir greičių dėžė gali būti sumontuota ant žemės, o turbina iškelta naudojant tą patį veleną, tai palengvina generatoriaus aptarnavimą. Pagrindinis trūkumas šio tipo elektrinių yra palyginti mažas sukimosi greitis, kuris kartu su dideliu sukimo momentu sukuria didesnes jėgas, dėl ko padidėja varančiojo veleno kaina. Šių elektrinių galios koeficientas iš esmės yra mažesnis negu horizontalios ašies elektrinių, apkrovimas mentėms yra labai dinamiškas ir didelės sukamojo momento pulsacijos. [10]



3.1 pav. Atitinkamai Darrieus ir Savonius tipo vertikalios ašies vėjo turbinos [16]

Horizontalios ašies vėjo generatoriai (3.2 pav.). Pagrindinis rotoriaus velenas ir elektros generatorius tokio tipo elektrinėse būna sumontuotas bokšto viršuje, ir turi būti nukreiptos į vėjo pūtimo kryptį. Tai padaroma naudojant vėjo sensorius, kurie valdo bokšto viršuje esančią gondolą ir ją pasuka norima kryptimi. Turbinos bokštas sukelia vėjo sūkurius, dėl to dažniausiai mentės būna išdėstytos priešais atraminį bokštą, priekiu į vėją. Dažniausiai gaminamos turbinos su trimis mentėmis, pagamintomis iš standžios medžiagos, stiklo pluošto ir polimerų kompozito tam, kad veikiamos stiprių vėjų nesulinktų. Didelėms galioms išgauti, šio tipo vėjo turbinos plačiausiai naudojamos pasaulyje.



3.2 pav. Horizontalios ašies vėjo generatorius [10]

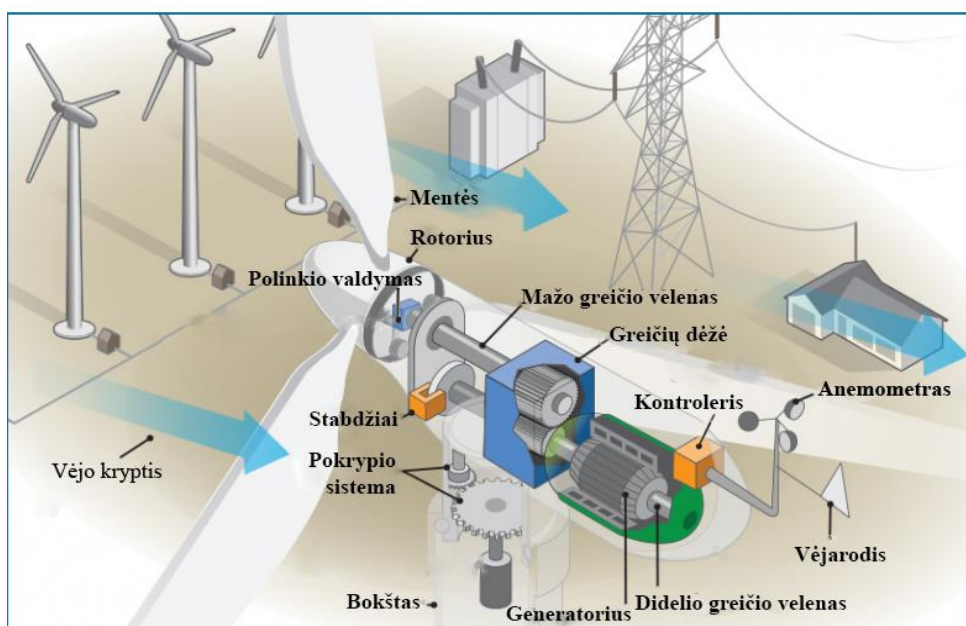
Vėjo elektrinių naudojimo atvejai. Pasirenkamos elektrinės dydis priklauso nuo vėjo elektrinės paskirties. Pavyzdžiui, jeigu numatyta elektrinę jungti į tinklą, jos galingumas turi siekti 50 – 2000 kW ir daugiau. Apskritai, mažos elektrinės į tinklą neįjungiamos. Pavyzdžiui, vėjo elektrinė vienam būstui gali būti nuo keleto iki 10 kW galingumo, priklausomai nuo elektros energijos poreikio. Šio tipo sistema turi turėti baterijų atsargą bei gali turėti atsarginį dyzelinį generatorių, kuris būtų įjungiamas visiškai nesant vėjo. Verslo kompleksai ar toli esančios bendruomenės gali naudoti panašias, tik didesnes sistemas. Kaimo bendruomenėse gali būti naudojamos 1 kW ar panašaus galingumo elektrinės baterijoms pakrauti bei elektrai tiekti mažesnėms reikmėms. [18]

Vėjo energijos panaudojimo būdai. Vėjo elektrinės gali būti įjungiamos į bendrą elektros tinklą, tada jų tiekiamą energiją paskirstoma vietiniame vartotojų tinkle, arba dirbti pavieniui, kai gaminama elektra naudojama netoli generavimo vietos. Pavienio naudojimo vėjo elektrinė yra tokia elektrinė, kuri

dirba nepriklausomai nuo išorinio elektros tinklo. Tačiau tokios sistemos gali dirbti kartu su kitais elektros generatoriais, kaip sudėtinės integruotos sistemos dalys. Paprastai tokios sistemos aprūpina energija gyvenamuosius, ūkinius pastatus ar smulkias įmones, generuoja pastovią elektros srovę, tinkamą baterijoms pakrauti. Vėjo elektrinių sistema gali būti ir su konverteriu, kuris paverčia baterijų tiekiamą nuolatinę elektros srovę į kintamą elektros srovę, kuri bus suvartojama namų ūkyje. Didesnių galių vėjo elektrinės ar jų parkai, aptarnaujantys kelias dešimtis namų, paprastai generuoja kintamą elektros srovę vietiniam tinklui. Tokios sistemos ypač naudingos vietovėse, toli nutolusiose nuo elektros tinklų. [18]

3.2 Vėjo elektrinės veikimo principas

Horizontalios ašies, trijų ašmenų vėjo generatoriaus veikimo principas. Vėjo generatoriai, tai prietaisai, kurie paverčia vėjo kinetinę energiją, atsirandančią vėjui pučiant, į elektros energiją. Energija, esanti vėjui pučiant, suka generatoriaus mentes apie rotorių. Rotorius sujungtas su pagrindiniu vėliu suka greičių dėžę ir generatorių, kurio pagalba generuojama kintama elektros energija. Anemometras išmatuoja vėjo greitį, gautus duomenis siunčia į kontrolerį, kuris paleidžia suktis vėjo elektrinę. Esant 2,5-7 m/s vėjo greičiui paleidžia suktis rotorių ir jį stabdo esant 25 m/s vėjo greičiui. Vėjo elektrinė veikiama didelio vėjo greičio gali būti sugadinta. Greičių dėžė jungia mažo ir didelio greičio vėlius, tai padeda padidinti apsisukimų greičius nuo 30-60 aps/min iki 1,000-1,800 aps/min. Tokiu greičiu dažniausiai veikia generatoriai, gaminantys elektros energiją. Remontuojant vėjo elektrinę, stabdžių pagalba sustabdomas rotorių. Polinkio valdymo pagalba mentės pasukamos tam, kad būtų kontroliuojamas rotoriaus greitis. Vėjarodis nustato vėjo kryptį ir komunikuodamas su pokrypio sistema nukreipia (pasuka) turbiną į vėją. [21]



3.3 pav. Vėjo turbinoje veikiančios dalys [21]

3.3 Vėjo parkų tipai ir taikymas

Vėjo elektrinių parkas - tai vienoje vietovėje esančių susietų vėjo jėgainių grupė. Vėjo jėgainių parko paskirtis – pramoninė elektros energijos gamyba. Vėjo elektrinių parkai yra dviejų tipų: žemyniniai - statomi sausumoje, ir jūriniai - statomi jūroje. Atskiros vėjo elektrinės parkuose yra sujungiamos į vidutinės įtampos (paprastai 10,5 kV) elektros sistemą. Vidutinė įtampa tekanti iš elektrinių padidinama transformatoriais, prieš jai patenkant į aukštos įtampos perdavimo sistemą. Dideliame vėjo jėgainių parke gali būti virš 100 vėjo jėgainių; vėjo jėgainių parkas gali driektis šimtus kvadratinų kilometrų, tačiau tarp atskirų elektrinių esantys žemės plotai gali būti naudojami žemdirbystei ar kitiems tikslams. [19]



3.4 pav. Sausumoje esantis vėjo elektrinių parkas [12]

Vėjo elektrinių parkai statomi jūroje dėl vienos labai svarbios priežasties, ten vėjo greitis yra didesnis negu žemyne, o taip pat ir generuojamos elektros energijos kiekis yra didesnis. Jūriniai brizai būna gan stiprūs rytais, o tai sutampa su laiku, kada žmonės naudoja daugiau elektros energijos. Jūros vėjų parkus galima statyti netoli nuo kranto, kur yra dideli miestai, taip eliminuojant poreikį brangioms perdavimo linijoms ir statomos elektrinės tampa vis didesnės, yra statomos iki 7 MW galingumo, o netolimoje ateityje projektuojamų elektrinių galia sieks 8 MW. Tačiau vėjo parkų statymas jūroje kol kas yra brangesnis beveik 2 kartus negu sausumoje, kainos gali svyruoti tarp 2,5-3,0 milijonų eurų/MW įskaitant infrastruktūrą, aptarnavimą, priežiūrą. [19]



3.5 pav. Jūroje esantis vėjo elektrinių parkas. [19]

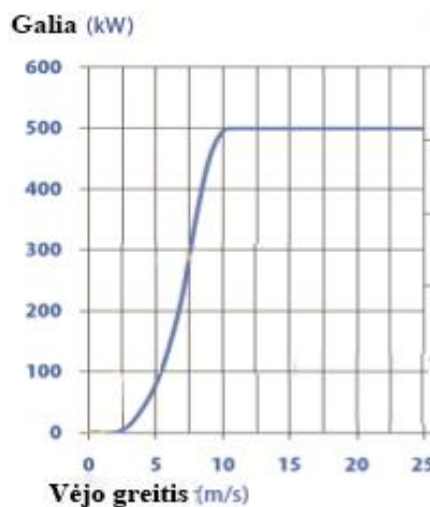
4. VĖJO ELEKTRINĖS PARINKIMAS

Renkantis vėjo elektrinės tipą reikia atkreipti dėmesį į kelis kriterijus: elektrinės įsijungimo ir stabdymo vėjo greičius; vėjo greitį, kuriam esant elektrinė pasiekia vardinę galią; vėjo elektrinės naudingumo koeficientą; veikimo patikimumą; vėjo elektrinės galios kreivę; vėjo elektrinės įrengto kilovato kainą; elektrinės įrengimo kainą; eksploatacines išlaidas ir pagamintos elektros energijos vieneto kainą.

Atsižvelgiant į tai, kad projektuojamo parko suminė galia bus 2 MW ir sklandžiam, bei patikimam elektros energijos tiekimui į skirstomąjį tinklą reikia daugiau nei vienos elektrinės. Išanalizavus pasaulyje gaminamų vidutinio galingumo vėjo elektrinių techninius duomenis, jų konstrukcijas ir galios kreives, skaičiavimams buvo pasirinktos keturios EWT gamybos vėjo elektrinės, kurių tipas DIRECTWIND 54-500 kW.

EWT vėjo elektrinės patartina pasirinkti dėl kelių gerų savybių ir pranašumų. Šio tipo vėjo elektrinėje naudojami daugiapoliai, lėto sukimosi sinchroniniai generatoriai, kurie sujungti tiesiogiai su vėjaračiu, nenaudojant pavarų dėžės. Dėl to ženkliai sumažėja vėjo elektrinės mašinų skyriaus gabaritai ir padidėja generatoriaus veikimo patikimumas vien dėl to, kad jis kur kas mažiau dėvisi. Pavyzdžiui, klasikinėse vėjo elektrinėse su didinančiomis sukimosi greitį pavarų dėžėmis generatorius per 3 mėnesius padaro tokį apsisukimų skaičių, kurį panašios galios EWT tipo vėjo jėgainės generatorius tokį pat apsisukimų skaičių padarytų veikdama dvidešimt metų. Maksimalią generaciją pasiekia prie gan žemo vėjo greičio 10 m/s. Vėjo elektrinė nesukelia didelio triukšmo ir nereikalauja didelių eksploatacinių išlaidų. Taip pat ji yra pilnai apsaugota nuo žaibo ir įžeminta.

EWT tipo vėjo elektrinė turi gerą galios kreivę, iš kurios matyti, kad vėjo energiją ši elektrinė išnaudoja plačiose ribose.



