**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Vilius Valantas**

# MAŽOSIOS KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS, NAUDOJANČIOS BIOKURĄ, TECHNINIS IR EKONOMINIS VERTINIMAS

Baigiamasis bakalauro projektas

**Vadovė**
Doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**
**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

# MAŽOSIOS KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS, NAUDOJANČIOS BIOKURĄ, TECHNINIS IR EKONOMINIS VERTINIMAS

Baigiamasis bakalauro projektas

**Atsinaujinančioji energetika (612E33001)**

**Vadovė**
Doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė

**Recenzentas**

**Projektą atliko**
Vilius Valantas

**KAUNAS, 2015**

**TVIRTINU**:
KTU Elektros ir elektronikos fakulteto
_____katedros vedėjas
_____
201….. ..... .....

# BAKALAURO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

**Išduota studentui:** *Viliui Valantui* Grupė *E AE – 1/2*

**1. Darbo tema:**

Lietuvių kalba: *Mažosios kogeneracinės elektrinės, naudojančios biokurą, techninis ir ekonominis vertinimas*

Anglų kalba: *Technical and Economic Evaluation of Small-Scale Biomass Cogeneration Power Plant*

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

**2. Darbo tikslas:** *Atlikti mažosios kogeneracinės elektrinės naudojančios biokurą techninį bei ekonominį vertinimą.*

**3. Reikalavimai ir sąlygos:** *Darbas turi būti parengtas pagal KTU Elektros ir elektronikos fakulteto dekano patvirtintus "Baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodinius reikalavimus".*

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

*1. Objekto charakteristika (esama situacija, elektros ir šilumos tiekimo schemos apibūdinimas, elektros ir šilumos suvartojimas, perspektyvinio vystymo planai);*
*2. Šiluminės energijos techninė dalis (šilumos poreikio įvertinimas, šilumos akumuliatoriaus parinkimas, šilumos tiekimo sistemos balansas);*
*3. Elektros energijos techninė dalis (kogeneracinės elektrinės prijungimo variantų analizė, trumpųjų jungimų skaičiavimas, aparatų ir laidininkų parinkimo sąlygos, elektrinės savosios reikmės).*

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

*Kapitalinės investicijos, energijos gamybos kaštai, projekto ekonominių rodiklių vertinimas, projekto jautrumo ir rizikos vertinimas.*

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

*1. Kogeneracinės elektrinės technologinio energijos gamybos proceso schema;*
*2. 10/0,4 kV modulinės transformatorinės pastotės schema;*
*3. Projekto pinigų srautų balansai.*

**7. Ši užduotis yra neatskiriama bakalauro baigiamojo projekto dalis**

**8. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas** *iki 2015-05-30*
*(data)*

Užduotį gavau: _____ _____
*(studento vardas, pavardė, parašas)* *(data)*

Vadovas: _____ _____
*(pareigos, vardas, pavardė, parašas)* *(data)*

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
(Fakultetas)

Vilius Valantas
(Studento vardas, pavardė)

Atsinaujinančioji energetika, 612E33001
(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Mažosios kogeneracinės elektrinės, naudojančios biokurą, techninis ir ekonominis vertinimas“

**AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 15 m. gegužės 18 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Viliaus Valanto** baigiamasis projektas tema „Mažosios kogeneracinės elektrinės, naudojančios biokurą, techninis ir 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)*

Vilius Valantas, *Mažosios kogeneracinės elektrinės, naudojančios biokurą, techninis ir ekonominis vertinimas,* Atsinaujinančioji energetika, vadovė doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

*Kaunas, 2015. 47 psl.*

## SANTRAUKA

Baigiamajame bakalauro darbe vertinamas esamos Smalininkų Technologijų ir verslo mokyklos katilinės pakeitimas kogeneracine elektrine su medienos dujinimo įrenginiu. Numatyta, kad naujoji kogeneracinė elektrinė padengs visą objekto šilumos energijos poreikį, o pagamintą elektros energiją atiduos į elektros tinklus. Kogeneracinės elektrinės šiluminė galia 2 $MW_š$, elektrinė galia 0,8 $MW_e$, numatomas eksploatavimo laikas – 20 metų.

Darbe išrinktas optimaliausias elektrinės prijungimo prie elektros tinklų būdas, atsižvelgiant į galimybes prisijungti prie esamo elektros tinklo, prisijungimo prie tinklo kaštus ir elektros energijos perdavimo nuostolius. Atlikta projekto finansinė analizė. Naudojant 5% diskonto normą, gautas projekto atsipirkimo laikotarpis – 16 metų. Naudojant 8% ir 10% diskonto normą – projekto atsipirkimas neįmanomas. Atlikta projekto finansinio jautrumo analizė didžiausių sąnaudų ir didžiausių įplaukų rodiklių atžvilgiu.

*Reikšminiai žodžiai: kogeneracija, biokuras, techninis vertinimas, ekonominis vertinimas, elektros energija, šilumos energija.*

Vilius Valantas, *Technical and Economic Evaluation of Small-Scale Biomass Cogeneration Power Plant,* Renewable Energy Engineering, supervisor doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering.

*Kaunas, 2015. 47 p.*

## SUMMARY

In the final thesis old district heating power plant replacement with small-scale biomass cogeneration power plant is analyzed. Cogeneration power plant is designed to fulfil the district's heat energy demand; generated electricity is meant to be delivered to the electricity distribution network. The power plant's heating power is 2 $MW_t$, electrical power 0.8 $MW_e$; power plant's lifetime is estimated to be 20 years.

In the thesis optimal power plant's connection way to the distribution grid is found. Cogeneration power plant's financial analysis is done in the thesis. The plant's payback is 16 years and is only possible considering 5% discount rate. Power plant's susceptibility analysis is also done, according to the highest expenses indicator changes and highest income indicator changes.

*Keywords: cogeneration, biomass, technical evaluation, economical evaluation, electric power, heat power.*

**TURINYS**

ĮVADAS....12

1. KOGENERACINIŲ ELEKTRINIŲ, NAUDOJANČIŲ BIOKURĄ, POTENCIALAS LIETUVOJE....14

2. KOGENERACINIŲ ELEKTRINIŲ VEIKIMO PRINCIPAS IR KONSTRUKCIJA....18

2.1. KE sistema su biomasės dujinimo grandimi....18

3. PASIRINKTO OBJEKTO APRAŠYMAS....20

3.1. Objekto elektros energijos tiekimo sistema ir suvartojimas....20

3.2. Šilumos tiekimo sistema ir suvartojimas nagrinėjamame objekte....21

4. MAŽOSIOS KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS PROJEKTAS....23

4.1. Šiluminės energijos techninės dalies įvertinimas....23

4.1.1. Projektinis šilumos poreikis....23

4.1.2. Reikalingos minimalios KE galios nustatymas....24

4.1.3. Akumuliacinės talpos parinkimas....26

4.1.4. Šilumos tiekimo sistemos balansas....26

4.1.5. Parinktos KE parametrai....27

4.2. Elektros energijos techninės dalies vertinimas....28

4.2.1. Esamas objekto elektros tinklas....28

4.2.2. KE prijungimo prie elektros tinklo modeliai....28

4.2.3. Kabelių prijungimo variantams parinkimas....30

4.2.4. Transformatorių prijungimo variantams parinkimas....32

4.2.5. Ekonominis KE prijungimo prie elektros tinklų variantų palyginimas....33

4.2.6. Pasirinkto varianto prijungimo prie tinklo schema....34

4.2.7. Trumpojo jungimo srovių skaičiavimas....34

4.2.8. Aparatų ir laidininkų parinkimo skaičiuojamosios sąlygos....37

4.2.9. Elektrinės savosios reikmės ir valdymas....39

4.2.10. Techniniai – ekonominiai projekto rodikliai....40

5. EKONOMINIS SUPROJEKTUOTOS KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS VERTINIMAS ..... 41
5.2. Projektui reikalingų kapitalinių investicijų įvertinimas ..... 41
5.3. Projektuojamos KE pajamų vertinimas ..... 42
5.4. Projekto atsipirkimo laikas ..... 42
5.5. Projekto finansinių rodiklių ir rentabilumo vertinimas ..... 43
5.6. Projekto jautrumo analizė ..... 45
IŠVADOS ..... 47
LITERATŪRA ..... 48
PRIEDAI ..... 50
KE modulnės TP vienlinijinė schema ..... 50
Kogeneracinės elektrinės technologinio proceso schema ..... 51
Trumpojo jungimo srovių skaičiavimai ..... 52
Projekto pinigų srautų balansai ..... 55

## ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Miškų, tinkančių medienos ruošai ir galutinio šilumos bei elektros suvartojimo santykis.

1.2 pav. Javų derliaus ir galutinio šilumos bei elektros energijos suvartojimo santykis.

1.3 pav. Susidarančių komunalinių atliekų ir šilumos bei elektros energijos suvartojimo santykis.

1.4 pav. CŠT pateikto metinio šilumos kiekio ir galutinio elektros energijos suvartojimo santykis.

2.1 pav. KE, su biomasės dujinimo grandimi, veikimo schema.

3.1 pav. Smalininkų TVM teritorijos (tiriamojo objekto) nuotrauka.

3.2 pav. Smalininkų 35/10 kV TP paros apkrovos grafikas.

3.3 pav. Šilumos gamyba ir suvartojimas 2008-2012 m. nagrinėjamame objekte.

3.4 pav. Nagrinėjamo objekto katilinės biokuro sunaudojimas šilumos gamybai grafikas 2008-2012 m.

4.1 pav. Metinio projektinio šilumos poreikio grafikas.

4.2 pav. Maksimalios šiluminės apkrovos paros grafikas.

4.3 pav. Principinė šilumos tiekimo balanso schema.

4.4 pav. Elektrinės prijungimo prie artimiausios 0,4/10 kV TP principinė schema (Variantas A).

4.5 pav. Elektrinės prijungimo prie artimiausios 35/10 kV TP principinė schema (Variantas B).

4.6 pav. Ekvivalentinė sistemos schema trumpųjų jungimų skaičiavimui.

5.1 pav. Projekto dabartinės vertės kitimo grafikas projekto eksploatacijos laikotarpiu.

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

4.1 lentelė. Vidutiniai mėnesiniai objekto pastatų šilumos poreikiai šildymo sezono metu.

4.2 lentelė. Šildomo objekto duomenys ir projektinis metinis šilumos poreikis.

4.3 lentelė. Pasirinktos mažosios KE pagrindiniai parametrai.

4.4 lentelė. „Cat“ CG-132-16 elektros kogeneratoriaus elektriniai parametrai.

4.5 lentelė. KE prijungimo variantų aprašymas.

4.6 lentelė. Nexans NA2XSEY 3x50 RM/16 kabelio techninės charakteristikos ir apskaičiuotos varžos.

4.7 lentelė. Nexans NA2XS2Y 1x50 RM/16 kabelio techninės charakteristikos ir apskaičiuotos varžos.

4.8 lentelė. KE prijungimo variantams parinktų Siemens TUNORMA transformatorių techninės charakteristikos.

4.9 lentelė. Kapitalinių išlaidų elektrinės prijungimo prie elektros tinklų variantams palyginimas.

4.10 lentelė. Prijungimo variantų ekonominis palyginimas.

4.11 lentelė. Trumpųjų jungimų srovių skaičiavimo rezultatai.

4.12 lentelė. Šynų parinkimo sąlygos.

4.13 lentelė. Jungtuvų ir skyriklių parinkimo sąlygos.

4.14 lentelė. Techniniai projekto rodikliai, įtakojantys ekonominius projekto rodiklius.

5.1 lentelė. Investicijos į vertinamą KE projektą.

5.2 lentelė. Projektuojamos pajamos už KE energijos gamybą.

5.3 lentelė. Projekto atsipirkimo laikas prie skirtingų diskonto normų.

5.4 lentelė. Projekto grynosios dabartinės vertės.

5.5 lentelė. Projekto jautrumo analizės rezultatai, vertinant 15% kuro kainos padidėjimą.

5.6 lentelė. Projekto jautrumo analizės rezultatai, vertinant 5% elektros energijos supirkimo tarifo sumažėjimą.

## SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai;

ES – Europos Sąjunga;

CŠT – centralizuotas šilumos tinklas;

KE – kogeneracinė elektrinė;

LŠTA – Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija;

S. r. – savosios reikmės;

# ĮVADAS

Šiuolaikinio pasaulio be energetinių sistemų įsivaizduoti neįmanoma. Ilgą laiką žmonija, nesirūpindama pasekmėmis, naudojo iškastinius energetinius išteklius, komfortabilios būties kūrimui ir palaikymui. Deja, jau ne vieną dešimtmetį akivaizdu, kad tokių energetinių išteklių naudojimo pasekmėmis – užterštu oru didmiesčiuose, šiltnamio efektu ir eile panašių problemų, esame priversti rūpintis. Geriausias iškastinio kuro naudojimo sukeltų problemų sprendimas šiandien – atsinaujinančios energijos panaudojimas, energetiniams poreikiams tenkinti.

Atsinaujinančios energetikos technologijos jau šiuo metu efektyviai mažina planetos taršą, patenkindamos žmonių energetinius poreikius. Pastebėjus AEI panaudojimo teikiamą naudą, didžiosios Vakarų valstybės, bei ES sukūrė energetikos strategijas, kuriose numatyta ateityje vis daugiau reikalingos energijos pagaminti naudojant AEI. Lietuva neišvengiamai privalo prisidėti prie ES strategijos, nes yra ES narė, taigi reikia ieškoti naujų galimybių tenkinti šalies energetinius poreikius, naudojant AEI.

Lietuva yra Europos centre. Šioje platumoje egzistuoja 4 metų laikai. Metus dar galima dalinti į šiltąjį ir šaltąjį laikotarpius. Šaltuoju metų laikotarpiu Lietuvoje privalome šildyti gyvenamuosius namus apie 190 [1] dienų per metus – tai daugiau nei pusė metų. Vadinasi, reikalingas nemažas energijos kiekis namų šildymui. Gaila, tačiau bene kiekvienas šildymo sezonas Lietuvoje yra lydimas skundų dėl aukštų šilumos kainų.

Sunku būtų rasti žmogų Lietuvoje, įsivaizduojantį savo buitį be elektros energijos teikiamų patogumų. Tikriausiai nei viena pramonės šaka neveiktų be elektros energijos. Lietuvoje 2014 m. buvo suvartota 9,84 TWh elektros energijos, fiksuotas elektros suvartojimo augimas [2]. Elektros energijos naudojimas yra ir bus neatsiejama žmonijos gyvenimo dalis, ir buitiniame ir pramoniniame pasauliuose.

Atsižvelgiant į aprašytas, daugiausiai Lietuvoje naudojamas, energijos rūšis ir aplinkos taršos mažinimo strategiją, bakalauro baigiamajame darbe pasirinkta vertinti kogeneracinę elektrinę, biokuro degimo šilumą verčiančią į šilumos ir elektros energijas. Biokuras, pripažįstamas atsinaujinančiu energijos ištekliumi - tai sąlyginai greitai augantys augalai, kurių sąlyginis energetinis potencialas yra pakankamas elektros ir šilumos energijos gamybai. Be jau įvardytų biokuro panaudojimo energijos gamybai privalumų, teigiama, kad, deginant biokurą pagaminta šiluma, yra pigesnė, nei pagaminta naudojant kitus, šiuo metu prieinamus, energetinius išteklius.

Įvertinus aprašytus Lietuvos energetinius poreikius, išlaidų energijai problemas, ES įpareigojimus Lietuvai naudoti AEI, bei kogeneracinių biokuro elektrinių aprašus ir juose siūlomus

sprendimus, atrodo, kad tokios elektrinės gali būti daugelio energetinių problemų Lietuvoje sprendimas. Vis dėl to, kogeneracinės biokuro elektrinės, kaip ir bet kurios kitos elektrinės nėra pigios, tad šio darbo pagrindinis tikslas – atlikti mažosios kogeneracinės elektrinės naudojančios biokurą techninį bei ekonominį vertinimą.

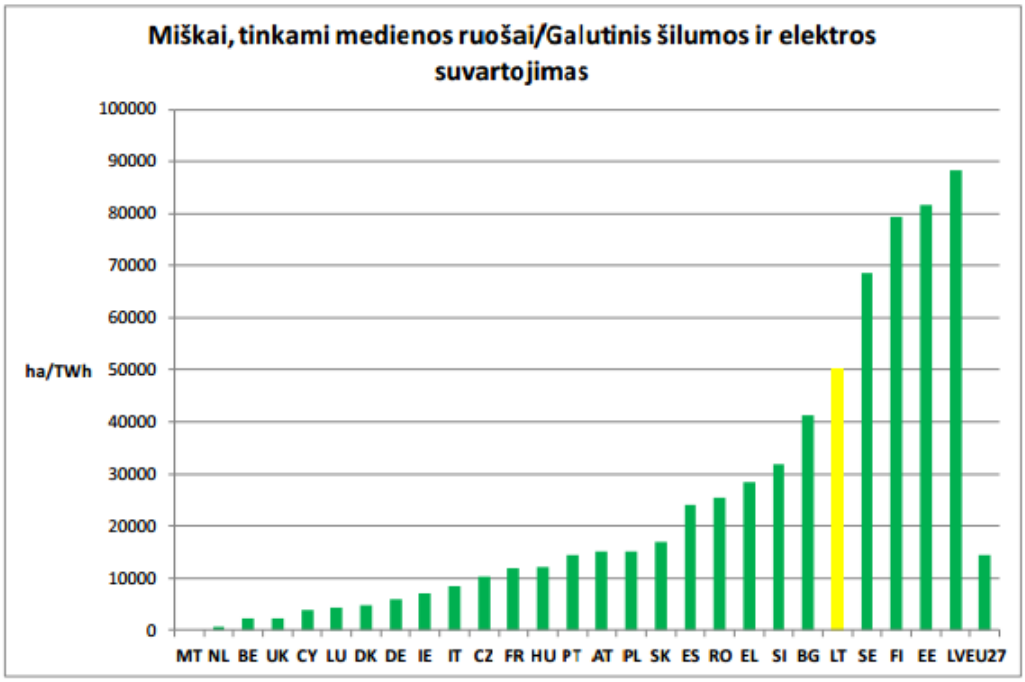
Šiam tikslui pasiekti baigiamajame bakalauro darbe nagrinėjami uždaviniai:

- atlikti esamos situacijos analizę;
- nustatyti perspektyvinius šilumos ir elektros energijos poreikius bei parinkti optimalią elektrinės galią;
- atlikti techninį kogeneracinės elektrinės prijungimo projektą;
- atlitki ekonominį kogeneracinės elektrinės vertinimą.

# 1. KOGENERACINIŲ ELEKTRINIŲ, NAUDOJANČIŲ BIOKURĄ, POTENCIALAS LIETUVOJE

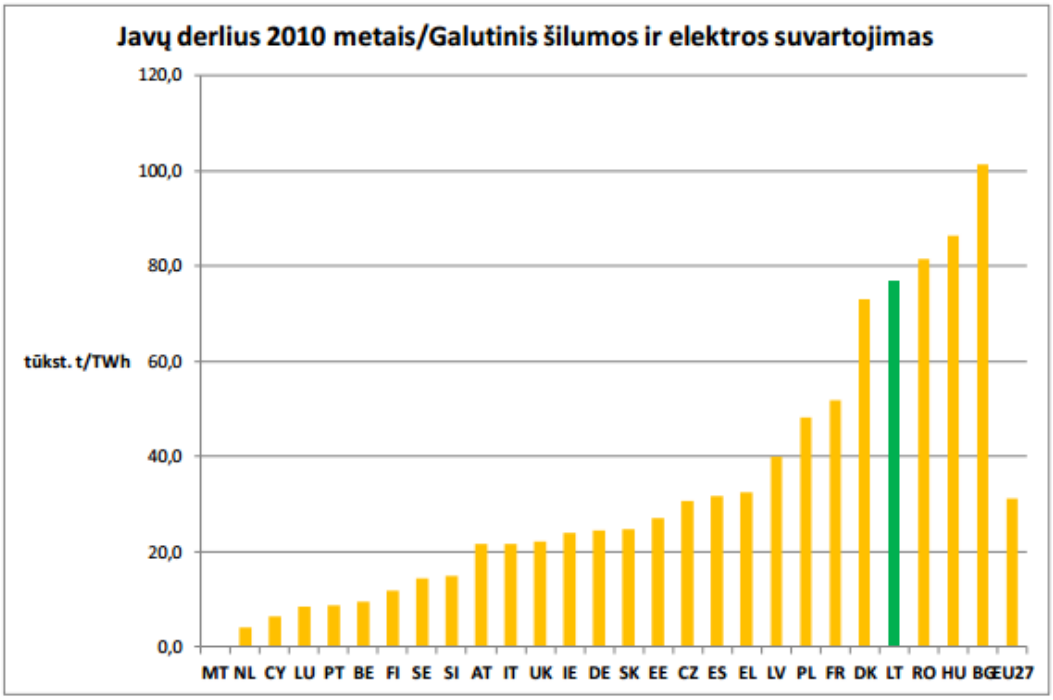
Svarstant visus energetinius projektus labai svarbu išsiaiškinti kuro ar kito energijos šaltinio, reikalingo energijos gamybai, potencialą. Šis procesas svarbus norint įvertinti optimalią energijos gamybos agregatų galią, ekonominę naudą ir pasirinktos energetikos rūšies perspektyvas. Lietuvoje, palyginti su kitomis ES šalimis, yra dideli biokuro ištekliai.

Biokuro išteklių potencialą Lietuvoje apytiksliai galima įvertinti padalinus miškų, kuriuose gali būti vykdomi kirtimai, plotą hektarais iš per metus suvartojamos energijos gigavatvalandėmis. Pagal tokį palyginimą Lietuva tarp 27-ių ES šalių užima 5-ą vietą (palyginimas pateiktas 1.1 pav.).



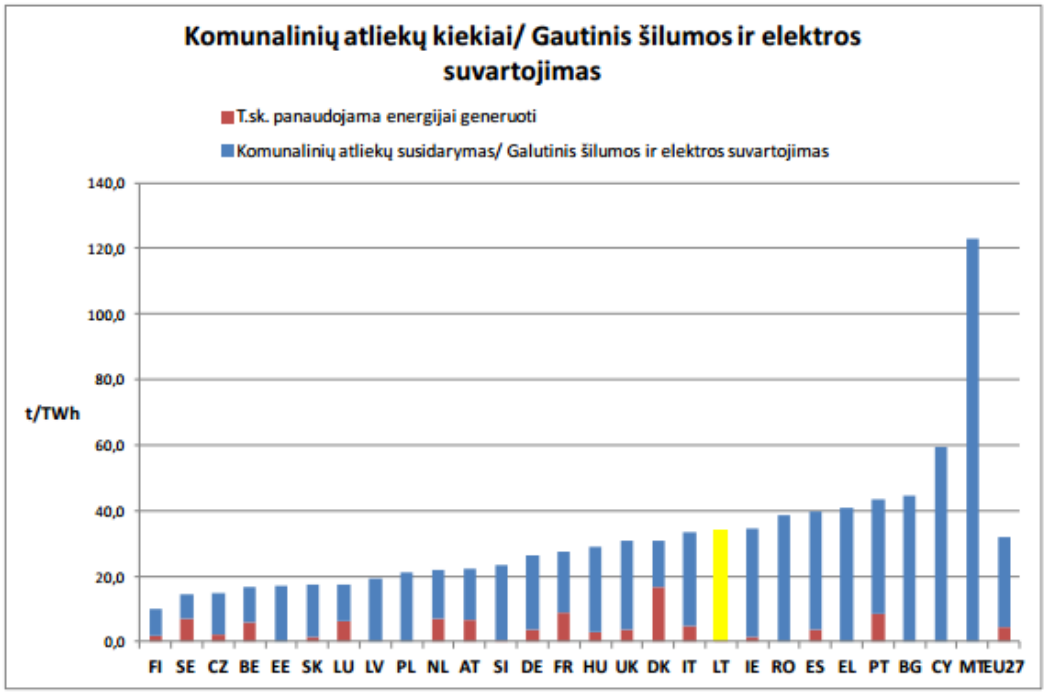

**1.1 pav.** Miškų, tinkančių medienos ruošai ir galutinio šilumos bei elektros suvartojimo santykis [3].

Miškų mediena nėra vienintelis biokuro šaltinis. Siekiant, didesnio biokuro potencialo vertinimo tikslumo reikia vertinti ir šiaudų, bei komunalinių atliekų panaudojimo energetikoje potencialus. Tiksliai šiaudų panaudojimo energijos gamybai potencialą įvertinti gan sudėtinga, bet apytiksliai tai galima padaryti padalinus javų derlių (tūkst. t.) iš galutinio šilumos ir elektros energijos suvartojimo (TWh) per metus. Vertinant pagal šiaudų panaudojimo energetikoje potencialą Lietuva užima 4-ą vietą tarp 27 ES valstybių (1.2 pav.).




**1.2 pav.** Javų derliaus ir galutinio šilumos bei elektros energijos suvartojimo santykis [3].

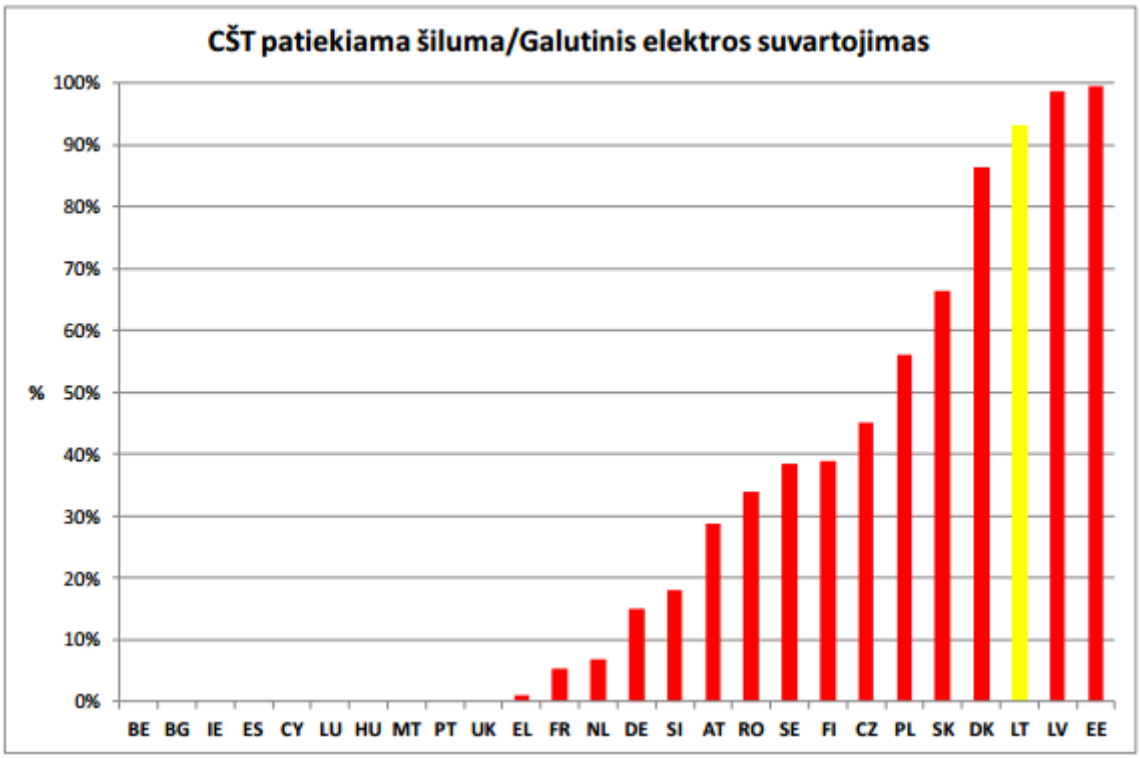
Komunalinių atliekų panaudojimo energijos gamybai potencialą preliminariai galima įvertinti padalinus susidarančių komunalinių atliekų kiekį (tonomis) iš šilumos ir elektros energijos suvartojimo (TWh) per metus. Pagal šį rodiklį Lietuva tarp 27 ES šalių – 9-a (1.3 pav.).