4.1 pav. EWT DIRECTWIND 54-500kW vėjo elektrinės galios kreivė [17]

Pavyzdžiui, DIRECTWIND 54-500kW tipo vėjo elektrinės įsijungimo vėjo greitis yra 2,5 m/s, o išsijungimo vėjo greitis turi būti 25 m/s ir trukti 10 min., kad vėjo elektrinė būtų stabdoma. Taigi, Lietuvoje praktiškai nereikėtų stabdyti dėl per didelio vėjo greičio (vėjo greičiai, didesni už nurodytus išjungimo vėjo greičius, Lietuvoje mažai tikėtini). Todėl šios vėjo elektrinės stovėdamos toje pačioje vietoje pagamintų ženkliai daugiau elektros energijos, negu kitų tipų analogai.

EWT tipo vėjo elektrinės produktyvumą padidina ir labai gera jų valdymo sistema, kuri kiekvienai vėjo greičio vertei palaiko optimalų vėjo elektrinės naudingo veikimo koeficientą ir eliminuoja nepageidaujamus generatoriaus galios pikus ir su tuo susijusias padidintas sistemos apkrovas. Šiose vėjo elektrinėse taip pat yra įrengta adaptivi vėjaračio orientavimo prieš vėją sistema, kuri kiekvienu momentu reaguoja į vėjo kryptį. Aktyvioji vėjaračio menčių sukiojimo sistema (active pitch control), priklausomai nuo vėjo greičio, nustato optimalų menčių pasukimo kampą. Taip užtikrinamas optimalus vėjo energijos perėmimas į vėjaratį.

4.1 lentelė. Bendrieji vėjo elektrinės duomenys. [17]

Vėjo elektrinės gamintojas ir gaminio pavadinimas	EWT DIRECTWIND54-500 kW
Vėjo elektrinės tipas (horizontalios ar vertikalios ašies)	Priešvėjinis, horizontalios ašies
Menčių skaičius	3
Sukimosi greičio valdymo tipas	Menčių pokrypio pagalba palaikomas pastovus greitis
Veleno ašies aukštis, m	75 m.
Vėjaračio skersmuo, m	54 m.
Generatoriaus tipas	Tiesioginio sukimo, sinchroninis
Generatoriaus (-ių) vardinė galia (-ios), kW	500 kW
Generuojama įtampa	10,5 kV (3 fazės)
Galios keitiklio tipas, paskirtis	AC-DC-AC IGBT aktyvus keitiklis, kontroliuoja generatorių, kad veiktų optimaliame režime
Vėjaračio šluojamas plotas	2290 m ²
Vardinė aktyvioji galia, P_n , kW	500 kW
Vardinis elektrinės veikos vėjo greitis, v_n , m/s	10 m/s
(Generavimo pradžios) paleisties vėjo greitis, m/s	2,5 m/s
(Priverstinio) stabdymo vėjo greitis, m/s	25 m/s (vid. per 10 min.)

5. PROJEK TINĖ DALIS

5.1 Vėjo parko projektavimo planas

Planuojama jungti keturias EWT firmos, DIRECTWIND tipo vėjo elektrines prie skirstomojo elektros tinklo, kurių suminė galia bus 2 MW. Dvi vėjo elektrinės po 500 kW jungiamos prie transformatoriaus T-1 (NRJED 110/35/10 – 25 MVA) 10 kV šynų, kitos dvi prie transformatoriaus T-2 (NRJED 110/35/10 – 25 MVA) 10 kV šynų.

Prie kiekvienos vėjo elektrinės montuojamas narvelis, kuriame numatomas galios skyriklis su įžeminimo peiliu, SF₆ dujiniu jungtuvu ir talpiniu įtampos buvimo indikatoriumi. Kiekvienai porai vėjo elektrinių, linijoje iki prijungimo taško, montuojamas viršįtampių ribotuvas, talpinis įtampos indikatorius, srovės ir įtampos matavimo transformatoriai. Nuo vėjo elektrinių iki prijungimo taško tiesiamas 10 kV 3x25 mm² kabelis iš susuktų aliuminio gyslų su XLPE izoliacija.

5.2 Trumpųjų jungimų skaičiavimas

Tinklo duomenys

Maksimali trifazio trumpojo jungimo srovė Tauragės 110/35/10 kV TP, 10 kV šynose:

$$I_{k \text{ maks}} = 3036 \text{ A.}$$

Minimali trifazio trumpojo jungimo srovė Tauragės 110/35/10 kV TP, 10 kV šynose:

$$I_{k \text{ min}} = 2590 \text{ A.}$$

5.1 lentelė. Linijų duomenys

Linijų Nr.	Linijų ilgiai	Aktyvioji varža	Reaktyvioji varža
L-401	L ₁ =640 m	R ₀₁ = 0,531 Ω/km	X ₀₁ = 0,362 Ω/km
L-402	L ₂ =4225 m	R ₀₂ = 3,846 Ω/km	X ₀₂ = 1,766 Ω/km
L-403	L ₃ =1640 m	R ₀₃ = 1,498 Ω/km	X ₀₃ = 0,670 Ω/km
L-404	L ₄ =950 m	R ₀₄ = 0,789 Ω/km	X ₀₄ = 0,537 Ω/km
L-405	L ₅ =2350 m	R ₀₅ = 2,139 Ω/km	X ₀₅ = 0,982 Ω/km
L-406	L ₆ =770 m	R ₀₆ = 0,703 Ω/km	X ₀₆ = 0,315 Ω/km

Pastotės transformatoriaus T-1 = T-2 duomenys:

$$U_N = 110/35/10 \text{ kV};$$

$$S_N = 25000 \text{ kVA};$$

$$U_k = 4,50\%.$$

Vėjo elektrinės asinchroninio generatoriaus duomenys:

$$P_N = 500 \text{ kW};$$

$$U_N = 10,5 \text{ kV};$$

$$\cos\varphi = 0,95;$$

$$I_N = 360 \text{ A}.$$

Trumpųjų jungimų skaičiavimas prie transformatoriaus T-1

Sistemos varža transformatorių pastotėje T-1 10 kV šynose maksimaliame režime:

$$Z_{Tmaks} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times I_{k maks}^{10}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times 3,036} = 2,00 \ \Omega. \quad (5.2.1)$$

Sistemos varža transformatorių pastotėje T-1 10 kV šynose minimaliame režime:

$$Z_{Tmin} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times I_{k min}^{10}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times 2,590} = 2,34 \ \Omega. \quad (5.2.2)$$

Linijos varža nuo T-1 iki linijos galo:

$$Z_{L12} = Z_1 + Z_2 + Z_3 = 5,875 + j2,798 \ \Omega. \quad (5.2.3)$$

Maksimali trifazio trumpojo jungimo srovė linijos gale:

$$I_{k12maks} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times (Z_{Tmaks} + Z_{L12})} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times \sqrt{5,875^2 + (j2 + j2,798)^2}} = 799 \text{ A}. \quad (5.2.4)$$

Minimali dvifazio trumpojo jungimo srovė linijos gale:

$$I_{k12\min} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times (Z_{Tmaks} + Z_{L12})} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times \sqrt{5,875^2 + (j2 + j2,798)^2}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 692 \text{ A} \quad (5.2.5)$$

10 kV linijos varža nuo transformatorių pastotės iki vėjo elektrinių:

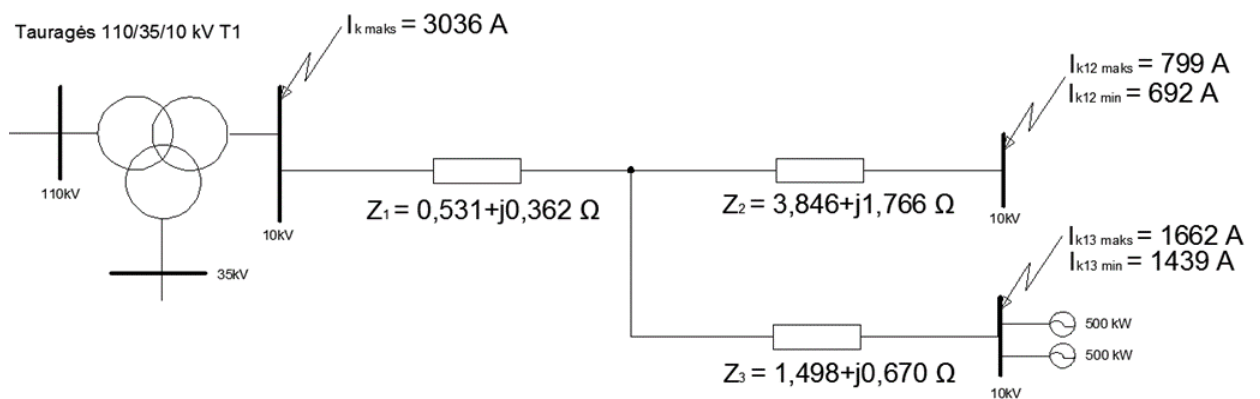
$$Z_{L13} = Z_1 + Z_3 = 0,531 + j0,362 + 1,498 + j0,670 = 2,03 + j1,03 \text{ } \Omega \quad (5.2.6)$$

Maksimali trifazio trumpojo jungimo srovė prie vėjo elektrinių:

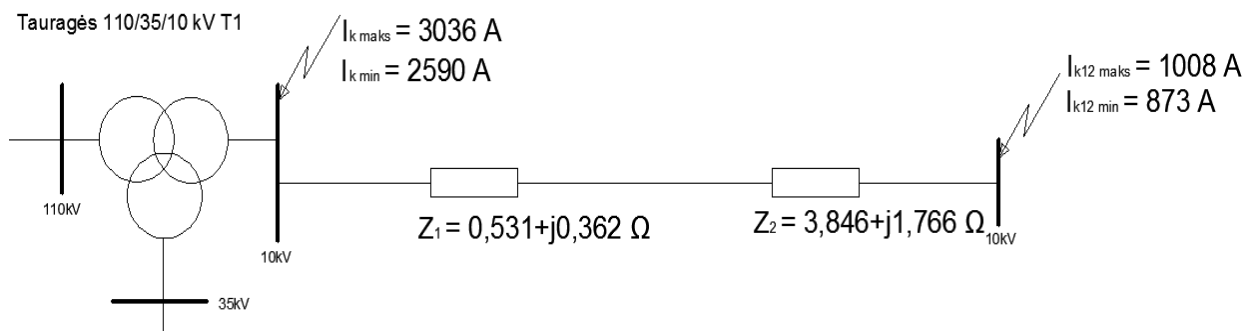
$$I_{k13maks} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times (Z_{Tmaks} + Z_{L13})} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times \sqrt{2,03^2 + (j2 + j1,03)^2}} = 1662 \text{ A} \quad (5.2.7)$$

Minimali dvifazio trumpojo jungimo srovė prie vėjo elektrinių:

$$I_{k13\min} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times (Z_{Tmaks} + Z_{L13})} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times \sqrt{2,03^2 + (j2 + j1,03)^2}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 1439 \text{ A} \quad (5.2.8)$$



5.1 pav. Trumpieji jungimai įvertinus vėjo elektrines



5.2 pav. Trumpieji jungimai neįvertinus vėjo elektrinių

Trumpųjų jungimų skaičiavimas prie transformatoriaus T-2

Sistemos varža transformatorių pastotėje T-2 10 kV šynose maksimaliame režime:

$$Z_{Tmaks} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times I_{k maks}^{10}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times 3,080} = 2,00 \, \Omega. \quad (5.2.9)$$

Linijos varža nuo T-2 iki linijos galo:

$$Z_{L45} = Z_4 + Z_5 + Z_6 = 3,631 + j1,834 \, \Omega. \quad (5.2.10)$$

Maksimali trifazio trumpojo jungimo srovė linijos gale:

$$I_{k45maks} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times (Z_{Tmaks} + Z_{L45})} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times \sqrt{3,631^2 + (j2 + j1,834)^2}} = 1148 \, A \quad (5.2.11)$$

Minimali dvifazio trumpojo jungimo srovė linijos gale:

$$I_{k45min} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times (Z_{Tmaks} + Z_{L12})} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times \sqrt{3,631^2 + (j2 + j1,834)^2}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 994 \, A \quad (5.2.12)$$

10 kV linijos varža nuo transformatorių pastotės iki vėjo elektrinių:

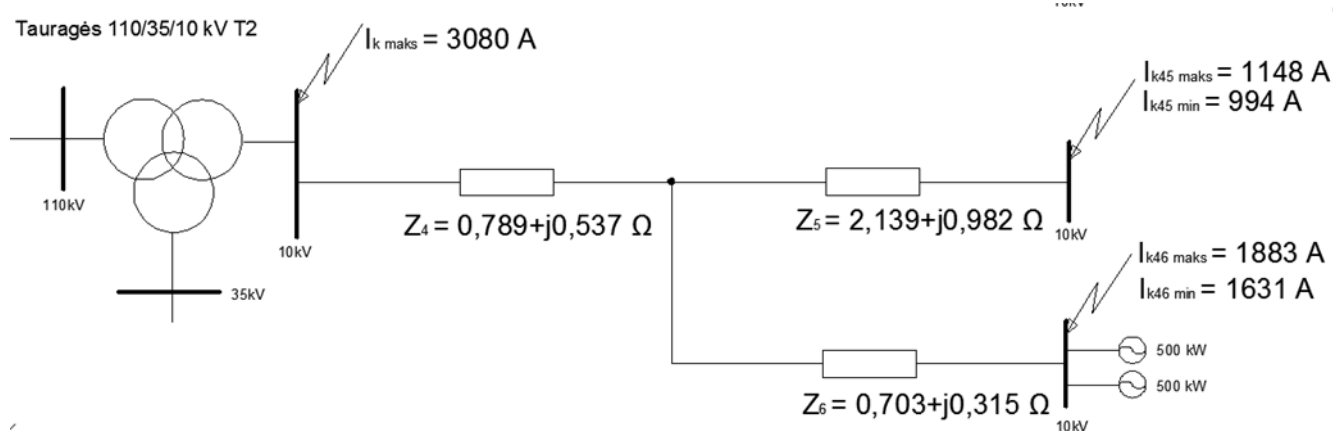
$$Z_{L46} = Z_4 + Z_6 = 0,789 + j0,537 + 0,703 + j0,315 = 1,492 + j0,852 \, \Omega. \quad (5.2.13)$$

Maksimali trifazio trumpojo jungimo srovė prie vėjo elektrinių:

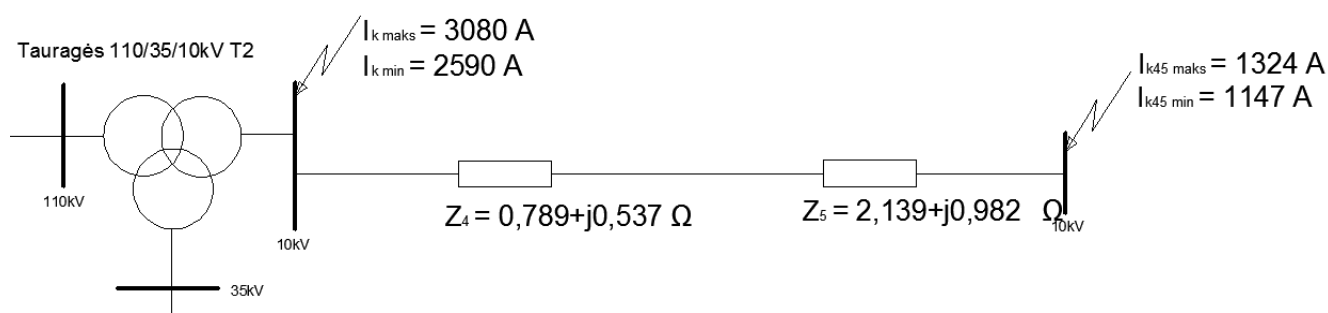
$$I_{k46maks} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times (Z_{Tmaks} + Z_{L46})} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times \sqrt{1,492^2 + (j2 + j0,852)^2}} = 1883 \text{ A} \quad (5.2.14)$$

Minimali dvifazio trumpojo jungimo srovė prie vėjo elektrinių:

$$I_{k46min} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} \times (Z_{Tmaks} + Z_{L46})} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \times \sqrt{1,492^2 + (j2 + j0,852)^2}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 1631 \text{ A} \quad (5.2.15)$$



5.3 pav. Trumpieji jungimai įvertinus vėjo elektrines



5.4 pav. Trumpieji jungimai neįvertinus vėjo elektrinių

5.3 Vėjo parkui numatomi laidininkai ir jų parinkimas

Dažniausiai jungiamiesiems kabeliams naudojami kabeliai su XLPE (ekstruduoto polietileno su skersiniais ryšiais) izoliacija. Parenkant 10 kV galios kabelį reikia apskaičiuoti pilną vėjo elektrinės generuojamą galią.

Vėjo elektrinės generuojama pilnoji galia:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{500}{0,95} = 526 \text{ kVA} \quad (5.3.1)$$

Galios kabeliu tekanti srovė:

$$I = \frac{2 \times S}{\sqrt{3} \times U_N} = \frac{1052}{\sqrt{3} \times 10,5} = 57,914 \text{ A} \quad (5.3.2)$$

Vėjo elektrinių prijungimui prie elektros skirstomojo tinklo parenkamas Oman cables firmos 3x25 mm² Aliuminio kabelis su XLPE izoliacija, kurio trumpojo jungimo maksimali srovė yra 2,35 kA per 1s . Kabelio maksimali ilgalaikė darbo srovė klojant grunte – 102 A. Kabelis klojamas 0,7 m gylyje.

5.2 lentelė. Kabelio techniniai duomenys [22]

Vardinė įtampa:	10 kV
Maksimalioji įtampa:	12 kV
Vardinis dažnis:	50 Hz
Eksploatavimo sąlygos:	Žemėje
Aplinkos temperatūra:	-35°C ... +35°C.
Kabelio konstrukcija:	A2XCEY
Laidininkų skaičius:	3
Laidininkas:	Suvytas supresuotas apvalus aliuminio laidininkas
Laidininkų ekranas:	Pusiau laidus XLPE.
Izoliacija:	XLPE.
Izoliacijos ekranas:	Pusiau laidus XLPE.
Centrinis laidininkas:	Suvyti trys aliuminio laidininkai
Apvalkalas:	Atsparus atmosferos poveikiams PE.
Kabelio gyslų skerspjūviai:	25 mm ²
Maksimali ilgalaikė kabelio temperatūra:	+ 90 °C.
Maks. kabelio temperatūra esant trumpajam jungimui (5 s):	+ 250 °C
Žemiausia klojimo temperatūra:	-20 °C.
Tarnavimo laikas:	> 40 metų.

Galios kabelis patikrinamas pagal laidininkų terminio atsparumo sąlygą:

$$S \geq S_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{c} \quad (5.3.4)$$

Čia: S_{min} – minimalus laidininko skerspjūvis;

B_K – šiluminis impulsas;

c – aliuminio kabelio trumpojo jungimo srovės reikšmė į srovėlaidžio kvadratinį milimetrą tankis $90 \text{ As}^{0,5}/\text{mm}^2$.

Norint apskaičiuoti šiluminį impulsą B_K , reikia rasti laiko pastoviąją T_a pagal formulę:

Linija L-401/403:

$$T_{a13} = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \times R_{\Sigma}} = \frac{1,03}{3,14 \times 2,03} = 0,162 \text{ A} \quad (5.3.5)$$

Linija L-404/406:

$$T_{a46} = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \times R_{\Sigma}} = \frac{0,85}{3,14 \times 1,49} = 0,182 \text{ A} \quad (5.3.6)$$

Skaičiuojamas šiluminis impulsas:

Linija L-401/403:

$$B_{K13} = I_{13}^2 (t_{atj} + T_{a13}) = 1439^2 (0,2 + 0,162) = 749,6 \text{ kA} \quad (5.3.7)$$

Linija L-404/406:

$$B_{K46} = I_{46}^2 (t_{atj} + T_{a46}) = 1631^2 (0,2 + 0,182) = 1016,2 \text{ kA} \quad (5.3.8)$$

Linija L-401/403:

$$S_{min13} = \frac{\sqrt{749600}}{90} = 9,6 \text{ mm}^2 \quad (5.3.9)$$

Linija L-404/406:

$$S_{min46} = \frac{\sqrt{1016200}}{90} = 11,2 \text{ mm}^2 \quad (5.3.10)$$

Parinktas galios kabelis tenkina terminio atsparumo sąlygą.

5.4 Vėjo parko sistemos komponentai

5.4.1 Modulinė pastotė

Projekte yra numatytos dvi modulinės elektros įrenginių pastotės, kiekvienai vėjo elektrinių porai, kurios bus maitinamos iš 0,4 kV tinklo. Modulinėje pastotėje yra montuojamas viršįtampių ribotuvas, srovės transformatorius, įtampos transformatorius ir 2 vnt. 10 kV įtampos narvelių, kurie susideda iš galios skyriklių, jungtuvų ir įžeminimo peilių į vėjo elektrinių pusę.

5.4.2 Srovės ir įtampos matavimo transformatorių parinkimas

Parenkamas Schneider electric OAM7 srovės matavimo transformatorius, skirtas didelėms elektros tinklo srovėms transformuoti į mažesnes, tinkančias matavimams, komercinei apskaitai ir RAA. Jis matomu oro tarpu atskiria aukštos srovės pirminę ir žemos srovės antrinę grandines, tai leidžia saugiai naudoti matavimo, apsaugos, valdymo aparatūrą aukštos įtampos grandinėse. Srovės transformatoriaus pirminė apvija į grandinę jungiama nuosekliai ir į elektros tinklo fazinį laidininką. Antrinė apvija įrengiama ant magnetolaidžio.

5.3 lentelė. Srovės transformatoriaus Schneider electric OAM7 techniniai duomenys [14]

Nominali įtampa	12 kV
Dažnis	50 Hz
Pirminių apvijų srovė	2000 A
Antrinių apvijų srovė	5 A
Transformacijos koeficientas	2000/5 A
Tikslumo klasė	0,5 P
Galia pagal tikslumo klasę	10 VA
Terminis atsparumas	2400 A
Atitinka IEC 60044-1 standartų reikalavimus:	Taip

Įtampos matavimo transformatorius, skirtas didelėms elektros tinklo įtampoms transformuoti į mažesnes, tinkančias matavimams, komercinei apskaitai ir RAA. Konstrukcija panaši į galios transformatoriaus. Parinktas įtampos transformatorius yra trifazis dviejų apvijų, kurio pirminės ir antrinės apvijų sujungimo schema yra įžeminta žvaigžde, todėl galima išmatuoti visas fazines ir linijines įtampas.

5.4 lentelė. Įtampos transformatoriaus Schneider electric OVC2 techniniai duomenys [14]

Naudojamas	Matavimui ir RAA
Tinklo vardinė įtampa	10,5 kV
Antrinės apvijos įtampa	100 V
Dažnis	50 Hz
Tikslumo klasė	0,5 P
Galia pagal tikslumo klasę	30 VA
Saugiklis	Taip
Atitinka IEC60044-2 standarto reikalavimus:	Taip

5.4.3 Narvelių parinkimas

Parenkama Schneider electric MCset narvelių sistema su (LBSkit) galios skyrikliais ir SF₆ dujiniais jungtuvais. Šis jungtuvas lankui gesinti naudoja aukšto slėgio inertines dujas – sieros heksafluoridą (SF₆). Jungtuve kontaktui išsiskyrus, užsidega elektros lankas, kuris apipūstas suspaustomis SF₆ dujomis gęsta. Šių dujų aplinkoje elektros lankas gesinamas 100 kartų greičiau negu ore.

5.5 lentelė. Techniniai Schneider electric MCset narvelių duomenys [9]

Tinklo įtampa:	10,5 kV
Maksimali ilgalaikė tinklo darbo įtampa:	12 kV
Vardinis dažnis:	50 Hz
Smūginė srovė:	16 kA
Atsparumas žaibo įtampos impulsui:	≥75 kV
Atsparumas pramoninio dažnio įtampai, 1min:	≥28 kV
Aplinkos temperatūra:	-35...+35°C
Santykinis drėgnumas	0–95%
10,5 kV šynų vardinė srovė:	200 A
Narvelių apsaugos laipsnis:	IP3X
Jungtuvo vardinė srovė	200 – 1250 A
Jungtuvo atjungimo greitis	65 ms
Jungtuvo įjungimo greitis	70 ms

5.4.4 Galios skyriklio charakteristikos

Galios skyriklis - tai kontaktinė sistema, skirta elektros grandinėms išjungti ir vizualiai išskirti. Įrengiami abipus elektros aparato ir išjungiami remonto arba techninių apžiūrų metu. Skyrikliais galima įjungti ir išjungti transformatoriaus įmagnetinimo srovę, įjungti oro liniją, dirbančią be apkrovos.