**1.3 pav.** Susidarančių komunalinių atliekų ir šilumos bei elektros energijos suvartojimo santykis [3].

Nors šie trys palyginimai parodo tik Lietuvos biokuro potencialo energetikai santykį su kitomis ES valstybėmis, palyginimų rezultatai aiškiai rodo, kad Lietuvoje galima plėtoti biokuro energetiką ir tai yra perspektyvu.

Vertinant kogeneracijos potencialą Lietuvoje galima palyginti patiektos vartotojams šilumos ir elektros energijos kiekius (1.4 pav.).




**1.4 pav.** CŠT pateikto metinio šilumos kiekio ir galutinio elektros energijos suvartojimo santykis [3].

Iš 1.4 pav. diagramos matyti, kad Lietuvoje vartotojams šilumos energijos patiekiama beveik tiek pat, kiek patiekiama elektros energijos. Pagal šį rodiklį ES, Lietuva užima 3-ią vietą.

Kogeneracinėse jėgainėse paprastai 7-50% pirminio kuro energijos paverčiama elektros energija, 8-20% kuro energijos virsta nuostoliais, o likusi kuro energija sunaudojama pastatams šildyti, karštam vandeniui ruošti ar technologiniams poreikiams tenkinti. Toks energijos gamybos procesas turi eilę privalumų:

- Didesnis šilumos ir elektros energijos gamybos naudingumo koeficientas (lyginant su jėgainėmis, gaminančiomis šilumą ir elektrą atskirai, pvz., atskiru termofikacinio vandens ruošimo katilu ir šilumine elektrine),
- Dėl didesnio energijos panaudojimo efektyvumo, bei naudojamų technologijų (pvz., kondensacinio ekonomaizerio), mažesni $CO_2$ ir kitų kenksmingų dalelių išmetimai į aplinką, lyginant su pvz., šilumine elektrine,

- Didesnė ekonominė nauda,
- Galimybė pereiti prie decentralizuoto energijos tiekimo, taip gaunant didesnį energetinių sistemų naudingumą, sumažinant energijos perdavimo nuostolius.

Lietuvoje yra gerai išvystytas CŠT ūkis, todėl galima įrengti didelės galios ir santykinai pigius biokurą energijai generuoti naudojančius įrenginius. Šalyje neblogai išvystyti ir elektros tinklai. Apibendrinant visus aukščiau atliktus palyginimus, išvardytus kogeneracijos privalumus ir šalies energetinio ūkio situaciją galima daryti išvadą, kad Lietuvoje yra geros sąlygos kogeneracinių elektrinių statybai ir eksploatacijai, naudojant kietą biokurą.

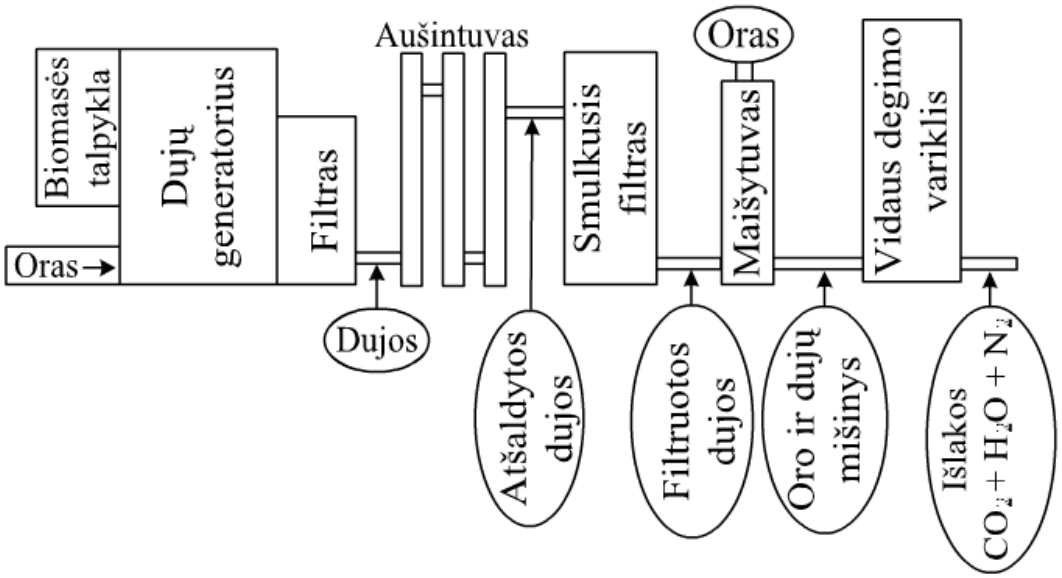
# 2. KOGENERACINIŲ ELEKTRINIŲ VEIKIMO PRINCIPAS IR KONSTRUKCIJA

KE veikimo principas pagrįstas šilumos ir elektros energijos gamyba, apjungiant abu procesus į vieną. Tokiose elektrinėse deginamas kuras pašildo garą, reikalingą turbinai, sukančiai elektros generatorių, sukti, o dalis pro turbiną praėjusio garo šilumos atiduodama šilumos vartotojams, pavyzdžiui, netoli elektrinės esančiam miestui šildyti. Atsižvelgiant į gerą biokuro potencialą Lietuvoje, baigiamajame bakalauro darbe nagrinėjamas sistemos su biokuro dujinimo grandimi ir vidaus degimo varikliu taikymas.

## 2.1. KE sistema su biomasės dujinimo grandimi

KE su biomasės dujinimo grandimi naudoja kietąjį kurą – malkas, pjuvenas, medienos ir šiaudų granules. Šiame darbe nagrinėjama sistema naudojanti šiaudų granules. Pagrindinės šio tipo KE dalys yra [4]:

- dujų generatorius – jame dujinamas kietasis kuras,
- karštų dujų, išėjusių iš dujų generatoriaus rupusis filtras ir aušintuvas – juose vyksta didesnių nereikalingų dalelių filtravimas ir ataušinimas iki beveik kambario temepratūros,
- smulkusis, atvėsintų dujų filtras – jame filtruojamos kuo smulkesnės kenksmingos dalelės ir iš šio filtro dujos išeina paruoštos sudeginimui,
- prafiltruotų dujų maišytuvas su oru – tai degaus mišinio sudarymo grandis,
- vidaus degimo (ar kitoks) variklis – jame degus mišinys deginamas, verčiant dujų šiluminę energiją mechanine kinetine energija.




**2.1. pav.** KE su biomasės dujinimo grandimi schema [4]

Sistemoje su biomasės dujinimo grandimi dujų reaktoriuje yra palaikoma aukšta temperatūra, tačiau į reaktorių tiekiama 20-25% deguonies, reikalingo medienos užsidegimui. Vyksta dalinių pirolizės (anglėjimo) ir degimo reakcijų kombinacija. Mediena dujų generatoriuje ne dega, o smilksta. Išsiskyrusios medienos dujos išvalomos ir atšaldomos, kad būtų tinkamos tiekti į vidaus degimo variklį. Po kelių tokio termocheminio proceso etapų susidaro dujų mišinys kuriame yra daug azoto, mažiau anglies monoksido bei dioksido, vandenilio šiek tiek metano ir labai maži kiekiai kitokių medžiagų. Dujinant medieną svarbu, kad jos drėgnis būtų kuo mažesnis.

Vertinant skirtingas dujinimo technologijas, projektuojant didesnės galios KE geriausiai rinktis pseudoverdančio cirkuliuojančio kuro arba fiksuoto guolio lygiagrečių srautų dujų generatorių [4]. Pastarojoje sistemoje, kuras ir oras yra paduodami iš viršaus, degiosios dujos išgaunamos reaktoriaus apačioje. Pseudoverdančio cirkuliuojančio kuro dujų generatorius yra sudėtingesnis, oras į sistemą paduodamas iš apačios, kuras – iš viršaus, degiosios dujos imamos iš reaktoriaus viršaus ir nukreipiamos į filtrus; dėl į dujų generatoriaus apačią paduodamo fluido (šiuo atveju, oro) aktyvios tėkmės per biomasę, ji pradeda tarsi kunkuliuoti, dėl to ši sistema pavadinta pseudoverdančio kuro sistema. Abiejų reaktorių atvejais, esant reikalui, dujos yra filtruojamos (pseudoverdančio cirkuliuojančio kuro generatoriaus atveju – visada), ir dažniausiai patiekiamos į vidaus degimo variklį, kuris gali sukti generatorių ir gaminti elektros energiją, o variklyje ir medienos dujų aušintuve išsiskyrusi šiluma nukreipiama šilumos vartotojų poreikiams patenkinti.

# 3. PASIRINKTO OBJEKTO APRAŠYMAS

Baigiamojo bakalauro darbo objektu pasirinktas Smalininkų miestelio, esančio Lietuvos pietvakariuose, Smalininkų technologijų ir verslo mokyklos rajonas. Miestelis priklauso Tauragės apskričiai, jo plotas 65 $km^2$. Bendras gyventojų skaičius miestelyje yra 1785.



**3.1 pav.** Smalininkų TVM teritorijos (tiriamojo objekto) nuotrauka

Pasirinktas objektas nagrinėjimui yra Smalininkų miestelio vidurio šiaurinėje dalyje. Šildomi pastatai objekte yra mokyklos centriniai rūmai ir mokomosios dirbtuvės, 4 daugiabučiai namai, didelė sporto salė ir 2, mokyklai priklausantys, daugiabučiai. Dauguma statinių statyti 1968-1972 metais.

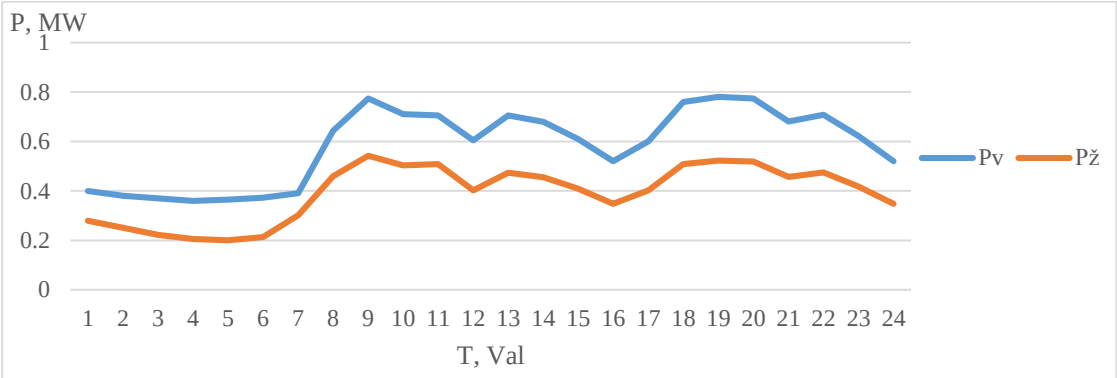
Visi aukščiau išvardinti pastatai šiluma aprūpinami per centralizuotos šilumos tiekimo sistemą iš biokuru kūrenamos katilinės. Dujų tinklai šiame objekte neeksploatuojami.

Pagal 2014 m. sausio 30 d. Jurbarko rajono savivaldybės tarybos patvirtintą Smalininkų miesto bendrąjį planą, patvirtinta Smalininkų teritorijos subalansuotos plėtros koncepcija 20-čiai mėtų. Pagal šią koncepciją planuojama plėsti esamą elektros energijos paskirstymo tinklą, naujus paskirstymo tinklus tiesiant kabelinėmis linijomis, įrengti 7 naujas transformatorines ir pagal poreikį rekonstruoti esamas transformatorines. Patvirtintame bendrajame teritorijos plane numatyta pereiti prie šilumos gamybos tik iš biokuro

## 3.1. Objekto elektros energijos tiekimo sistema ir suvartojimas

Miesteliui elektros energija tiekiama 8 (10 kV) oro ir kabelinėmis linijomis iš Smalininkų 35/10 kV transformatorinės pastotės (TP). Ši transformatorinė pastotė maitinama 35 kV oro linija iš Laukėsos 110/35/10 kV TP. Yra ir rezervinė 10 kV jungtis su Jurbarko miesto skirstomuoju tinklu.

2012 m. miesteliui buvo patiekta 4134,316 MWh aktyviosios ir 2096,026 MVar reaktyviosios elektros energijos.



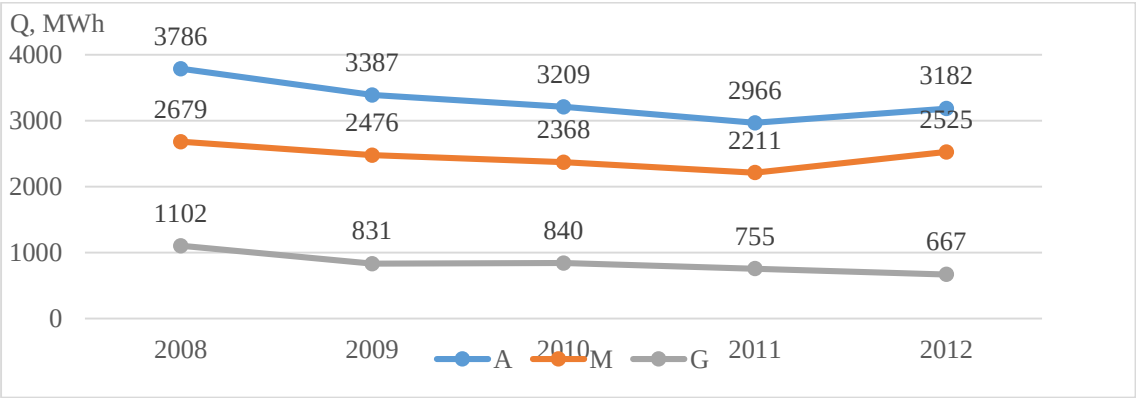

**3.2 pav.** Smalininkų 35/10 kV TP paros apkrovos grafikas; čia Pž – žiemos apkrova, Pv – vasaros apkrova.

Nagrinėjamo objekto skirstomasis 0,4 kV tinklas sudarytas iš 3 10/0,4 kV pastočių ir jų elektros tiekimo linijų. Iš Smalininkų 35/10 kV TP elektros energija tiekiama 10 kV kabeliais ir paskirstoma per tarpines 10/0,4 kV pastotes.

### 3.2. Šilumos tiekimo sistema ir suvartojimas nagrinėjamame objekte

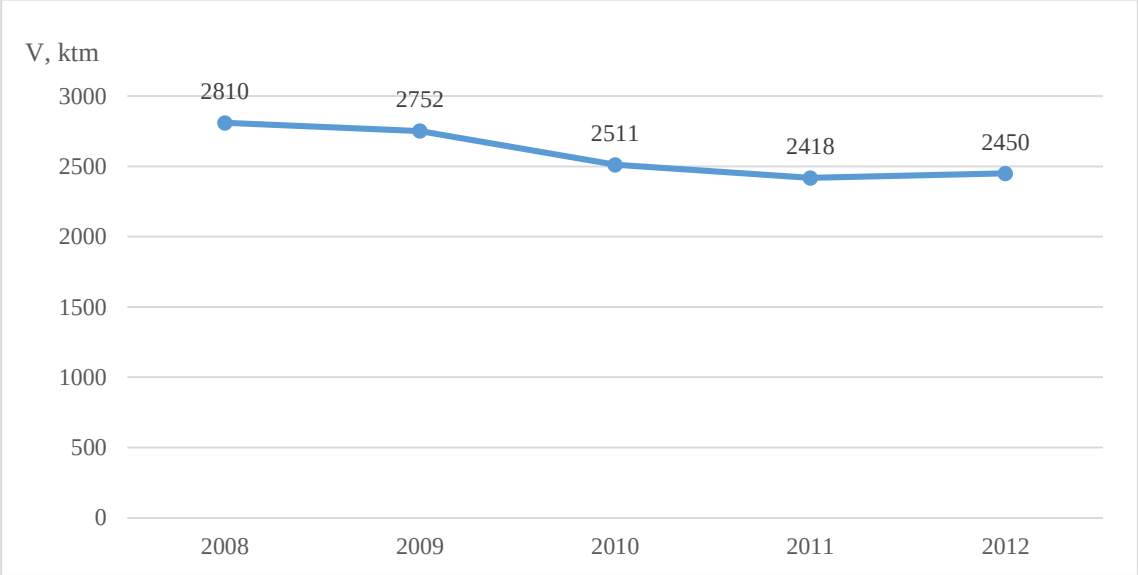
2012 m. iš Smalininkų TVM katilinės į CŠT buvo patiekta 3182 MWh$_š$ šiluminės energijos [4]. Šios energijos suvartojimas pasiskirstė taip: 79% energijos buvo suvartota mokyklos šildymo poreikių tenkinimui (įskaitant ir perdavimo nuostolius) ir 21% energijos buvo patiektas miestelio gyventojams.

Baigiamajame bakalauro darbe priimta šildymo sezono trukmė – 180 d. Šilumos gamyba ir suvartojimas pateikti 3.3 paveiksle.




**3.3 pav.** Šilumos gamyba ir suvartojimas 2008-2012 m. nagrinėjamame objekte; čia: A – atiduota šilumos į CŠS, M – šiluma, sunaudota mokyklos poreikiams, G – realizuota šiluma tenkinant gyventojų poreikius

Šiuo metu objektui tiekiama šiluma yra išgaunama kūrenant biokurą – įvairias medžio atliekas, kurias tiekia vietinė medžio apdirbimo įmonė. Taip pat, naudojamos ir miško ruošos atliekos. Biokuro suvartojimas objekto šilumos poreikiams patenkinti pateiktas 3.4 paveiksle.




**3.4 pav.** Nagrinėjamo objekto katilinės biokuro sunaudojimas šilumos gamybai grafikas 2008-2012 m.

# 4. MAŽOSIOS KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS PROJEKTAS

## 4.1. Šiluminės energijos techninės dalies įvertinimas

### 4.1.1. Projektinis šilumos poreikis

Projektinio šilumos suvartojimo skaičiavimams naudojamos pastatų šiluminės kategorijos (pagal LŠTA). Objekto pastatai yra pastatyti seniai: 1968-1972 metais, tokio senumo statinių šiluminė izoliacija dažniausiai yra prasta ir tokie pastatai priskiriami III kategorijai pagal šilumos suvartojimą [1]. Šiai kategorijai priskiriamų pastatų vidutinis šilumos energijos poreikis yra apie 25 kWh/m$^2$ šildomo ploto per mėnesį. Pastatų šilumos poreikio kategorijos patikrinimas:

$$Q_{vid} = \frac{Q_{2012}}{S_{šild} \times t_{mėn}}; \quad (4.1)$$

čia: $Q_{vid}$ – vidutinis šilumos poreikis kvadratiniam metrui per mėnesį, kWh/m$^2$; $Q_{2012}$ – 2012 metais sunaudotas šilumos kiekis konkrečiam objektui (mokyklai ar gyvenamiesiems pastatams) šildyti, kWh; $S_{šild}$ – šildomas konkretaus objekto plotas, m$^2$; $t_{mėn}$ – šildymo laikas, mėnesiais (kadangi baigiamajame darbe priimta šildymo sezono trukme laikyti 180 d., tai yra 6 mėnesiai).

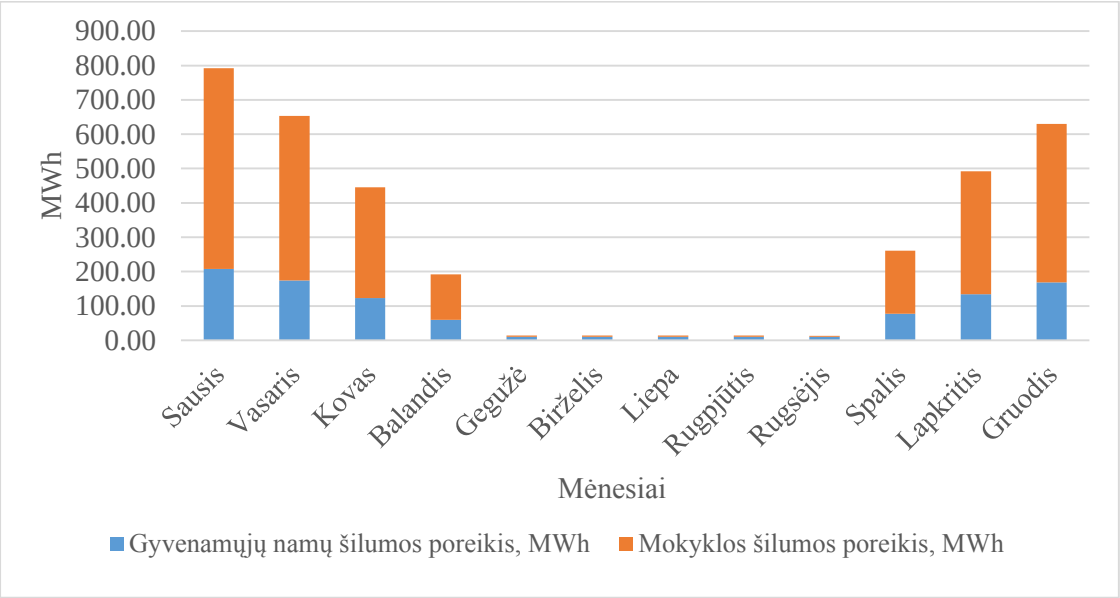
Pagal (4.1) formulę apskaičiavus vidutinius šilumos poreikius, gauti 22,05 kWh/m$^2$ gyvenamiesiems namams. Vertinant pagal pastatų šilumines kategorijas ir statybos metus, šių pastatų šiluminis poreikis artimiausias III šilumos poreikio kategorijos pastatams (pagal LŠTA standartus [1]), kurių vidutinis šilumos poreikis yra 25 kWh/m$^2$. Tolesniuose skaičiavimuose objekto projektinis šilumos poreikis vertinamas pagal III LŠTA šilumos poreikių kategorijos pastatų šilumos poreikius.

Nustatant projektinį šilumos poreikį, svarbu vertinti tai, kad, šildymo sezono metu, gyvenamieji namai yra šildomi nuolat, o mokykloje nakčiai šildymas yra beveik išjungiamas, siekiant sumažinti išlaidas šildymui. Vertinant projektinį šilumos poreikį, buvo priimta, kad mokyklos šilumos poreikis visiškai patenkinamas nuo 6 valandos ryto iki 8 valandos vakaro, o kitu paros metu mokyklos šilumos poreikis tenkinamas tik 30%. Taip pat, svarbu įvertinti tai, kad skirtingais mėnesiais šildymo poreikis yra skirtingas. Projektinio šilumos poreikio vertinime priimta, kad mokyklai reikės 4 MWh kas mėnesį karštam vandeniui ruošti, o gyvenamiesiems pastatams 20 MWh energijos. 4.1 lentelėje pateikta LŠTA pateikiami vidutiniai šilumos poreikiai III šilumos poreikių kategorijos pastatams.

**4.1 lentelė.** Vidutiniai mėnesiniai objekto pastatų šilumos poreikiai šildymo sezono metu.

| Mėnesis | Spalis | Lapkritis | Gruodis | Sausis | Vasaris | Kovas | Balandis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Šilumos poreikis, kWh/m$^2$ | 10 | 20 | 26 | 33 | 27 | 18 | 7 |
| Gyvenamųjų namų šilumos poreikis, MWh | 77,06 | 134,12 | 168,35 | 208,29 | 174,06 | 122,71 | 59,94 |
| Mokyklos šilumos poreikis, MWh | 177,77 | 351,55 | 455,81 | 577,45 | 473,19 | 316,79 | 125,64 |

Pagal 4.1 lentelę didžiausias šilumos poreikis yra sausio mėn. Pagal 4.1 lentelės duomenis sudarytas metinis projektinis šilumos poreikio grafikas pateiktas 10 paveiksle.




**4.1 pav.** Metinio projektinio šilumos poreikio grafikas.

Sudėjus mėnesinius objekto šilumos poreikius, gautas metinis šilumos poreikis. Rezultatai pateikti 4.2 lentelėje.

**4.2 lentelė.** Šildomo objekto duomenys ir projektinis metinis šilumos poreikis.

| Šilumos vartotojai | Šildomas plotas, m² | Šilumos poreikis 2012 m., MWh | Projektinis šilumos poreikis., MWh | Šilumos vartojimas | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Vasarą | | Žiemą | |
| | | | | K. V. | P.Š. | K.V. | P.Š. |
| Gyvenami namai | 5705,86 | 755 | 994,53 | + | - | + | + |
| Mokykla | 24532,66 | 2211 | 2539,20 | + | - | + | + |
| **Iš viso:** | 30238,52 | 2966 | **3533,73** | | | | |

Žiemos sezono metu šiluma suvartojama mokyklos ir gyventojų šilumos poreikiams tenkinti ir nuostoliams šilumos tiekimo tinkluose padengti. Vasaros šilumos poreikių pagrindinės dedamosios yra: šilumos, reikalingos karštam vandeniui ruošti poreikis ir šiluminiai nuostoliai šilumos tiekimo tinkluose.