5.6 lentelė. Galios skyriklio Shneider electric LBSkit duomenys [8]

Vardinė srovė:	200 A
Dinaminio atsparumo srovė:	40 kA
Terminė atsparumo srovė (1s):	16 kA
Impulsinė izoliacijos pramušimo įtampa:	75 kV
Bandymų įtampa 1 min:	28 kV

Galios skyriklį patikriname pagal terminį ir dinaminį atsparumą ar veikia patikimai. Norint rasti trumpojo jungimo smūginę srovę, reikia apskaičiuoti vidutinę laiko pastoviąją ir smūgio koeficientą.

Vidutinė laiko pastovioji apskaičiuojama pagal formules:

Linija L-401/403:

$$T_{a13} = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \times R_{\Sigma}} = \frac{1,03}{3,14 \times 2,03} = 0,162 \text{ A} \quad (5.4.1)$$

Linija L-404/406:

$$T_{a46} = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \times R_{\Sigma}} = \frac{0,85}{3,14 \times 1,49} = 0,182 \text{ A} \quad (5.4.2)$$

Smūgio koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$k_{sm13} = \left[1 + e^{\frac{0,01}{T_{a13}}} \right] = \left[1 + e^{\frac{0,01}{0,162}} \right] = 2,064 \quad (5.4.3)$$

$$k_{sm46} = \left[1 + e^{\frac{0,01}{T_{a46}}} \right] = \left[1 + e^{\frac{0,01}{0,182}} \right] = 2,056 \quad (5.4.4)$$

Trumpojo jungimo smūginė srovė lygi:

$$i_{sm13} = \sqrt{2} \times k_{sm13} \times I_{13} = \sqrt{2} \times 2,064 \times 1439 = 4200 \text{ A} \quad (5.4.5)$$

$$i_{sm46} = \sqrt{2} \times k_{sm46} \times I_{46} = \sqrt{2} \times 2,056 \times 1631 = 4742 \text{ A} \quad (5.4.6)$$

Dinaminio atsparumo sąlygą:

$$i_{sm13} < i_d = 4200 \text{ A} < 40000 \text{ A}. \quad (5.4.7)$$

$$i_{sm46} < i_d = 4742 \text{ A} < 40000 \text{ A}. \quad (5.4.8)$$

Parinkti galios skyrikliai tenkina dinaminio atsparumo sąlygą.

5.4.5 Viršįtampių ribotuvų parinkimas

Parinktas viršįtampių ribotuvas Etisurge INZP 10, kuris apsaugo elektros tinklą nuo nepageidaujamų įtampos šuolių, kurie nepataisomai sugadina elektros įrenginius. Viršįtampiai atsirandantys elektros grandinėse skirstomi į: vidinius, kurie atsiranda įjungiant ir išjungiant didelės galios elektros vartotojus; atmosferinius – atsiranda kuomet žaibo išlydis pataiko į maitinamą elektros tinklą arba netoli jo; statinius – kyla susikaupus skirtingiems elektros krūviams, elektrostatiinių iškrovų metu.

5.7 lentelė. Viršįtampių ribotuvo Etisurge INZP 10 techniniai duomenys [5]

Aplinkos temperatūra	-35... +35°C
Tinklo įtampa	10,5 kV
Vardinis dažnis	50 Hz
Viršįtampių ribotuvo tipas	cinko oksido
Korpuso tipas	Išorinis paviršius su sijonėliais; Sijonėliai išlieti kartu su korpusu
Skirti naudoti	Lauke
Ilgalaikė maksimali darbo įtampa	≥ 12 kV
Vardinė įtampa	12 kV
Ribotuvo klasė pagal LST EN 60099-4	2
Vardinė iškrovos srovė	10 kA
Maksimalios srovės 4/10 μ s impulsas	100 kA
Stačiakampis 2000 μ s impulsas	250 A
Vardinė trumpojo jungimo srovė	20 kA / 0,2 s
Atsparumas lenkimui	200 Nm

5.4.6 Trumpojo jungimo indikatorių parinkimas

Parinkamas trumpojo jungimo indikatorius Navigator. Šis indikatorius fiksuoja padidėjusį elektromagnetinį lauką ir per užduotą laiką blyksniais signalizuoja apie trumpąjį jungimą oro linijoje, bei nuotoliniu būdu siunčia informaciją į informacijos surinkimo arba perdavimo įrenginį.

5.8 lentelė. Trumpojo jungimo indikatoriaus Navigator techniniai duomenys [15]

Indikatoriaus paskirtis	Fiksuoti trumpąjį jungimą oro linijoje ir perduoti informaciją nuotoliniu būdu.
Skirtas naudoti	Lauke
Aplinkos temperatūra	-40 °C ... +85 °C
Mažiausia atjungimo srovė	100 A / 200 ms
Tikslumas	+/-10 % prie 20 °C
Automatinis gražinimas	4 val.
Vardinė oro linijos įtampa	10 kV

Maksimalioji oro linijos įtampa	12 kV
Oro linijos vardinis dažnis	50 Hz
Reguliuojamas pagal	Santykinį srovės padidėjimą OL įvykus trumpam jungimui 100%, nuo apkrovos
Akumuliatorių baterijos eksploatavimo trukmė	15 metų
Matomumas	500m. šviesiu paros metu 2000 m. tamsiu paros metu

5.5 Vėjo elektrinių prijungimo galimybės prie 10 kV tinklo

Ketrios EWT DIRECTWIND vėjo elektrinės, kurių kiekvienos galia yra po 500 kW jungiamos prie transformatorių pastotės Š1-10 ir Š2-10 10 kV šynų. Pastotėje sumontuotas NRJED 100/35/10 kV 25 MVA transformatorius (T-1) ir NRJED 100/35/10 kV 25 MVA transformatorius (T-2)

110 kV transformatoriaus duomenys:

- Transformatoriaus markė NRJED – 25000
- Darbo srovė 26 A
- Galios koeficientas $\cos \varphi = 0,94$

Vėjo jėgainės EWT DW54 techniniai parametrai:

- Vardinė galia $P = 500 \text{ kW}$
- Vardinė įtampa $U_N = 10,5 \text{ kV}$
- Reaktyviosios galios poveikio konstanta $p_{10\min} = 1,03$
- Galios koeficientas $\cos \varphi = 0,95$
- Fazės kampas $\varphi_f = -89,2^\circ$
- Maksimalus prijungimo srovės koeficientas $k_{i\max} = 1,03$

110/35/10 kV transformatorių pastotės 10 kV tinklo trumpo jungimo maksimalios srovės lygios:
 $I_{kT1} = 3036 \text{ A} ; I_{kT2} = 3080 \text{ A}.$

Trumpo jungimo galia T1:

$$S_{tr.j} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{kT1} = 1,73 \cdot 10500 \cdot 3036 = 55149 \text{ kVA} \quad (5.5.1)$$

Trumpo jungimo galia T2:

$$S_{tr.jT2} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{kT2} = 1,73 \cdot 10500 \cdot 3080 = 55948 \text{ kVA} \quad (5.5.2)$$

Maksimali dviejų vėjo elektrinių galia dešimties minučių laikotarpiui:

$$S_{\max 10\min} = \frac{n \cdot P_{NG} \cdot p_{10\min}}{\cos \varphi} = \frac{2 \cdot 500 \cdot 1,03}{0,95} = 1084,21 \text{ kVA} \quad (5.5.3)$$

Skaičiuojamas santykis tarp tinklo trumpojo jungimo ir vėjo elektrinių suminio maksimalaus galingumo, šis santykis turi būti didesnis arba lygus 50, jei šis santykis tenkina sąlyga, vėjo elektrines galima prijungti prie elektros tinklo. $k \geq 50$

Galių santykis transformatoriuje T1:

$$k \geq \frac{S_{tr.j.tT2}}{S_{\max 10\min}} = \frac{55149}{1084,21} = 50,87 \quad (5.5.4)$$

Galių santykis transformatoriuje T2:

$$k \geq \frac{S_{tr.j.tT2}}{S_{\max 10\min}} = \frac{55948}{1084,21} = 51,60 \quad (5.5.5)$$

Santykiai tenkina sąlygą.

Esant maksimaliai apkrovai, prie abiejų transformatorių T1 ir T2 10 kV šynų gali būti jungiama po dvi vėjo elektrinės, kurių bendra galia 1 MW.

5.6 Galios srautų pasiskirstymas

5.6.1 Apkrovos T-1 ir T-2 transformatoriuose.

110/35/10 kV TP sumontuotas NRJED 100/35/10 kV 25 MVA (T-1) ir toks pat NRJED 100/35/10 kV 25 MVA (T-2) transformatorius.

110 kV įtamos apvijų apkrova ir techniniai duomenys

Nominali įtampa	$U = 112 \text{ kV}$
Maksimali darbo srovė	$I = 354 \text{ A}$
Minimali darbo srovė	$I = 235 \text{ A}$
Trumpo jungimo įtampa	$u_k = 17,48\%$

Apkrova maksimaliu režimu

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 10,5 \cdot 354 = 6430,4 \text{ kVA} \quad (5.6.1)$$

Apkrova minimaliu režimu

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 10,5 \cdot 235 = 4268,7 \text{ kVA} \quad (5.6.2)$$

10 kV įtampos apvijų apkrova ir techniniai duomenys

Nominali įtampa	$U = 10,6 \text{ kV}$
Maksimali darbo srovė	$I = 21,3 \text{ A}$
Minimali darbo srovė	$I = 10,8 \text{ A}$
Trumpo jungimo įtampa	$u_k = 6,26\%$

Apkrova maksimaliu režimu

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 10,5 \cdot 21,3 = 386,9 \text{ kVA} \quad (5.6.3)$$

Apkrova minimaliu režimu

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 10,5 \cdot 10,8 = 196,2 \text{ kVA} \quad (5.6.4)$$

Vėjo elektrinės atiduodama galia:

$$P = 500 \text{ kW}$$

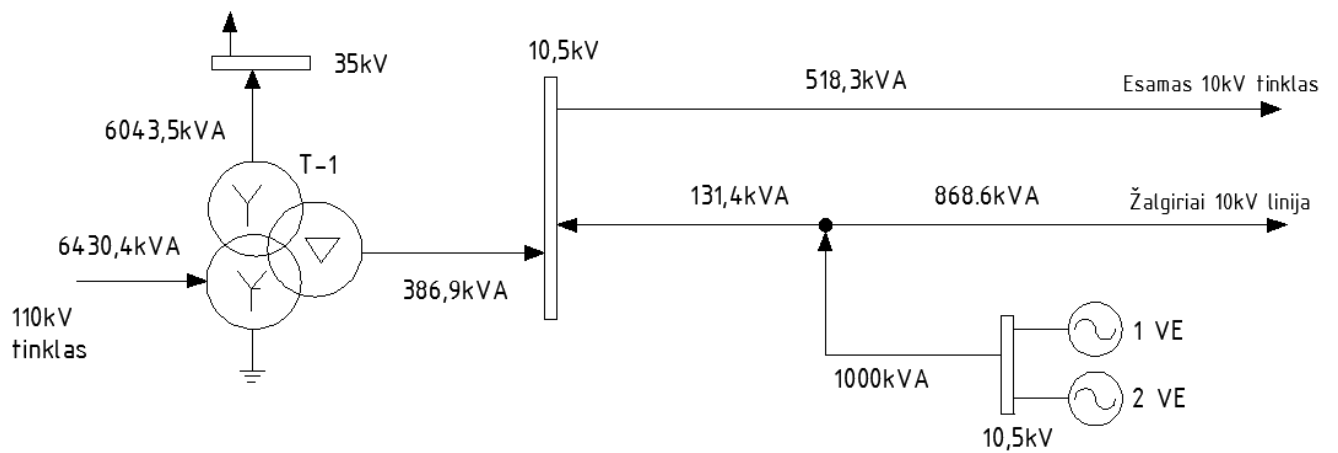
Idealiu atveju $\cos \varphi = 1$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{500}{1} = 500 \text{ kVA} \quad (5.6.5)$$

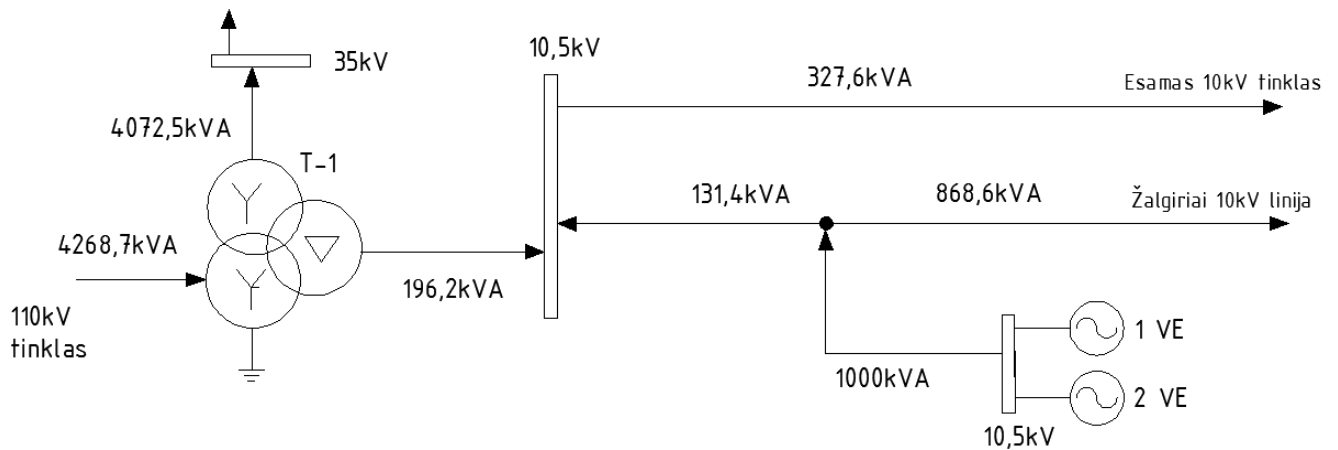
Vėjo elektrinei dirbant pilnu galingumu.

5.6.2 Galios srautų pasiskirstymas elektrinės prijungus prie transformatoriaus T-1.

Brėžiniuose pateikiami galios srautų pasiskirstymai tinkle maksimalios (5.5 pav.) ir minimalios (5.6 pav.) apkrovos metu. Dvi vėjo elektrinės dirba pilna galia ir yra prijungtos prie 100/35/10 kV transformatoriaus T-1 10 kV šynų.



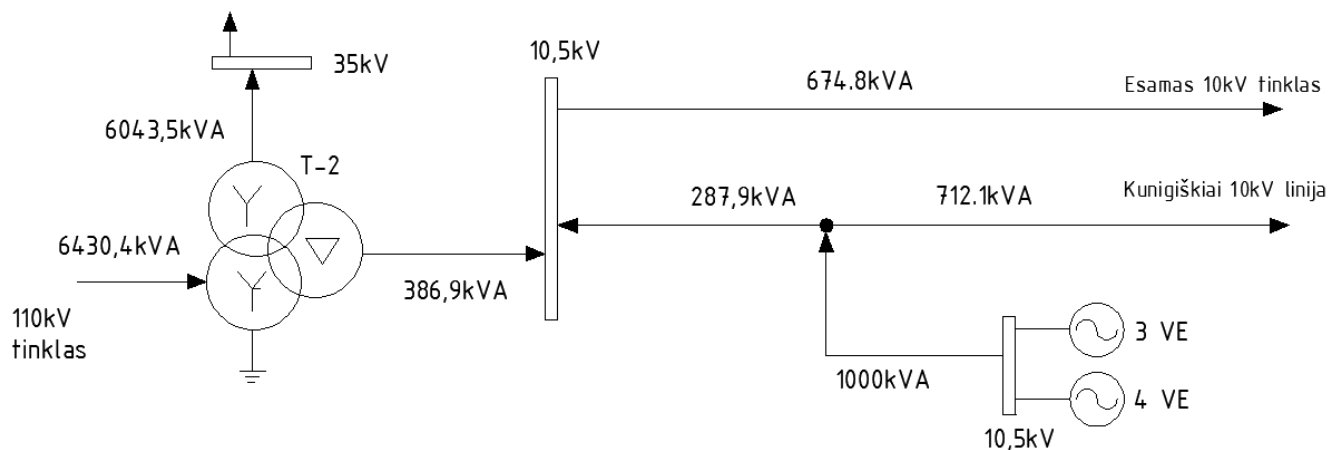
5.5 pav. Nr.1 ir Nr.2 vėjo elektrinės dirba pilna galia maksimalios apkrovos metu



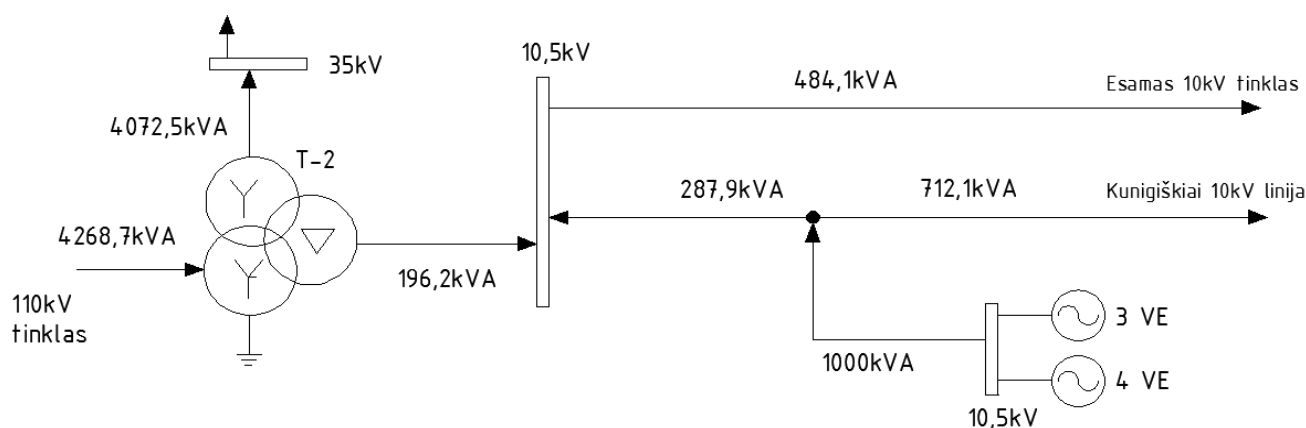
5.6 pav. Nr.1 ir Nr.2 vėjo elektrinės dirba pilna galia minimalios apkrovos metu

5.6.3 Galios srautų pasiskirstymas elektrines prijungus prie transformatoriaus T-2.

Dvi vėjo elektrinės dirba pilna galia maksimalios (5.7 pav.) ir minimalios apkrovos (5.8 pav.) metu ir yra prijungtos prie 100/35/10 kV transformatoriaus T-2.



5.7 pav. Nr.3 ir Nr.4 vėjo elektrinės dirba pilna galia maksimalios apkrovos metu



5.8 pav. Nr.3 ir Nr.4 vėjo elektrinės dirba pilna galia minimalios apkrovos metu

5.6.4 Paros galių pasiskirstymas skirstomajame tinkle

Paros galių pasiskirstymo tinkle skaičiavimai atlikti naudojantis „Excel“ programa, rezultatai pateikti 5.9 ir 5.10 lentelėse.

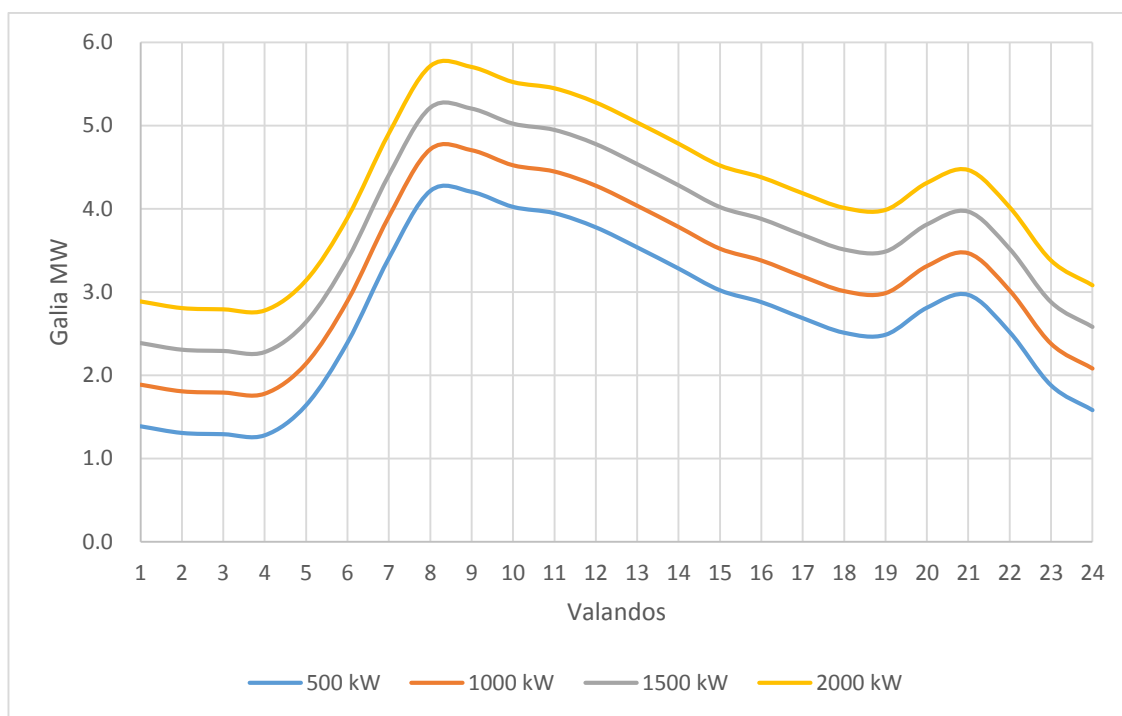
5.9 lentelė. Skirstomojo tinklo paros apkrovos dirbant dviem VE

Vėjo elektrinių galia, kW			100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Paros valanda	U	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	kV	Amp.	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
1	10,5	84,48	0,99	1,09	1,19	1,29	1,39	1,49	1,59	1,69	1,79	1,89
2	10,5	76,86	0,91	1,01	1,11	1,21	1,31	1,41	1,51	1,61	1,71	1,81
3	10,5	75,43	0,89	0,99	1,09	1,19	1,29	1,39	1,49	1,59	1,69	1,79
4	10,5	74,16	0,88	0,98	1,08	1,18	1,28	1,38	1,48	1,58	1,68	1,78
5	10,5	108,64	1,24	1,34	1,44	1,54	1,64	1,74	1,84	1,94	2,04	2,14
6	10,5	180,26	1,99	2,09	2,19	2,29	2,39	2,49	2,59	2,69	2,79	2,89
7	10,5	276,92	3,01	3,11	3,21	3,31	3,41	3,51	3,61	3,71	3,81	3,91
8	10,5	354,00	3,82	3,92	4,02	4,12	4,22	4,32	4,42	4,52	4,62	4,72
9	10,5	352,94	3,81	3,91	4,01	4,11	4,21	4,31	4,41	4,51	4,61	4,71
10	10,5	335,73	3,63	3,73	3,83	3,93	4,03	4,13	4,23	4,33	4,43	4,53
11	10,5	328,56	3,55	3,65	3,75	3,85	3,95	4,05	4,15	4,25	4,35	4,45
12	10,5	312,33	3,38	3,48	3,58	3,68	3,78	3,88	3,98	4,08	4,18	4,28
13	10,5	289,38	3,14	3,24	3,34	3,44	3,54	3,64	3,74	3,84	3,94	4,04
14	10,5	265,13	2,88	2,98	3,08	3,18	3,28	3,38	3,48	3,58	3,68	3,78
15	10,5	240,18	2,62	2,72	2,82	2,92	3,02	3,12	3,22	3,32	3,42	3,52
16	10,5	226,67	2,48	2,58	2,68	2,78	2,88	2,98	3,08	3,18	3,28	3,38
17	10,5	208,32	2,29	2,39	2,49	2,59	2,69	2,79	2,89	2,99	3,09	3,19
18	10,5	191,62	2,11	2,21	2,31	2,41	2,51	2,61	2,71	2,81	2,91	3,01
19	10,5	189,33	2,09	2,19	2,29	2,39	2,49	2,59	2,69	2,79	2,89	2,99
20	10,5	220,27	2,41	2,51	2,61	2,71	2,81	2,91	3,01	3,11	3,21	3,31
21	10,5	235,00	2,57	2,67	2,77	2,87	2,97	3,07	3,17	3,27	3,37	3,47
22	10,5	192,26	2,12	2,22	2,32	2,42	2,52	2,62	2,72	2,82	2,92	3,02
23	10,5	131,35	1,48	1,58	1,68	1,78	1,88	1,98	2,08	2,18	2,28	2,38
24	10,5	102,95	1,18	1,28	1,38	1,48	1,58	1,68	1,78	1,88	1,98	2,08