### 4.1.2. Reikalingos minimalios KE galios nustatymas

Reikalingos KE galios įvertinimui ir šilumos akumuliacinės talpos parinkimui svarbu įvertinti maksimalią reikalingą šiluminę galią objekto šildymui. Šiam vertinimui pasirinkta -25 °C lauko oro temperatūra. Tokiu atveju, šilumos reikalinga sistemos specifinė galia q = 163 W/m$^2$ [5]. Pagal (4.1) formulę nustatytas KE šiluminės galios poreikis gyvenamųjų namų šilumos poreikiams patenkinti:

$$Q_{gyv.} = q * F; \quad (4.2)$$

čia: $Q_{gyv.}$ – šiluminės galios poreikis gyvenamųjų namų poreikiams patenkinti, W;

q – gyvenamųjų namų šildymo sistemų specifinė galia, W/m$^2$;

F – gyvenamųjų namų patalpų plotas, m$^2$.

Apskaičiavus pagal (4.2) formulę, gauta reikalinga šildymo sistemos galia gyvenamųjų namų šilumos poreikiui patenkinti yra 930,01 kW.

Šiluminė KE galia mokyklos poreikiams šildyti apskaičiuojama pagal (4.3) formulę:

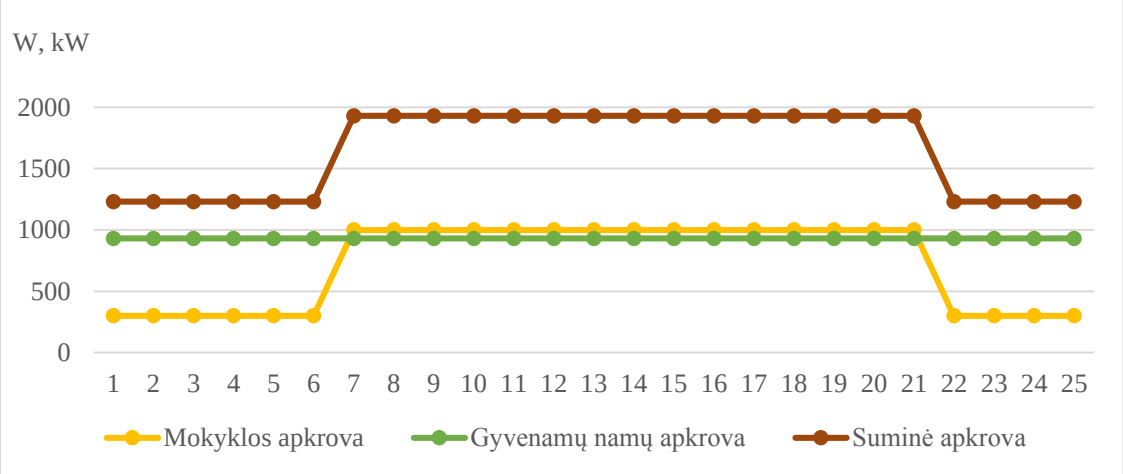
$$Q_{mok.} = Q_{gyv.} * k; \quad (4.3)$$

čia – $Q_{mok.}$ – šiluminės galios poreikis mokyklos poreikiams patenkinti, W;

k – visuomeninių pastatų šildymo šilumos poreikių koeficientas (0,25) [5].

Apskaičiavus mokyklai reikalingos šiluminės galios poreikį, šilumos poreikio patenkinimui užtikrinti, gauta reikalinga 999,68 kW šiluminė KE galia. Vadinasi, objekto poreikiams patenkinti bus reikalinga įrengti mažiausiai 1,930 MW šiluminės galios KE.

Įvertinant mokyklos šilumos apkrovos kitimą per parą, sudarytas maksimalios paros šiluminės apkrovos grafikas.




**4.2 pav.** Maksimalios šiluminės apkrovos paros grafikas.

Esant maksimalios apkrovos sąlygoms, per parą mokyklos šilumos poreikiams patenkinti reikia pagaminti 23,25 MWh, gyvenamųjų namų 17,994 MWh šilumos energijos. Pagal apibrėžtas maksimalios šilumos poreikio apkrovos sąlygas, objektas iš viso maksimaliai gali suvartoti iki 41,244 MWh šilumos energijos per parą.

### 4.1.3. Akumuliacinės talpos parinkimas

Šilumos akumuliaciniai bakai kogeneracinėse elektrinės padeda išlyginti šilumos poreikio netolygumus per tam tikrą laiką, prailgina kogeneratoriaus tarnavimo laiką, suteikia lankstumo dispečeriniam valdymui ir leidžia išnaudoti palankius elektros energijos kainos tarifus.

Parinkus per mažą akumuliacinį baką, KE agregatai dažniau įsijunginėja, taip padidindami energijos gamybos nuostolius. Be to, dirbant tokiu režimu mažesnis elektrinės tarnavimo laikas. Įtakojantys akumuliacinės talpos dydį faktoriai:

- Techninio aptarnavimo laikas – 8 val.;
- Gazifikatoriaus paleidimo laikas – kelios valandos;
- Avarijos likvidavimo laikas – 24 val.;

Labai mažai tikėtina, kad keli pastarieji faktoriai įvyks vienas po kito arba keliskart iš eilės, todėl, akumuliacinės talpos parinkimui nustatoma sąlyga, kad ji užtikrintų nepertraukiamą šilumos tiekimą 24 val., esant vidutinės apkrovos sąlygoms. Vertinant pagal vidutinės apkrovos sąlygas, šilumos tiekimo vienai parai užtikrinimui, talpoje turi būti 19 MWh šilumos energijos.

KE atiduodamo termofikacinio vandens temperatūra yra 95° C, į tinklus atiduodamo vandens žemutinė temperatūros riba yra 60 °C, vadinasi akumuliacinės talpos temperatūrų skirtumas ΔT yra 35 ° C. Akumuliacinė talpa aprašoma tūriu (V), tūrio išnaudojimo koeficientu (ε) ir temperatūrų skirtumu (ΔT). Gerai suprojektuotoms akumuliacinėms talpos ε priimamas 90%. Turint šiuos duomenis apskaičiuotas reikalingas talpos tūris [susijęs straipsnis]:

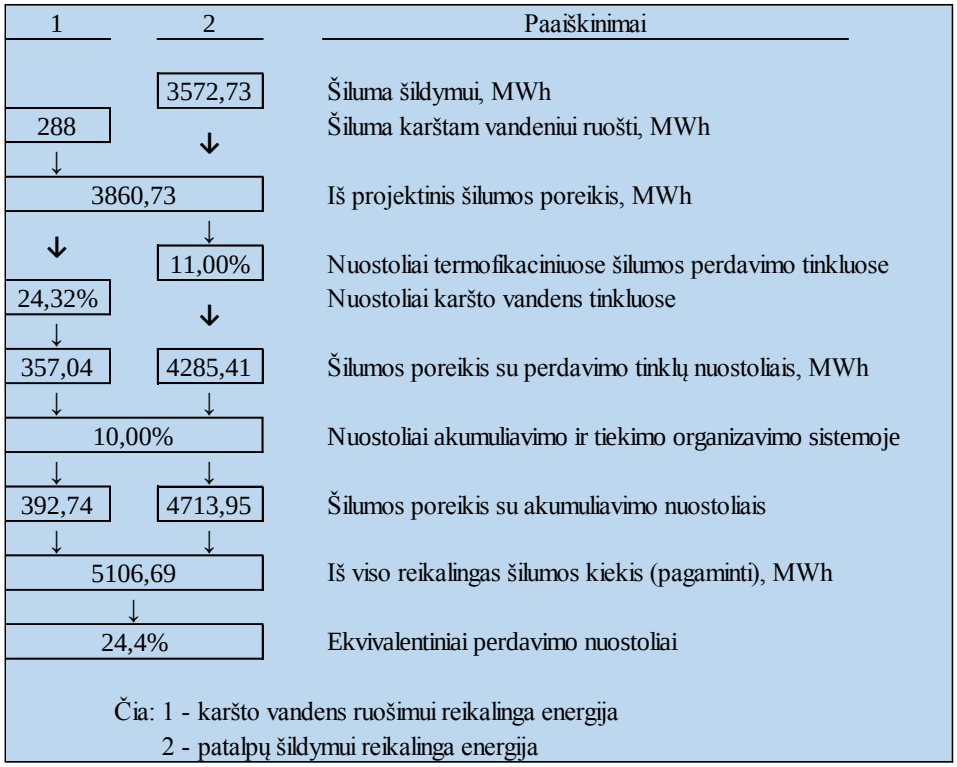
$$V = \frac{3600 \times Q}{\rho \times C_p \times \Delta T \times \varepsilon}; \quad (4.3)$$

čia: $c_p$ – savitoji vandens šiluma, lygi 4,18 kJ/(kg·K); ρ – vandens tankis, lygus 998 kg/m$^3$, Q – talpoje sukauptas šilumos kiekis, priimtas 19 MWh.

Pagal (4.3) formulę apskaičiuotas reikalingas akumuliacinės talpos tūris – 520,51 m$^3$.

### 4.1.4. Šilumos tiekimo sistemos balansas

Išnagrinėjus esamos katilinės darbo duomenis, bei remiantis šios katilinės veiklos tyrimais ir energetinių auditų išvadomis [4 ir 6], sudaryta šilumos balanso projektiniam šilumos kiekiui principinė schema (pateikta 4.3 paveiksle).




**4.3 pav.** Principinė šilumos tiekimo balanso schema.

Suvartojamos šilumos kiekis yra 3860,73 MWh. Gauti ekvivalentiniai (skaičiuojamieji) šilumos perdavimo nuostoliai sudaro 24,4%. Gautas per metus reikalingas pagaminti projektinis šilumos kiekis yra 5106,69 MWh.

### 4.1.5. Parinktos KE parametrai

Baigiamajame bakalauro darbe mažoji kogeneracinė elektrinė parenkama pagal objekto maksimalų projektinį šilumos poreikį, nustatytą 4.1.2 skyrelyje. Reikalinga minimali elektrinės šiluminė galia gauta 1,93 MW.

Pasirinkta *BioSynergi* mažoji kogeneracinė elektrinė. Elektrinės charakteristikos pateiktos 4.3 lentelėje [pritaikyta iš 7 šaltinio]. Iš 3-ios lentelės nustatytas bendras KE naudingumo koeficientas 0,8.

**4.3 lentelė.** Pasirinktos mažosios KE pagrindiniai parametrai [7].

| **KE pavadinimas** | **Elektrinė galia, $kW_e$** | **Šiluminė galia, $kW_š$** | **Reikalingas kuras, $kW_š$** |
|---|---|---|---|
| BioSynergi | 800 | 2000 | 3522 |

Pasirinktas KE gamintojas nepateikia detalių elektros generatoriaus charakteristikų, todėl pasirinktas preliminarus galimas 800 $kW_e$ galios „Cat“ elektros kogeneratoriaus modelis CG-132-16.

Šis kogeneratorius turi vidaus degimo variklį ir šilumos atgavimo sistemą. Generatoriaus charakteristikos pateiktos 4.4 lentelėje [8].

**4.4 lentelė. „**Cat“ CG-132-16 elektros kogeneratoriaus elektriniai parametrai.

| Generatorius: „Cat“ CG-132-16 | | |
|---|---|---|
| **Parametras** | **Žymėjimas** | **Vertė** |
| Pilnutinė galia | $S_G$, kVA | 989 |
| Nominali galia | $P_N$, kW | 791,2 |
| Nominali įtampa | $U_N$, V | 400 |
| Dažnis | $f_N$, Hz | 50 |

Pasirinktos kogeneracinės elektrinės veikimo schema pateikta 2 priede. Tolesniam vertinimui priimama, kad elektrinė dirbs pilna galia visus metus.

## 4.2. Elektros energijos techninės dalies vertinimas

### 4.2.1. Esamas objekto elektros tinklas

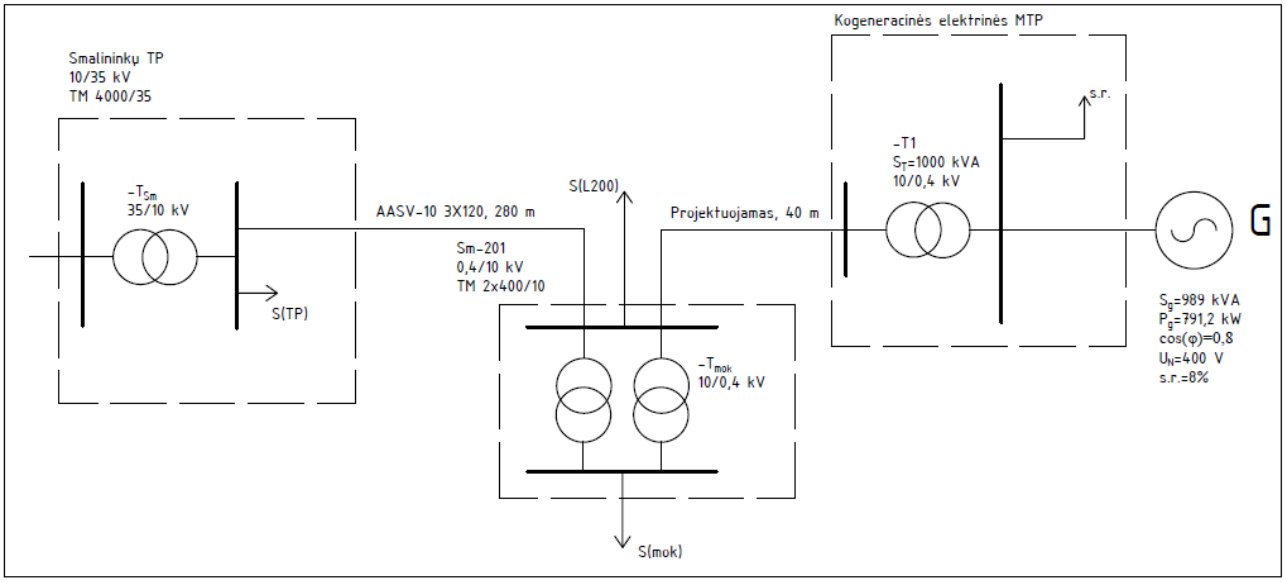
Objekto teritorijoje esantis 10 kV elektros tinklas yra kabelinis. Esamas tinklas nėra visiškai išnaudojamas ir turi, sąlyginai, didelį rezervą. Visų 10 kV linijos L200 esančių septynių 10/0,4 kV TP bendra galia sudaro 1960 kVA. Perskaičiuota 10 kV tinklo galia 885,92 kVA. Tokia apkrova 10 kV tinklo kabelyje sudaro tik 51,15 A srovę (apskaičiuota pagal (4.4) formulę). Nagrinėjamame tinkle esantys ploniausi laidai AS-35 atlaiko iki 175 A srovę [AB „LESTO“]. Iš KE tekanti srovė 10 kV tinkle bus ne didesnė nei 57,1 A. Vadinasi, prijungus projektuojamą KE, 10 kV kabeliu tekės iki 108,25 srovė. Gauta srovė yra mažesnė, nei atlaiko ploniausi tinkle esantys laidai, vadinasi esamo 10 kV tinklo tikrai galima prijungti vertinamą KE. Pagal interaktyvų AB „LESTO“ žemėlapį, prie 35/10 kV Smalininkų TP papildomai galima prijungti 3020 kW galios. Leistina prijungti papildoma galia yra didesnė, nei numatoma elektrinės galia, todėl prie 35/10 kV Smalininkų TP prisijungti galimybė yra.