5.10 lentelė. Skirstomojo tinklo paros apkrovos dirbant keturioms VE

Vėjo elektrinių galia, kW			1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Paros valanda	U	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	kV	Amp.	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
1	10,5	84,48	1,99	2,09	2,19	2,29	2,39	2,49	2,59	2,69	2,79	2,89
2	10,5	76,86	1,91	2,01	2,11	2,21	2,31	2,41	2,51	2,61	2,71	2,81
3	10,5	75,43	1,89	1,99	2,09	2,19	2,29	2,39	2,49	2,59	2,69	2,79
4	10,5	74,16	1,88	1,98	2,08	2,18	2,28	2,38	2,48	2,58	2,68	2,78
5	10,5	108,64	2,24	2,34	2,44	2,54	2,64	2,74	2,84	2,94	3,04	3,14
6	10,5	180,26	2,99	3,09	3,19	3,29	3,39	3,49	3,59	3,69	3,79	3,89
7	10,5	276,92	4,01	4,11	4,21	4,31	4,41	4,51	4,61	4,71	4,81	4,91
8	10,5	354,00	4,82	4,92	5,02	5,12	5,22	5,32	5,42	5,52	5,62	5,72
9	10,5	352,94	4,81	4,91	5,01	5,11	5,21	5,31	5,41	5,51	5,61	5,71
10	10,5	335,73	4,63	4,73	4,83	4,93	5,03	5,13	5,23	5,33	5,43	5,53
11	10,5	328,56	4,55	4,65	4,75	4,85	4,95	5,05	5,15	5,25	5,35	5,45
12	10,5	312,33	4,38	4,48	4,58	4,68	4,78	4,88	4,98	5,08	5,18	5,28
13	10,5	289,38	4,14	4,24	4,34	4,44	4,54	4,64	4,74	4,84	4,94	5,04
14	10,5	265,13	3,88	3,98	4,08	4,18	4,28	4,38	4,48	4,58	4,68	4,78
15	10,5	240,18	3,62	3,72	3,82	3,92	4,02	4,12	4,22	4,32	4,42	4,52
16	10,5	226,67	3,48	3,58	3,68	3,78	3,88	3,98	4,08	4,18	4,28	4,38
17	10,5	208,32	3,29	3,39	3,49	3,59	3,69	3,79	3,89	3,99	4,09	4,19
18	10,5	191,62	3,11	3,21	3,31	3,41	3,51	3,61	3,71	3,81	3,91	4,01
19	10,5	189,33	3,09	3,19	3,29	3,39	3,49	3,59	3,69	3,79	3,89	3,99
20	10,5	220,27	3,41	3,51	3,61	3,71	3,81	3,91	4,01	4,11	4,21	4,31
21	10,5	235,00	3,57	3,67	3,77	3,87	3,97	4,07	4,17	4,27	4,37	4,47
22	10,5	192,26	3,12	3,22	3,32	3,42	3,52	3,62	3,72	3,82	3,92	4,02
23	10,5	131,35	2,48	2,58	2,68	2,78	2,88	2,98	3,08	3,18	3,28	3,38
24	10,5	102,95	2,18	2,28	2,38	2,48	2,58	2,68	2,78	2,88	2,98	3,08

Grafiškai pateikiamas galios srautų pasiskirstymas veikiant elektrinėms maksimalia galia.



5.9 pav. Galių srautų pasiskirstymas per parą vartotojams

Atlikus skaičiavimus galima teigti, kad prijungus visas keturias po 500 kW galios vėjo elektrines prie 10 kV šynų ir elektrinėms dirbant maksimalia galia, visa pagaminta elektros energija pilnai atiduodama energetinei sistemai, kuri yra suvartojama rajoniniame tinkle.

6. OBJEKTO EKONOMINIS VERTINIMAS

Šioje dalyje skaičiuojami statomo vėjo parko ekonominiai rodikliai.

6.1 lentelė. Pradiniai duomenys.

Lyginamosios kapitalo investicijos, EUR /kW	1700
Vėjo elektrinių galia, kW	2000
Tarnavimo trukmė, metais	20 - 25
Metinės techninės priežiūros išlaidos, % nuo suminių vėjo elektrinės kapitalinių investicijų,	2
Turto mokestis, % nuo suminių vėjo elektrinės kapitalinių investicijų	0,5
Elektros energijos supirkimo kaina, EUR/kWh	0,075
Paskolos grąžinimo trukmė, metais	12
Banko finansuojama investicijų dalis, %	65
Paskolos palūkanų norma, %	8
Nuosavo kapitalo pelningumas, %	0,31
Pelno mokestis, %	15
Vienos vėjo elektrinės energijos kiekis pagamintas per metus, kWh/metus	1765265

Pirma apskaičiuojame, kiek elektros energijos pagamins viena vėjo elektrinė per metus.

Daugiamečio vėjo greičio vidurkis, Tauragės rajone, Lietuvos energetikos instituto duomenimis 50 m aukštyje yra 6,4 m/s.

Vėjo elektrinės veleno aukštyje perskaičiuotas vėjo greitis:

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\beta = 6,4 \cdot \left(\frac{75}{50} \right)^{0,145} = 6,787 \text{ m/s} \quad (6.1)$$

Čia: V_1 - vėjo greitis (m/s), išmatuotas aukštyje h_1 (m);

V_2 - vėjo greitis (m/s) vėjaračio ašies aukštyje h_2 (m) (projektinis vidutinis vėjo greitis);

β – laipsnio rodiklis. Jis priklauso nuo vietovės šiurkštumo, jūros artumo ir oro tankio.

Vėjo energijos kiekis E (W/m^2), tenkantis 1 kv. m vėjaračio ploto, statmenam vėjo srautui, esant pastoviam vėjo greičiui, skaičiuojamas pagal formulę:

$$E = 0,5 \cdot \rho \cdot V_2^3 = 0,5 \cdot 1,258 \cdot 6,787^3 = 197 \text{ W/m}^2 \quad (6.2)$$

Čia: E – vėjo energijos potencialas, W/m^2 per 1 s;

ρ – oro tankis, kg/m^3 ; paprastai vėjo energetiniuose skaičiavimuose imama $1,258 \text{ kg/m}^3$ (esant $10^\circ C$ temperatūrai ir 760 mm Hg slėgiui);

V_2 – vidutinis projektinis vėjo greitis, m/s;

Vėjaratis, priklausomai nuo mentės pokrypio kampo, perima tik dalį šios energijos. Šia dalį nurodo vėjo elektrinės galios koeficientas C_p , mūsų atveju, jis būtų 0,47.

Pagaminamos energijos kiekis per metus apskaičiuojamas pagal vėjo vidurkio formulę:

$$W_{VE} = E \cdot A \cdot C_p \cdot \eta_p \cdot \eta_g \cdot t_{met} \quad (6.3)$$

Čia: W_{VE} – pagaminamos energijos kiekis, kWh;

E – vietovės vėjo energetinis potencialas W/m^2 ;

A – vėjaračio darbo plotas, m^2 ;

C_p – vėjaračio koeficientas;

η_p – mechaninis naudingumo koeficientas;

η_g – elektrinis naudingumo koeficientas;

t_d – darbo trukmė per metus, val.

$$W_{VE} = 197 \cdot 2290 \cdot 0,47 \cdot 0,99 \cdot 0,96 \cdot 8760 = 1765,265 \text{ MW/h}$$

Vėjo elektrinių parko ekonominiai skaičiavimai pradedami nuo suminių kapitalinių investicijų nustatymo:

$$K = k_{lyg} \cdot P_{el.} = 1700 \cdot 2000 = 3400000 \text{ Eur} \quad (6.4)$$

Kapitalo investicijos – lėšos, skirtos ilgalaikiam materialiajam turtui (įrenginiams, pastatams ir pan.) sukurti ar įsigyti.

Metinės vėjo elektrinių techninės priežiūros išlaidos:

$$C_p = K \cdot \frac{k_p}{100\%} = 3400000 \cdot \frac{2}{100\%} = 68000 \text{ Eur} \quad (6.5)$$

Metinis vėjo elektrinių nusidėvėjimas:

$$C_a = \frac{K}{T_{arn}} = \frac{3400000}{20} = 170000 \text{ Eur} \quad (6.6)$$

Metinis turto mokestis:

$$C_{tm} = K \cdot \frac{k_{tm}}{100\%} = 3400000 \cdot \frac{0,5}{100\%} = 17000 \text{ Eur} \quad (6.7)$$

Suminiai metiniai kaštai:

$$C = C_p + C_a + C_{tm} = 68000 + 170000 + 17000 = 255000 \text{ Eur} \quad (6.8)$$

Metinės pajamos už parduotą elektros energiją:

$$R_{mp} = 4 \cdot W_{VE} \cdot E_{sk} = 4 \cdot 1765265 \cdot 0,075 = 529580 \text{ Eur} \quad (6.9)$$

Metinis pelnas:

$$NP_p = R_{mp} - C = 529580 - 255000 = 274580 \text{ Eur} \quad (6.10)$$

Metinis pelno mokestis:

$$NP_m = NP_p \cdot \frac{t_p}{100\%} = 274580 \cdot \frac{15}{100\%} = 41187 \text{ Eur} \quad (6.11)$$

Paskolos aptarnavimui pasirenkamas linijinis (tiesinis) paskolos gražinimas, kadangi skaičiuojant šiuo metodu, per visą laikotarpį sumokamų palūkanų suma yra mažesnė nei taikant anuitetinį skaičiavimo metodą. Paskolos gražinimo grafikas pateiktas 6.2 lentelėje. Metinių įmokų bankui ir paskolos likučio grafikas pateiktas 6.1 paveiksle.

Iš banko pasiskolinti pinigai:

$$K_{banko} = K \cdot \frac{k_{bf}}{100\%} = 3400000 \cdot \frac{65}{100\%} = 2210000 \text{ Eur} \quad (6.12)$$

6.2 lentelė. Paskolos gražinimo grafikas

Periodas, m.	Kredito likutis, tūkst. Eur	Metų palūkanos tūkst. Eur	Gražinamas kreditas, tūkst. Eur	Gražinamo kredito ir palūkanų suma tūkst. Eur
0	2210,0			
1	2025,8	176,8	184,2	361,0
2	1841,7	162,1	184,2	346,2
3	1657,5	147,3	184,2	331,5
4	1473,3	132,6	184,2	316,8
5	1289,2	117,9	184,2	302,0
6	1105,0	103,1	184,2	287,3
7	920,8	88,4	184,2	272,6
8	736,6	73,7	184,2	257,8
9	552,5	58,9	184,2	243,1
10	368,3	44,2	184,2	228,4
11	184,1	29,5	184,2	213,6
12	0,0	14,7	184,2	198,9
Iš viso		1149,2	2210,0	3359,2

Pastovi grąžintina dalis per metus:

$$C_p = \frac{K_{banko}}{T_{pg}} = \frac{2210000}{12} = 184167 \text{ Eur} \quad (6.13)$$

Pirmus metus bankui mokamos palūkanos:

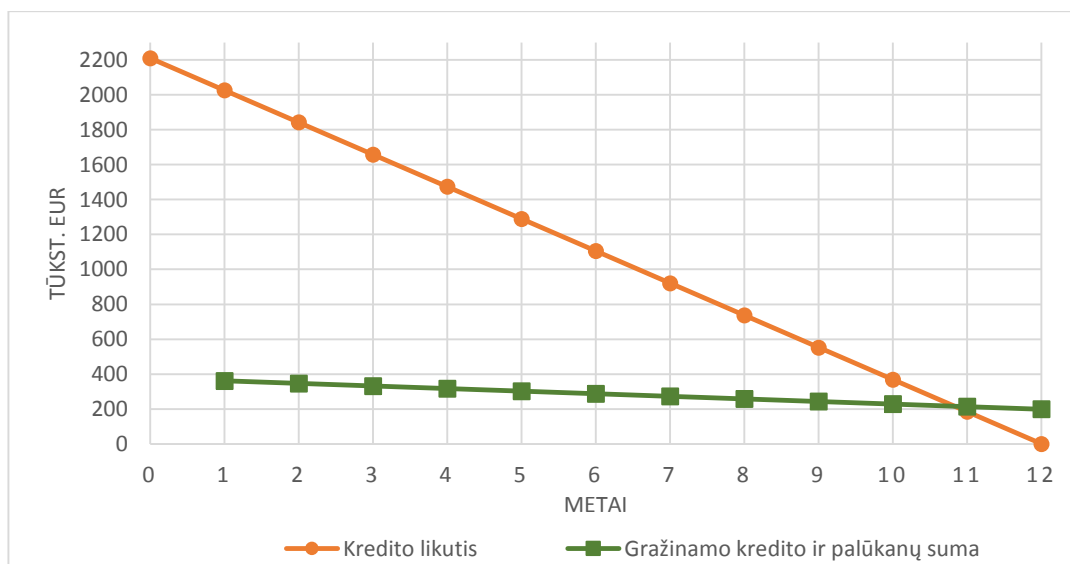
$$C_{pal,1} = K_{banko} \cdot \frac{k_{pn}}{100\%} = 2210000 \cdot \frac{8}{100\%} = 176800 \text{ Eur} \quad (6.14)$$