### 4.2.2. KE prijungimo prie elektros tinklo modeliai

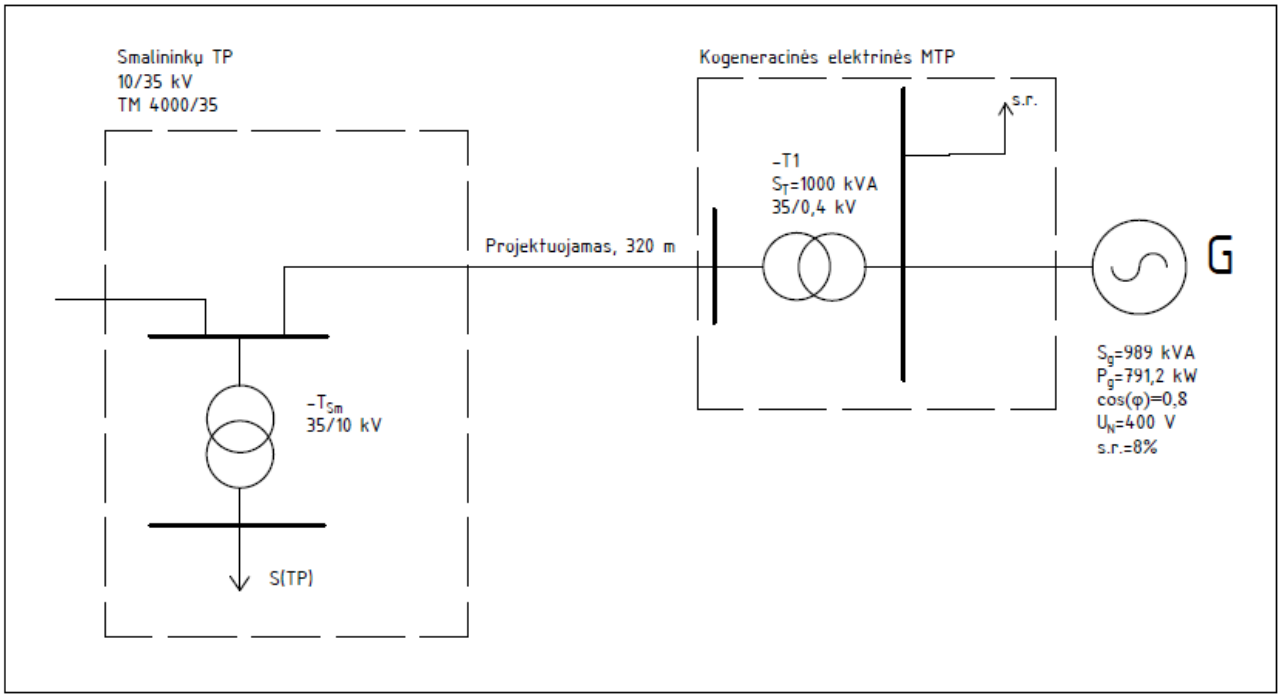
Nagrinėjamoje vietovėje svarstytini du KE prijungimo prie elektros tinklų variantai: prie artimiausios 0,4/10 kV TP ir prie 10/35 kV TP. Iki artimiausios TP atstumas yra 40 m, o iki aukštesnės įtampos TP 320 m, tačiau perduodant elektros energiją aukštesne įtampa – mažesni nuostoliai, todėl svarstytini abu variantai. Sudaryti du galimi KE prijungimo variantai aprašyti 4.5 lentelėje. Galimų KE prijungimo prie elektros tinklo schemos pateiktos 4.4 ir 4.5 paveiksluose.

**4.5 lentelė.** KE prijungimo variantų aprašymas ir struktūrinės schemos.

| Variantas A | Variantas B |
|---|---|
| Kabeline jungtimi jungiamasi prie artimiausios 0,4/10 kV TP (SM-201) 10 kV rezervinės jungties. Kabelio ilgis 40 m. Modulinėje (KE) TP sumontuotas 0,4/10 kV transformatorius. | Kabeline jungtimi jungiamasi prie Smalininkų 35/10 kV TP. Dėl rezervinių jungčių nebuvimo, vertinama naujo jungtuvo kaina. Kabelio ilgis 320 m. Modulinėje (KE) TP sumontuotas vienas 0,4/35 kV transformatorius. |




**4.4 pav.** Elektrinės prijungimo prie artimiausios 0,4/10 kV TP principinė schema (Variantas A).




**4.5 pav.** Elektrinės prijungimo prie artimiausios 35/10 kV TP principinė schema (Variantas B).

### 4.2.3. Kabelių prijungimo variantams parinkimas

Kabelis parenkamas iš katalogų, pagal skaičiuojamąją srovę ir vardinę įtampą. Taip pat, parenkant kabelį vertinama ar galios nuostoliai iki prijungimo taško neviršija 5% [11].

Skaičiuojamoji srovė 10 kV kabelyje ($U_N$ = 10 kV):

$$I_{sk} = \frac{S_G}{\sqrt{3}\times U_N} \ ; \tag{4.4}$$

$I_{sk} = \frac{989\times10^3}{\sqrt{3}\times10\times10^3} = 57{,}1\ A.$

Reikalingo laidininko skerspjūvio nustatymas pagal ekonominį srovės tankį:

$$S = \frac{I_{sk}}{j_{ek}}; \tag{4.5}$$

$S = 35{,}7mm^2;$

10 kV elektrinės jungčiai su 0,4/10 kV TP, parinktas Nexans NA2XSEY 3x50 RM/16, 3x50 mm$^2$ aliuminio laidininko skerspjūvio kabelis su XLPE izoliacija. Kabelio techninės charakteristikos pateiktos 6 lentelėje.

Kabeliu galinti tekėti TJ srovė apskaičiuojama naudojantis kabelio gamintojo kataloge pateiktais duomenimis [9]:

$$I_{t.j.} = Al_{max} \times S_{laid}; \tag{4.5}$$

čia: $Al_{max}$ – maksimalus galimas srovės tankis, esant aliuminio laidininkui, lygus 143 A/mm$^2$; $S_{laid}$ – laidininko skerspjūvio plotas, lygus 50 mm$^2$.

**4.6 lentelė.** Nexans NA2XSEY 3x50 RM/16 kabelio techninės charakteristikos ir apskaičiuotos varžos [9].

| Parametras | Žymėjimas | Vertė |
|---|---|---|
| Savitoji aktyvioji varža, kai temperatūra 20 °C, Ω/km | $r_{0,\ 20°}$ | 0,641 |
| Savitoji aktyvioji varža, kai temperatūra 90 °C, Ω/km | $r_{0,\ 90°}$ | 1,923 |
| Savitoji induktyvioji varža, mH/km | $h_0$ | 0,110 |
| Savitasis talpis, µF/km | $f_0$ | 0,24 |
| Ilgalaikė leistinoji srovė, A | $I_{leist}$ | 165 |
| Trumpojo jungimo srovė, kA | $I_{t.j.}$ | 7,15 |
| Kabelio ilgis, m | $L_{10kV}$ | 40 |
| Viso kabelio aktyvioji varža, kai temperatūra 90 °C, Ω | $R_{10kV}$ | 0,077 |
| Viso kabelio reaktyvioji varža, Ω | $X_{10kV}$ | 0,004 |

Viso kabelio aktyvioji varža $R_{10kV}$, kai temperatūra 90 °C:

$$R_{10kV} = r_{0,90°} \times L_{10kV}; \quad (4.5)$$

$R_{10kV} = 1{,}923 \times 40 \times 10^{-3} = 0{,}077\Omega.$

Viso kabelio reaktyvioji varža $X_{10kV}$, kai temperatūra 90 °C:

$$X_{10kV} = h_0 \times L_{10kV}; \quad (4.6)$$

$X_{10kV} = 0{,}110 \times 40 \times 10^{-3} = 0{,}004\Omega.$

Reaktyvioji galia, tekanti kabeliu (cosφ = 0,8; tgφ = 0,75):

$$Q_N = P_N \times \text{tg}\varphi; \quad (4.6)$$

$Q_N = 791{,}2 \times 0{,}75 = 593{,}4$ kVar.

Įtampos nuostoliai 10 kV kabelyje:

$$\Delta U'_{10kV} = \frac{P_N \times R_{10kV} + Q_{10kV} \times X_{10kV}}{U_{10kV}}; \quad (4.7)$$

$\Delta U'_{10kV} = 6{,}347\ V.$

$$\Delta U''_{10kV} = \frac{P_N \times R_{10kV} - Q_{10kV} \times X_{10kV}}{U_{10kV}}; \quad (4.8)$$

$\Delta U''_{10kV} = 5{,}825\ V;$

$$\Delta U_{10kV} = \Delta U'_{10kV} + \frac{\Delta U''_{10kV}{}^2}{U_{10kV}}; \quad (4.9)$$

$\Delta U_{10kV} = 6{,}350\ V.$

Įtampos nuostoliai procentais:

$$\Delta U_{10kV,\%} = \frac{\Delta U_{10kV}}{U_{10kV}} \times 100 = 0{,}064\ \%. \quad (4.10)$$

$\Delta U_{10kV,\%} = 0{,}064\ \%.$

Galios nuostoliai 10 kV kabelyje:

$$\Delta S_{10kV} = \frac{P_N{}^2 + Q_N{}^2}{U_{10kV}{}^2} \times \sqrt{\left(R_{10kV}{}^2 + X_{10kV}{}^2\right)}; \quad (4.11)$$

$\Delta S_{10kV} = 757{,}116\ Var.$

Elektrinės jungčiai su 10/35 kV TP parinktas Nexans NA2XS2Y 1x50 RM/16, 1x50 mm$^2$ aliuminio laidininko skerspjūvio, iki 36 kV eksploatuojamas kabelis. Kabelio techninės charakteristikos pateiktos 4.7 lentelėje.

**4.7 lentelė.** Nexans NA2XS2Y 1x50 RM/16 kabelio techninės charakteristikos ir apskaičiuotos varžos [9].

| Parametras | Žymėjimas | Vertė |
|---|---|---|
| Savitoji aktyvioji varža, kai temperatūra 20 °C, Ω/km | $r_{0,\ 20°}$ | 0,641 |
| Savitoji aktyvioji varža, kai temperatūra 90 °C, Ω/km | $r_{0,\ 90°}$ | 1,923 |
| Savitoji induktyvioji varža, mH/km | $h_0$ | 0,146 |
| Savitasis talpis, μF/km | $f_0$ | 0,13 |
| Ilgalaikė leistinoji srovė, A | $I_{leist}$ | 174 |
| Trumpojo jungimo srovė, kA | $I_{t.j.}$ | 7,15 |
| Kabelio ilgis, m | $L_{35kV}$ | 320 |
| Viso kabelio aktyvioji varža, kai temperatūra 90 °C, Ω | $R_{35kV}$ | 0,615 |
| Viso kabelio reaktyvioji varža, Ω | $X_{35kV}$ | 0,035 |

Pagal šiame skyrelyje jau aprašytą metodiką ir formules apskaičiuoti įtampos ir galios nuostoliai 35 kV kabelyje $\Delta U_{35kV,\%}$ = 0,041%. Gauti įtampos nuostoliai 35 kV kabelyje mažesni, nei 10 kV kabelyje, nors reikalingas 35 kV kabelio ilgis yra didesnis, bet kabelio įtampa mažina nuostolius kabelyje. Galios nuostoliai 35 kV kabelyje gauti taip pat mažesni, nei 10 kV kabelyje ($\Delta S_{35kV}$ = 61,881Var).

### 4.2.4. Transformatorių prijungimo variantams parinkimas

Parenkant transformatorių atsižvelgiama į elektros generatoriaus pilnutinę galią ir priimta, kad elektrinė visą laiką dirbs nominalia galia. Gauta transformatoriaus parinkimo sąlyga:

$S_G < S_T$.

KE prijungimui prie 0,4/10 kV TP parenkamas Siemens TUNORMA 0,4/10 kV, 1000 kVA vardinės galios transformatorius. Elektrinės prijungimui prie 10/35 kV TP parenkamas tos pačios markės, 0,4/35 kV, 1000 kVA vardinės galios transformatorius [10]. Transformatorių techninės charakteristikos pateiktos 4.8 lentelėje.

**4.8 lentelė.** KE prijungimo variantams parinktų Siemens TUNORMA transformatorių techninės charakteristikos [10].

| | | 0,4/10 kV | 0,4/35 kV |
|---|---|---|---|
| **Parametras** | **Žymėjimas** | **Vertė** | **Vertė** |
| Vardinė galia, kVA | $S_N$ | 1000 | 1000 |
| Trumpojo jungimo įtampa, % | $U_{t.j.,\%}$ | 4 | 6 |
| Trumpojo jungimo nuostoliai, W | $P_{t.j.}$ | 13000 | 13000 |
| Tusčiosios veikos nuostoliai, W | $P_0$ | 1700 | 1700 |
| Tusčiosios veikos srovė, % | $I_{0,\%}$ | 0,8 | 0,8 |

Galios nuostoliai 0,4/10 kV transformatoriuje:

$$\Delta P_T = \frac{{S_G}^2}{{S_N}^2} \times P_{t.j.} + P_0 \; ; \qquad (4.12)$$

$\Delta P_T = 14415{,}57\ W.$

Galios nuostoliai 0,4/35 kV transformatoriuje pagal (4.12) formulę gauti tokie patys.

### 4.2.5. Ekonominis KE prijungimo prie elektros tinklų variantų palyginimas

Elektrinės prijungimo prie elektros tinklų variantai lyginami pagal grynąją dabartinę vertę ir elektros energijos nuostolius kabeliuose. Įvertinamos transformatorių kainos, reikalingų statybos darbų kaina, energijos nuostoliai kabeliuose ir jų ekonominė įtaka ir montavimo darbų kaina. Elektros energijos nuostoliai transformatoriuose neįtraukti į prijungimo variantų ekonominį palyginimą, nes abiem variantais šie nuostoliai vienodi. Reikalingų įrenginių kainos vertinamos remiantis UAB „SISTELA“ pateikiamomis rekomendacinėmis įrenginių kainomis ir vertinimo rezultatai pateikti 4.9 lentelėje.

**4.9 lentelė.** Kapitalinių išlaidų elektrinės prijungimo prie elektros tinklų variantams palyginimas.

| **Įrengimas** | **Markė** | **Kaina, €** | **A variantas** | | **B variantas** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Kiekis, vnt | Suma, € | Kiekis, vnt | Suma, € |
| Transformatorius 0,4/10 kV | TUNORMA-1000/10 | 11000 | 1 | 11000 | | |
| Transformatorius 0,4/35 kV | TUNORMA-1000/35 | 57934 | | | 1 | 57934 |
| Kabelis | NA2XSEY 3x50 RM/16 | 35 | 40 | 1400 | | |
| Kabelis | NA2XS2Y 1x50 RM/16 | 28 | | | 960 | 26880 |
| Jungtuvas | Siemens 3AH5 36 kV | 52141 | | | 1 | 52141 |
| Modulinė transformatorinė 0,4/10 kV | | 17000 | 1 | 17000 | | |
| Modulinė transformatorinė 0,4/35 kV | | 19000 | | | 1 | 19000 |
| Statybos ir montavimo darbai, ~40% | | 40% | | 11760 | | 62382 |
| **Iš viso (be PVM):** | | | | **41160** | | **218337** |

Nuostolių skaičiuojamasis laikotarpis – 20 metų. Elektros energijos nuostoliai:

$$C_e = c \times \Delta W \times T; \qquad (4.15)$$

čia: W – metiniai elektros energijos nuostoliai, kWh; c – elektros energijos supirkimo tarifas, ct/kWh, c = 107 €/MWh, T – laikotarpis, m;

Vertinant elektros energijos nuostolius priimta, kad elektrinė visus metus dirbs vardine galia. Tuomet elektros energijos nuostoliai, skirtingiems variantams, apskaičiuojami pagal (4.16) formulę.

$$\Delta W = \Delta S \times 8322; \qquad (4.16)$$

Tuomet esamoji varianto vertė:

$$PV = -K - C_e; \quad (4.17)$$

čia: K – kapitalinės išlaidos (4.9).

Įvertintų kapitalinių išlaidų ir išlaidų, dėl elektros energijos nuostolių, skirtingiems elektrinės prijungimo variantams, rezultatai pateikti 4.10 lentelėje.

**4.10 lentelė.** Prijungimo variantų ekonominis palyginimas, naudojant 8% diskonto normą.

| Variantas | K, € | C , € | PV, € |
|---|---|---|---|
| **A** | -41 160 | -13 481,47 | -49 560,45 |
| **B** | -218 337 | -1 104,16 | -219 025,02 |

Išvada:

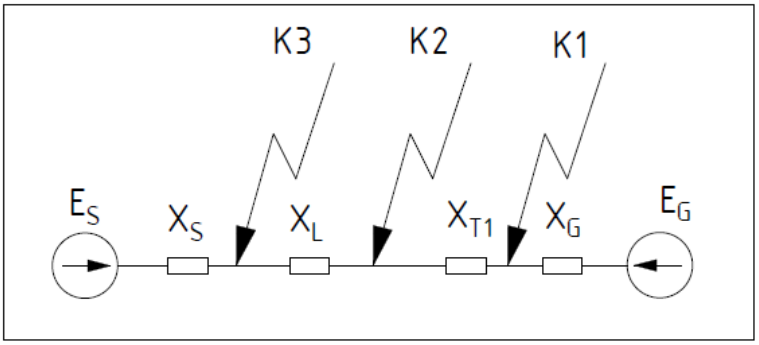
Tolesniems skaičiavimams pasirinktas A elektrinės prijungimo prie skirstomojo elektros tinklo variantas. Šis variantas pasirinktas todėl, kad jo atveju apskaičiuotos išlaidos per projektuojamos elektrinės eksploatacijos laikotarpį - mažiausios.

### 4.2.6. Pasirinkto varianto prijungimo prie tinklo schema

Vertinama elektrinė prie skirstomojo elektros tinklo bus prijungta per modulinę 0,4/10 kV transformatorinę pastotę. Elektrinės modulinėje transformatorinėje pastotėje sumontuotas vienas 1000 kVA galios Siemens transformatorius. Pastotėje naudojama vienašynė sistema su standartinės komplektacijos MT įranga. Kabelinės jungties su skirstomaisiais tinklais ilgis 320 m, prijungimui suprojektuotas vienas trigyslis Nexans NA2XS2Y 3x50 RM/16 kabeliai. Elektrinės jungimo prie elektros tinklo schema pateikta 1 priede.

### 4.2.7. Trumpojo jungimo srovių skaičiavimas

Trumpojo jungimo srovės skaičiuojamos pasirinktai elektrinės jungimo prie tinklo schemai. Elektros įrenginių ir laidininkų parinkimui reikia žinoti trumpojo jungimo (TJ) sroves. TJ srovių skaičiavimai atlikti supaprastintai, priimant tam tikras prielaidas [11]. Skaičiavimui sudaryta ekvivalentinė schema pateikta 4.6 paveiksle.




**4.6 pav.** Ekvivalentinė sistemos schema trumpųjų jungimų skaičiavimui.

Skaičiuojami trifaziai trumpieji jungimai, nes jų srovės yra didžiausios. Duomenys skaičiavimams gauti iš AB „LESTO“. Detalūs skaičiavimai pateikti 3 priede.

Skaičiavimai atliekami 3 zonose:

- K1 zona apima generatoriaus prijungimo gnybtus;
- K2 zona apima modulinės transformatorinės 10 kV įtampos šyną;
- K3 zona apima Smalininkų TP 10 kV įtampos šyną.

**Trumpojo jungimo skaičiavimai K1 pusėje**

TJ skaičiavimo sąlygos:

$T_{aG}$=0,064 s; $T_{aS}$=0,029 s; $t_{atj.}=t_{RA}+t_Q$=0,4 s;

Aperiodinė srovės dedamoji:

$$i_{apK1} = \sqrt{2}(I_{poG} \times e^{-\frac{t_{atj}}{T_{aG}}} + I_{poS} \times e^{-\frac{t_{atj}}{T_{aS}}}); \quad (4.18)$$

$i_{apK1} = 1{,}739 \times 10^{-5} A$;

Smūgio koeficientai:

$$k_{SGK1} = 1 + e^{-\frac{0{,}01}{T_{aG}}}; \quad (4.19)$$

$k_{SGK1} = 1$;

$$k_{SSK1} = 1 + e^{-\frac{0{,}01}{T_{aS}}}; \quad (4.20)$$

$k_{SSK1} = 1{,}708$;

Smūginė srovė:

$$i_{SK1} = \sqrt{2}(k_{SG} \times I_{poG1} + k_{SS} \times I_{poSK1}); \quad (4.21)$$

$i_{SK1} = 10{,}240\ kA$;

**Trumpojo jungimo K2 skaičiavimas**

TJ skaičiavimo sąlygos:

$T_{aG}$=0,064 s; $T_{aS}$=0,029 s; $t_{atj.}=t_{RA}+t_Q$=0,4 s;

Aperiodinė srovės dedamoji:

$i_{apK2} = 0{,}78\ A$;

Smūgio koeficientai:

$k_{SGK2} = 1{,}855$;

$k_{SSK2} = 1{,}708$;

Smūginė srovė:

$i_{SK2} = 1{,}708\ kA$;

**Trumpojo jungimo K3 skaičiavimas**

TJ skaičiavimo sąlygos:

$T_{aG}$=0,105 s; $T_{aS}$=0,017 s; $t_{atj.}=t_{RA}+t_Q$=0,4 s;

Aperiodinė srovės dedamoji:

$i_{apK3} = 8{,}943\ A$;

Smūgio koeficientai:

$k_{SGK3} = 1{,}909$;

$k_{SSK3} = 1{,}555$;

Smūginė srovė:

$i_{SK3} = 1{,}432\ kA$;

**Bet kurio momento periodinės dedamosios nustatymas**

TJ taškas K1 yra arti generatoriaus. Periodinė TJ srovės dedamoji skaičiuojama trumpiausiam atjungimo laikui, kuris priimtas:

$t_{atj.} = t_{RA} + t_Q$ = 0,4 s.

Periodinė srovės dedamoji nuo generatoriaus nustatyta iš tipinių kreivių [11]:

$I_{p0G}$ = 7,217 kA.

Nominali generatoriaus srovė:

$$I_{NG} = \frac{P_{NG}}{\sqrt{3}\times U_{NG}}; \quad (4.22)$$

$I_{NG} = 1{,}142\ kA$;

Pradiniu laiko momentu periodinės srovės dedamosios santykis su nominalia srove:

$\frac{I_{poG}}{I_{GN}} = 6{,}317 \approx 6;$

Iš tipinių kreivių randamas periodinės srovės dedamosios laiko momentu t=0,4 s santykis su pradinio laiko momento periodinės srovės dedamąja:

$\frac{I_{ptG}}{I_{poG}} = 0{,}82;$

Iš šios lygybės randama periodinė srovės dedamoji laiko momentu t=0,4 s nuo generatoriaus pusės:

$I_{ptG}$ = 5,92 kA;

Nuo sistemos ekvivalentinio šaltinio pusės laikoma, kad trumpojo jungimo periodinė srovės dedamoji laike nekinta ir $I_{poS} = I_{ptS}$ = 0,012 kA.

Taigi, suminė periodinė srovės dedamoji taške K3, laiko momentu t=0,4 s:

$I_{ptK\Sigma} = I_{ptS} + I_{ptG}$ = 0,012 kA + 5,92 kA = 5,932 kA.

Visos trumpojo jungimo srovės pateiktos 4.11 lentelėje.

**4.11 lentelė.** Trumpųjų jungimų srovių skaičiavimo rezultatai.

| **Trumpojo jungimo vieta** | **Srovė, kA** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **$I_{p0G}$** | **$I_{p0S}$** | **$i_{ap}$** | **$i_S$** | **$I_{pt}$** |
| K1 | 7,210 | 0,012 | 0,002 | 10,240 | 5,930 |
| K2 | 0,286 | 0,301 | 0,078 | 1,475 | - |
| K3 | 0,285 | 1,053 | 0,009 | 3,086 | - |

Gautos trumpųjų jungimų nusistovėjusios ir smūginės srovės patenka į tipinių TJ srovių esant priimtai įtampai, vadinasi, skaičiuojant reikalingas investicijas galima remtis vidutinėmis komutacinių ir apsaugos įrenginių kainomis.

### 4.2.8. Aparatų ir laidininkų parinkimo skaičiuojamosios sąlygos

Standžių šynų parinkimo skaičiuojamosios sąlygos

Uždarų skirstyklų šynos gaminamos iš aliuminio arba vario stačiakampio arba lovinio profilio juostų. Šynų skerspjūvis parenkamas pagal ilgalaikį leistiną įšilimą (leistiną srovę). Tam reikia įvertinti ne tik normalius, bet ir poavarinius bei remontinius režimus. Parinktos šynos turi būti patikrintos pagal 4.12 lentelėje pateiktas sąlygas.