Antrus metus bankui mokamos palūkanos:

$$C_{pal,2} = (K_{banko} - C_p) \cdot \frac{k_{pn}}{100\%} = (2210000 - 184167) \cdot \frac{8}{100\%} = 162120 \text{ Eur} \quad (6.15)$$

Pirmus metus iš viso sumokama bankui:

$$C_{pg} = C_p + C_{pal,1} = 221000 + 176800 = 360967 \text{ Eur} \quad (6.16)$$



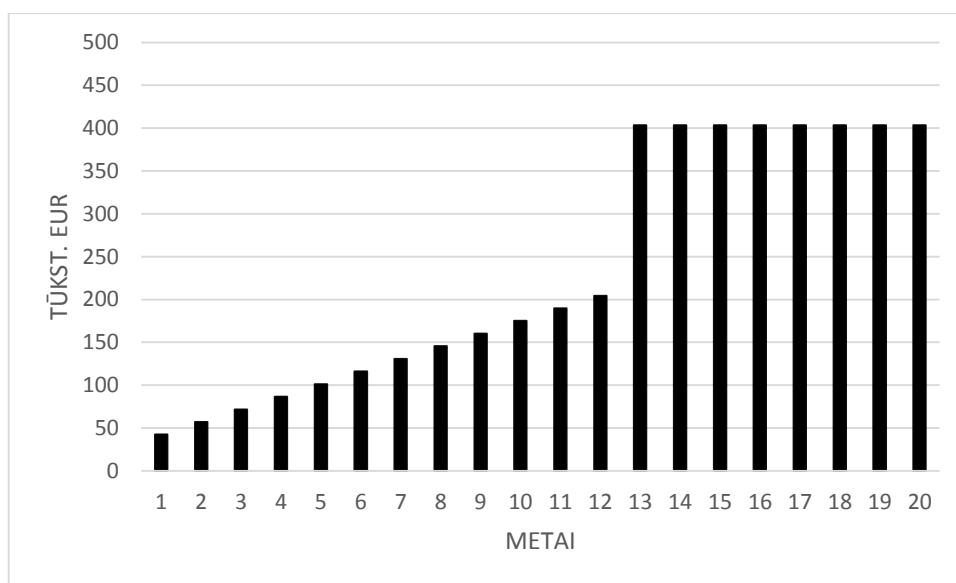
6.1 pav. Metinės įmokos ir kredito likučio grafikas

Grynųjų pinigų srautai pateikti 6.1 paveiksle. Grynasis pelnas per pirmus metus apskaičiuojamas:

$$NP_1 = NP_p - NP_m - C_{pal.1} = 274580 - 41187 - 176800 = 56593 \text{ Eur} \quad (6.17)$$

Grynasis pinigų srautas pirmais metais:

$$CF_1 = NP_1 + C_a - C_p = 56593 + 170000 - 184167 = 42426 \text{ Eur} \quad (6.18)$$



6.2 pav. Grynųjų pinigų srauto pasiskirstymas per dvidešimt metų

Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai:

$$WACC = k_{pn} \cdot \frac{K_B}{K} \cdot (1 - t_p) + k_{nkp} \cdot \frac{K_n}{K}; \quad (6.19)$$

K_n – nuosavo kapitalo įnašas;

$$WACC = 8\% \cdot \frac{2210000}{3400000} \cdot (1 - 0,15\%) + 0,31\% \cdot \frac{(3400000 - 2210000)}{3400000} = 4,53 \% \quad (6.20)$$

Toliau nustatomas diskontuotas ir nediskontuotas atsipirkimo laikas. Atsipirkimo trukmė, diskontuojant pinigų srautus, skaičiuojama pagal (6.22) išraišką.

$$T_d = \frac{-\ln\left(1 - \frac{k \cdot (K_n + B_i)}{CF}\right)}{\ln(1 + k)} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{4,53 \cdot 4549200}{403393}\right)}{\ln(1 + 4,53)} = 16,14 \text{ metai} \quad (6.21)$$

Čia: k – diskonto norma;

K_n – visos investicijos, Lt;

B_i – bankui sumokėti pinigai.

CF – gryųjų pinigų srautas.

Nediskontuotas atsipirkimo laikas:

$$T_a = \frac{K_n + B_i}{CF} = \frac{1190000 + 3359200}{403393} = 11,27 \text{ metai} \quad (6.22)$$

$K_n = 1190000$ Eur - nuosavo kapitalo įnašas.

$B_i = 3359200$ Eur – per 12 metų bankui sumokėti pinigai.

$CF = 403393$ Eur – gryųjų pinigų srautas.

Kai nediskontuotas atsipirkimo laikas, projektas atsiperka per 11,27 metų, o kai diskontuotas atsipirkimo laikas projektas atsiperka per 16,14 metų. Esant nustatytai vėjo elektros energijos supirkimo kainai, 0,075 Eur/ kWh, vėjo elektrinių parkas preliminariai atsiperka per $T_a = 11,27$ m. Projektas yra pelningas, nes numatyta parko tarnavimo trukmė 20 metų.

IŠVADOS

1. Vėjo elektrinių parkui parinktos keturios EWT DW54 500 kW horizontalios ašies vėjo elektrinės. Taip pat pritaikyta ir parinkta Schneider electric MCset komutacinių aparatų (narvelių) sistema. Didelėms elektros tinklo srovėms ir įtampoms keisti parinkti srovės ir įtampos matavimo transformatoriai. Išjungti darbinę srovę bei komutuoti schemą darbo režimo metu, parinkti galios skyrikliai. Taipogi yra parinkti tinkami prijungimo kabeliai, viršįtampių ribotuvai ir trumpojo jungimo indikatoriai.
2. Atlikti skaičiavimai parodė, kad prijungus visas keturias po 500 kW galios vėjo elektrines prie Tauragės transformatorių pastotės 10 kV šynų ir šioms elektrinėms dirbant maksimalia galia, visa pagaminta elektros energija yra atiduodama energetinei sistemai. Galia persiskirsto ir yra suvartojama rajoniniame tinkle.
3. Siekiant neišbalansuoti skirstomojo tinklo su nauju vėjo elektrinių parko prijungimu prie Tauragės 110/35/10 kV transformatorinės pastotės, šis vėjo elektrinių parkas jungiamas į 10 kV šynas prie transformatorių T-1 ir T-2 simetriškai t.y. po 1 MW su perspektyva vėjų parką plėsti.
4. Atlikus finansinio atsiperkamumo skaičiavimus nustatyta, kad nediskontuoto atsipirkimo laikotarpiu šis projektas atsiperka per 11,27 metus, o diskontuoto atsipirkimo laikotarpiu projektas atsiperka per 16,14 metų. Esant 0,075 Eur/kWh vėjo elektros energijos supirkimo kainai, vėjo parko projektas atsiperka per 11,27 metų. Projektas yra pelningas.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Deksnys R., P., Staniulis R., Miškinis V. „Elektrinių ir pastočių elektrinė dalis“ Kursinis projektavimas. Technologija, Kaunas 2007.
2. Norvaišienė R., Krušinskas R. „Projektų ekonominis ir socialinis vertinimas“ Mokomoji knyga. Technologija, Kaunas 2012.
3. Petrauskas G., Adomavičius V. „Vėjo Energijos naudojimas elektrai gaminti“ Mokomoji knyga. Technologija, Kaunas 2012.
4. Svinkūnas G., Navickas A. „Elektros energetikos pagrindai“ Mokomoji knyga. Technologija, Kaunas 2011.
5. Aukštos įtampos viršįtampių ribotuvai su polimeriniu korpusu [Žiūrėta 2015 balandžio 22d.] Prieiga per internetą: <http://www.etibaltus.lt/files/userfiles/kat/ETISURGE.pdf>.
6. Barauskas A., Saulėnas T., Salapėtienė V. ir kt. Nacionalinė atsinaujinančių išteklių plėtros programa iki 2020 m. Strateginio pasekmių aplinkai vertinimo ataskaitos dokumentas [Žiūrėta 2015 kovo 10d.]. Prieiga per internetą: http://www.enmin.lt/NAEIPP_SPAV.pdf.
7. Galinis A., Lekavičius V., Miškinis V., Atsinaujinančių energijos išteklių platesnio naudojimo kryptys [Žiūrėta 2015 kovo 10d.] Prieiga per internetą: <http://www.mokslasirtechnika.lt/mokslo-naujienos/atsinaujinanci-energijos-istekli-platesnio-naudojimo-kryptys.html>.
8. Galios skyriklių katalogas [Žiūrėta 2015 balandžio 21d.] Prieiga per internetą: [http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=455725120&p_File_Name=AMTED306003EN-\(web\).pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=455725120&p_File_Name=AMTED306003EN-(web).pdf).
9. Narvelių katalogas [Žiūrėta 2015 balandžio 21d.] Prieiga per internetą: http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=765780780&p_File_Name=NRJED312404EN-Web.pdf.
10. Pagrindai apie vėjo turbinas [Žiūrėta 2015 kovo 29d.] Prieiga per internetą: http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine.
11. Perdavimo tinklas, schema ir duomenys [Žiūrėta 2015 kovo 10d.] Prieiga per internetą: <http://www.litgrid.eu/index.php/energetikos-sistema/elektros-energetikos-sistemas-informacija/perdavimo-tinklo-schema-ir-duomenys/501>.
12. Sausumos ir jūros vėjo elektrinių parkai [Žiūrėta 2015 kovo 30d.] Prieiga per internetą: http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_farm.
13. Skirstomųjų tinklų įmonė AB LESTO [Žiūrėta 2015 kovo 10d.] Prieiga per internetą: <http://www.lessto.lt/lt/apie-mus.html>.

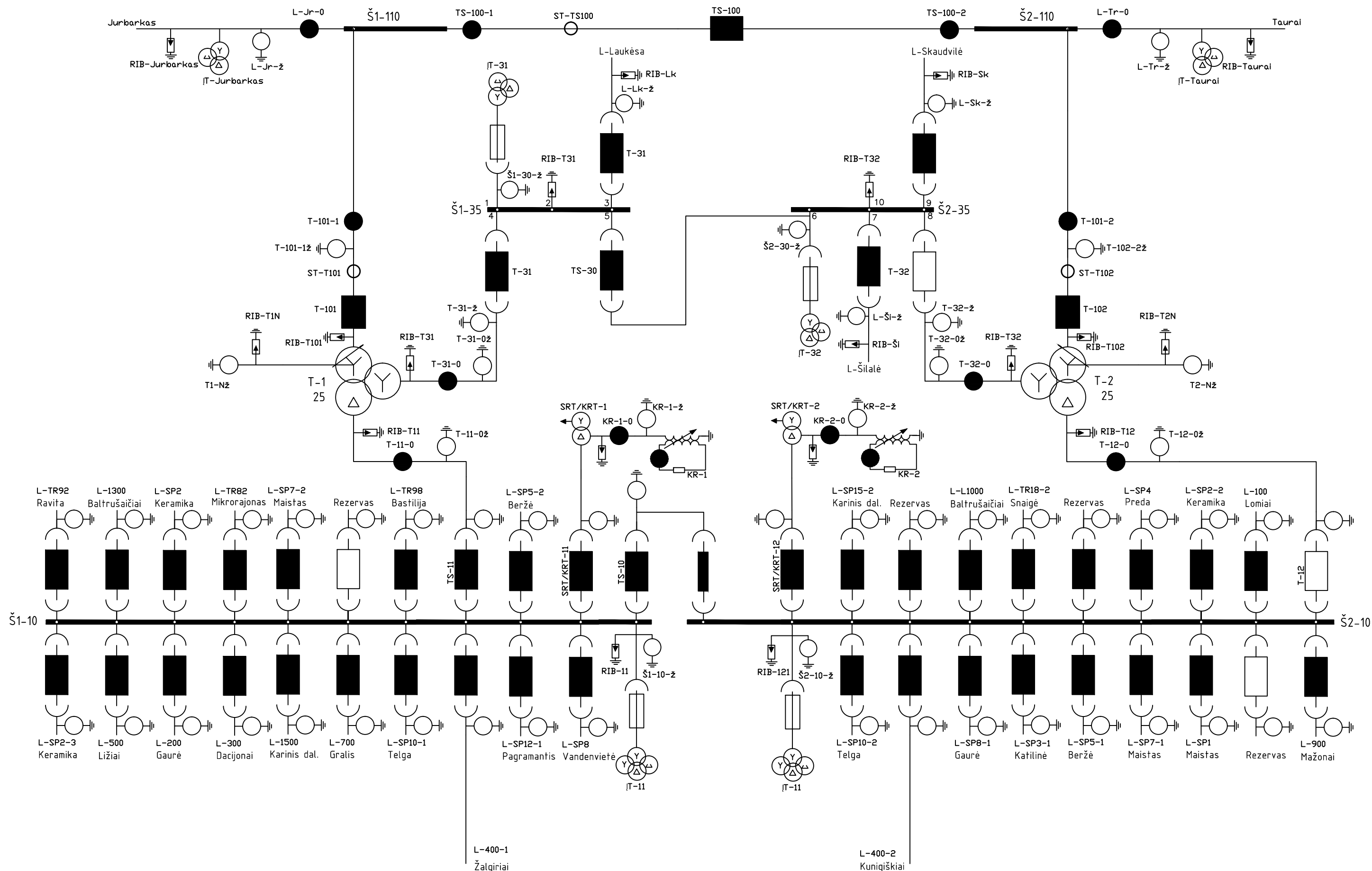
14. Srovės ir įtampų transformatorių katalogas [Žiūrėta 2015 balandžio 21d.] Prieiga per internetą:
[http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=16691956&p_File_Name=AMTED302057EN\(web\).pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=16691956&p_File_Name=AMTED302057EN(web).pdf).
15. Trumpojo jungimo indikatoriaus techniniai duomenys [Žiūrėta 2015 balandžio 22d.] Prieiga per internetą:
http://www.elera.lt/main/product.php?lang=LT&prod_id=92&cat_id=71&page=1.
16. Vertikalios ašies vėjo elektrinės [Žiūrėta 2015 kovo 29d.] Prieiga per internetą:
https://www.google.lt/search?q=savonius+darrieus+wind+turbine&es_sm=93&biw=667&bih=571&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=S1UYVbS3MsLuaMHMgcAH&sqi=2&ved=0CAYQAUoAQ.
17. Vėjo elektrinės techniniai duomenys [Žiūrėta 2015 balandžio 3d.] Prieiga per internetą:
<http://www.newport.gov.uk/stellent/groups/public/documents/planningdocument/cont590006.pdf>.
18. Vėjo elektrinių energijos prognozavimo tyrimas [Žiūrėta 2015 kovo 31d.] Prieiga per internetą:
http://vddb.laba.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2006~D_20060621_004929-48043/DS.005.0.02.ETD.
19. Vėjo elektrinių parkas [Žiūrėta 2015 kovo 30d.] Prieiga per internetą:
http://lt.wikipedia.org/wiki/V%C4%97jo_j%C4%97gaini%C5%B3_parkas.
20. Vėjo greičio kitimo Lietuvos pajūrio regione tyrimas [Žiūrėta 2015 balandžio 27d.] Prieiga per internetą: <http://www.lmaleidykla.lt/publ/0235-7208/2009/1/27-34.pdf>.
21. Vėjo turbinų veikimo principas [Žiūrėta 2015 kovo 30d.] Prieiga per internetą:
<http://energy.gov/eere/wind/how-does-wind-turbine-work>.
22. Vidutinės įtampų kabelių katalogas [Žiūrėta 2015 balandžio 21d.] Prieiga per internetą:
http://www.omancables.com/brochure/Medium_Voltage_Cables.pdf.

PRIEDAI

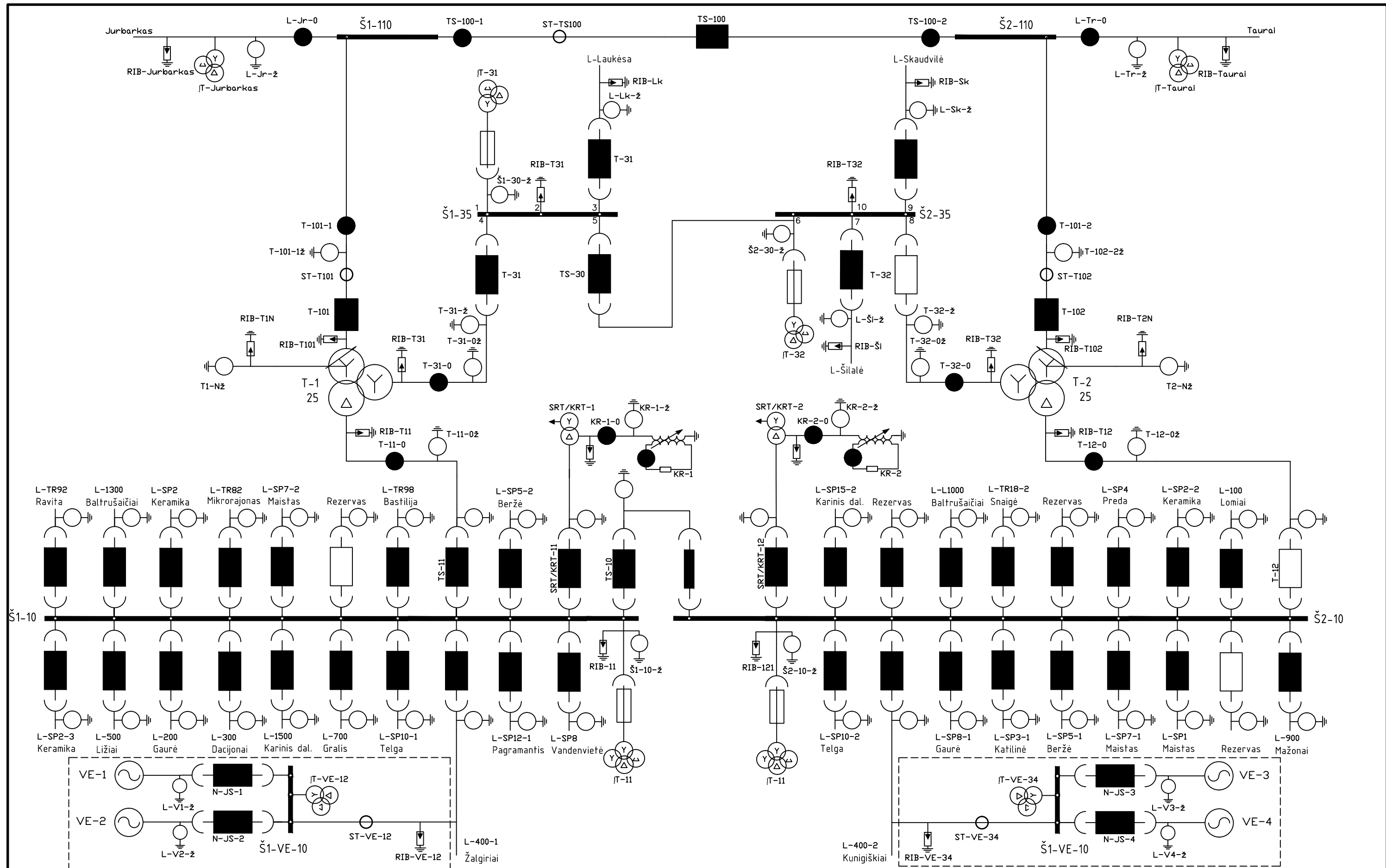
Priedas 1. 110/35/10 kV Tauragės TP operatyvinė schema

Priedas 2. 110/35/10 kV Tauragės TP ir VE operatyvinė schema

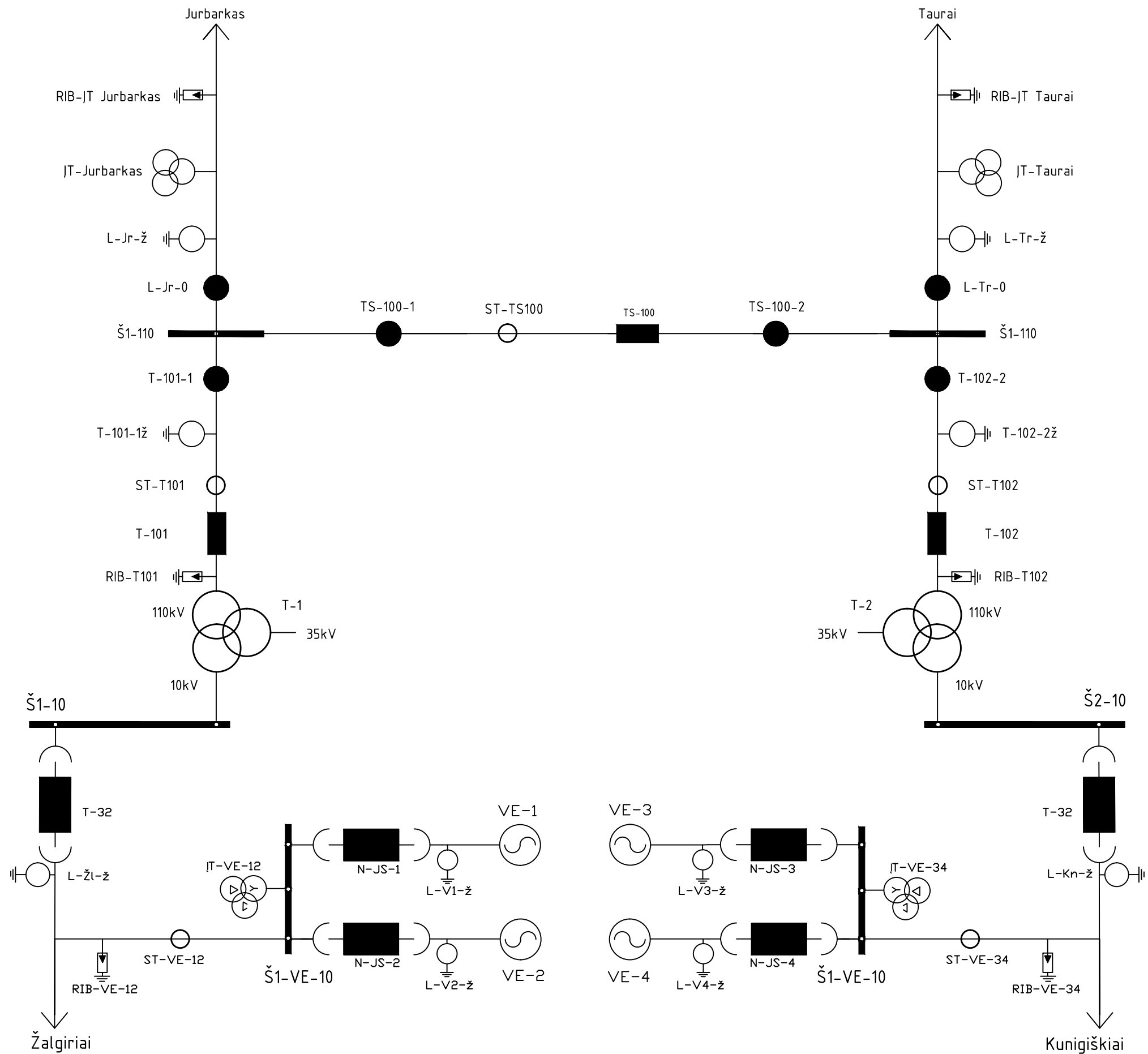
Priedas 3. 110/35/10 kV Tauragės TP VE prijungimo operatyvinė schema



KTU Elektros ir elektronikos fakultetas					Bakalauro baigiamasis darbas		
Grupė	EAE-1/1	Studentas	G. Dilius	2015-05-19	110/35/10 kV TAURAGĖS TP OPERATYVINĖ SCHEMA (priedas 1)		Laida
							0
Stadija: BBD	Elektros energetikos sistemų katedra Studentų g. 48, Kaunas				2015-BBD-Elektros energetikos sistemų katedra		Lapas
							Lapu
							1
							3



KTU Elektros ir elektronikos fakultetas					Bakalauro baigiamasis darbas		
Grupė	EAE-1/1	Studentas	G. Dilius	2015-05-19	110/35/10 kV TAURAGĖS TP IR 10 kV VE OPERATYVINĖ SCHEMA (priedas 2)		Laida
							0
Stadija:	Elektros energetikos sistemų katedra Studentų g. 48, Kaunas				2015-BBD-Elektros energetikos sistemų katedra		Lapas
BBD							2
							Lapų
							3



Grupė	KTU Elektros ir elektronikos fakultetas				Bakalauro baigiamasis darbas		
EAE-1/1	Studentas	G. Dilius		2015-05-19	110/35/10 kV TAURAGĖS TP VE PRIJUNGIMO OPERATYVINĖ SCHEMA (priedas 3)		Laida
							0
Stadija: BBD	Elektros energetikos sistemų katedra Studentų g. 48, Kaunas				2015-BBD-Elektros energetikos sistemų katedra		Lapas
							Lapų
							3
							3