**4.12 lentelė.** Šynų parinkimo sąlygos.

| Sąlyga | Parinkimo sąlyga | Paaiškinimai |
|---|---|---|
| Ilgalaikis leistinas įšilimas | $I_{d.f.} \leq I'_l$<br>$I_{d.f.} = \frac{P_{GN}}{\sqrt{3 \times U_N \times 0.95 \times cos\varphi}}$<br>$I'_l = I_l \sqrt{\frac{\vartheta_l - \vartheta_0}{\vartheta_l - \vartheta_{0N}}}$ | $I_{d.f.}$ – forsuoto darbo srovė, A;<br>$I_l$ – leistina srovė, A;<br>$I'_l$ – perskaičiuota leistina srovė aplinkos temperatūrai, A;<br>$\vartheta_l$ – leistina temperatūra, °C;<br>$\vartheta_l$ – 70 °C;<br>$\vartheta_{0N}$ – aplinkos vardinė temperatūra, °C;<br>$\vartheta_{0N} = 25$ °C;<br>$\vartheta$ - aplinkos temperatūra, °C; |
| Terminis atsparumas | $\vartheta_K \leq \vartheta_{t.l}$<br>$S \geq S_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}$ | S – šynos skerspjūvis, $cm^2$ |
| Pagal elektrodinaminį atsparumą | $f_0 \geq 200Hz$<br>$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{S}}$ | l – atstumas tarp izoliatorių, m;<br>J – invercijos momentas, $cm^4$. |

Pagal paskutinę 4.12 lentelės sąlygą nustatomas maksimalus atstumas tarp izoliatorių. Elektrodinaminio atsparumo skaičiavimas priklauso nuo šynų skerspjūvio formos.

Izoliatoriai parenkami pagal:

- Vardinę įtampą, $U_{įr} \leq U_N$;
- Leistinąją apkrovą $F_{sk} \leq F_l$.

Jungtuvų ir skyriklių parinkimo skaičiuojamosios sąlygos

Jungtuvų ir skyriklių parinkimo sąlygos pateiktos 4.13 lentelėje.

**4.13 lentelė.** Jungtuvų ir skyriklių parinkimo sąlygos.

| Parinkimo sąlyga | Jungtuvas | Skyriklis |
|---|---|---|
| $U \leq U_N$ | + | + |
| $I_{df} = I_{max} \leq I_N$ | + | + |
| $I_{p,t} \leq I_{atj}$ | + | - |
| $i_{a,t} \leq i_{a,N}$ | + | - |
| $\sqrt{2} \times I_{p,t} + i_{a,t} \leq \sqrt{2} \times I_{atj,N} \times (1 + \beta_N)$ | + | - |
| $I_{p,0} \leq I_d$ | + | - |
| $i_{sm} \leq i_d$ | + | + |
| $B_K \leq {I_T}^2 \times t_T$ | + | + |

Srovės matavimo transformatoriaus parinkimo skaičiuojamosios sąlygos

Srovės matavimo transformatorius parenkamas ir patikrinamas pagal:

- vardinę įtampą, $U_{įr} \leq U_N$;
- vardinę pirminę ir antrinę sroves, $I_{max} \leq I_N$;
- terminį atsparumą, $B_K \leq (k_T \times I_T)^2 \times t_T$ ;
- dinaminį atsparumą, $i_{sm} \leq i_d$;
- tikslumo klasę, $S_2 \leq S_{2N}$ ir $S_2 = {I_{2N}}^2 \times (\Sigma Z_{priet} + R_{laid})$.

Įtampos matavimo transformatoriaus parinkimo skaičiuojamosios sąlygos

Įtampos matavimo transformatoriai parenkami ir patikrinami pagal:

- įtampą, $U_{N,tinklo} \leq U_{N,T}$;
- tikslumo klasę: $S_2 \leq S_{2N}$ ir $S_2 = \sqrt{(\Sigma S_{priet} \times cos\varphi_{priet})^2 + (\Sigma S_{priet} \times sin\varphi_{priet})^2}$;
- apvijų jungimo schemą.

### 4.2.9. Elektrinės savosios reikmės ir valdymas

Parinktos kogeneracinės *BioSynergi* elektrinės elektros gamybos procesas yra mechanizuotas ir automatizuotas. Automatiniai įrenginiai užtikrina pagrindinių elektros įrenginių veikimą: elektros įrenginių apsaugos maitinimo, cirkuliacinių siurblių, pučiančiųjų – ištraukiančiųjų ventiliatorių, vidaus degimo variklio tepimo bei aušinimo siurblių, aušinimo įrenginių, kuro tiekimo konvejeriu į KE reaktorių procesą ir kt.

Daugumai mechanizmų naudojami trifaziai asinchroniniai varikliai su trumpai sujungtu rotoriumi. Sklandus elektrinės darbas įmanomas tik tada, kai patikimai veikia visi savųjų reikmių mechanizmai, o tam reikia patikimai jiems tiekti elektros energiją.

Įtampa savųjų reikmių sistemoje – 0,4 kV. Elektrinės generatoriaus įtampa tokia pati kaip ir savųjų reikmių įrenginių, todėl papildomi transformatoriai savosioms elektrinės reikmėms tenkinti nereikalingi. Elektrinės savųjų reikmių įrenginiai užmaitinami iš generatoriaus pusės, nuo KE modulinės pastotės šynos. Savosioms reikmėms sunaudojama iki 8% elektros energijos nuo maksimalios instaliuotos elektrinės galios.

Bendra elektrinės savųjų reikmių galia:

$P_{s.r.}$ = 63,3 kW;

$S_{s.r.}$ = 79,12 kVA.

Dauguma iš elektrinės savųjų reikmių apkrovą sudarančių įrenginių yra valdymo normaliais ir avariniais režimais sistemos. Šie įrenginiai dar vadinami antriniais įtaisais ir sudaro elektrinės valdymo sistemą.

Valdymo sistema susideda iš 5 pagrindinių grupių: matavimo, signalizacijos, reguliavimo, komutacinių aparatų valdymo ir apsaugos. Matavimo ir signalizacijos sistemos seka įrenginių darbą, renka duomenis, kuriuos siunčia valdymo sistemoms (pvz., relines apsaugos įrenginiams). Pagal šiuos duomenis automatika valdo elektrinės darbo režimą, saugo įrenginius ir informuoja dispečerį apie sistemos darbą.

### 4.2.10. Techniniai – ekonominiai projekto rodikliai

Svarbiausi techniniai parametrai, įtakojantys ekonominius projekto rodiklius pateikti 4.14 lentelėje.

**4.14 lentelė.** Techniniai projekto rodikliai, įtakojantys ekonominius projekto rodiklius.

| Rodiklis | Vertė |
|---|---|
| 1. KE galia: | |
| 1.1. elektrinė galia, $kW_e$ | 800 |
| 1.2. šiluminė galia, $kW_š$ | 2000 |
| 2. Vardinės elektrinės įtampos: | |
| 2.1. ryšys su elektros tinklais, kV | 10 |
| 2.2. generatoriaus įtampa, kV | 0,4 |
| 2.3.Elektrinės savų reikmių įtampa, kV | 0,4 |
| 3. Elektrinės savųjų reikmių galia, kW | 63,3 |
| 4. Elektrinės maksimalios galios trukmė per metus, h | 8322 |
| 5. Pagamintos elektros energijos kiekis per metus, MWh | 6 657,6 |
| 6. Metiniai elektros energijos nuostoliai transformatoriuje, MWh | 119,97 |
| 7. Metiniai elektros energijos nuostoliai perdavimo linijoje į tinklus, MWh | 6,3 |
| 8. Kogeneratorius: Cat CG-132-16, kW | 800 |
| 9. Transformatorius: Siemens TUNORMA-1000/10, kVA | 1000 |
| 10. Kabelis: Nexans NA2XS2Y 3x50 RM/16, m | 40 |
| 10.1. Ilgalaikė leistinoji srovė, A | 175 |
| 10.2. Trumpojo jungimo srovė, kA | 7,15 |

# 5. EKONOMINIS SUPROJEKTUOTOS KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS VERTINIMAS

Stambius investicinius projektus siūloma vertinti taikant kompleksinę analizę. Ši analizė, rengiant investicinius projektus ar juos svarstant dėl kreditų ar kitos pagalbos suteikimo šiems projektams įgyvendinti, ši analizė suteikia galimybę išrinkti patraukliausią variantą. Šiuo metu dažniausiai naudojama finansinė investicinių projektų analizė. Jos pagrindinis tikslas yra nustatyti projekto efektyvumą jį tiesiogiai įgyvendinančiam subjektui.

Finansinė investicinio projekto analizė grindžiama projekto efektyvumo nustatymu remiantis projektuojamais pinigų srautais. Šie srautai rodo būsimas investicijas, bei veiklos pajamas ir išlaidas. Dažniausiai pinigų srautai skaičiuojami atsižvelgiant į labiausiai tikėtinas aplinkos sąlygas. Nuo projektui svarbių sąlygų identifikavimo kokybės ir jų prognozių patikimumo priklauso ir finansinės analizės rezultatų patikimumas, todėl prieš atliekant šią analizę reikia įsitikinti projektinių duomenų pagrįstumu [13 ir 14].

Baigiamajame bakalauro darbe atlikta finansinę analizė suprojektuotos KE ekonominiam vertinimui.

## 5.2. Projektui reikalingų kapitalinių investicijų įvertinimas

Vertinant reikalingas investicijas į KE statybą ir priežiūrą atsižvelgiama į įrengiamą KE galią. Numatyta KE galia iš viso sudaro 2,8 MW (2 $MW_š$ ir 0,8 $MW_e$) Pagal vertinamos KE galią, remiantis Danijos Energetikos Agentūros pateikiamais duomenimis [12] įvertintos reikalingos investicijos į KE ir eksploatavimo kaštai. Vertinimo rezultatai pateikti 5.1 lentelėje.

**5.1 lentelė.** Investicijos į vertinamą KE projektą.

| Investicija | Kaina, € |
|---|---|
| KE statyba | 4 418 000 |
| KE prijungimas prie tinklų | 41 160 |
| **Iš viso:** | **4 459 160** |

Vertinant KE statybos kaštus, priimta Išlaidos prijungimui prie elektros tinklų paimtos iš 4.2.5 skyrelio. Vertinant išlaidas kurui, priimta kuro kaina 10.7 €/MWh [remiantis Valstybinės kainų ir energetikos komisijos duomenimis], tuomet per metus kurui bus išleista 292 tūkst. eurų, o kitos eksploatacinės išlaidos sudarys 138 tūkst. eurų per metus. Pasirinktas nagrinėjamas laikotarpis – 20 metų, nes tokį kogeneracinių sistemų su gazifikatoriumi tarnavimo laiką pateikia Danijos Energetikos Agentūra [12].

### 5.3. Projektuojamos KE pajamų vertinimas

Tolesnių skaičiavimų ir finansinės analizės atlikimui būtina įvertinti planuojamas projekto pajamas. Planuojamos (projektuojamos) pajamos pagal objekto šilumos suvartojimą ir elektrinės darbo pilna galia visus metus scenarijų.

Projektuojamos pajamos gautos už šilumos energiją pateiktos 5.2 lentelėje.

**5.2 lentelė.** Projektuojamos pajamos už KE energijos gamybą.

| Mėnuo | Šilumos energijos kaina, €/MWh | Gyvenamųjų namų šilumos poreikis, MWh | Mokyklos šilumos poreikis, MWh | Pajamos už parduotą šilumos energiją, € | Pajamos per metus už šilumos energiją, € | Elektros energijos kaina, €/MWh | Pajamos už pagamintą elektros energiją, € | Pajamos per metus už elektros energiją, € | Iš viso pajamos per metus, € |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 46.06 | 208.29 | 583.45 | 36,465.83 | **147,106.31** | 107.00 | 63,686.40 | **710,411.52** | **857,517.83** |
| **2** | 46.06 | 174.06 | 479.19 | 30,086.90 | | 107.00 | 57,523.20 | | |
| **3** | 44.90 | 122.71 | 322.79 | 20,002.32 | | 107.00 | 63,686.40 | | |
| **4** | 41.94 | 59.94 | 131.64 | 8,035.77 | | 107.00 | 61,632.00 | | |
| **5** | 36.03 | 10.00 | 4.00 | 504.49 | | 107.00 | 63,686.40 | | |
| **6** | 23.09 | 10.00 | 4.00 | 323.21 | | 107.00 | 61,632.00 | | |
| **7** | 22.91 | 10.00 | 4.00 | 320.78 | | 107.00 | 63,686.40 | | |
| **8** | 20.77 | 10.00 | 4.00 | 290.77 | | 107.00 | 61,632.00 | | |
| **9** | 19.32 | 10.00 | 3.00 | 251.17 | | 107.00 | 63,686.40 | | |
| **10** | 37.05 | 77.06 | 183.77 | 9,663.51 | | 107.00 | 61,632.00 | | |
| **11** | 37.57 | 134.12 | 357.55 | 18,471.91 | | 107.00 | 63,686.40 | | |
| **12** | 36.01 | 168.35 | 461.81 | 22,689.64 | | 107.00 | 61,632.00 | | |

### 5.4. Projekto atsipirkimo laikas

Atsipirkimo laikas – vienas iš paprasčiausių ir plačiausiai naudojamų būdų projektui įvertinti. Atsipirkimo laikas yra apibūdinamas kaip laiko periodas, reikalingas pirminei investicijų vertei atstatyti. Diskontuotas atsipirkimo laikas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T_D = \frac{-\ln(1-\frac{i \times K}{P})}{\ln(1+i)}; \quad (5.1)$$

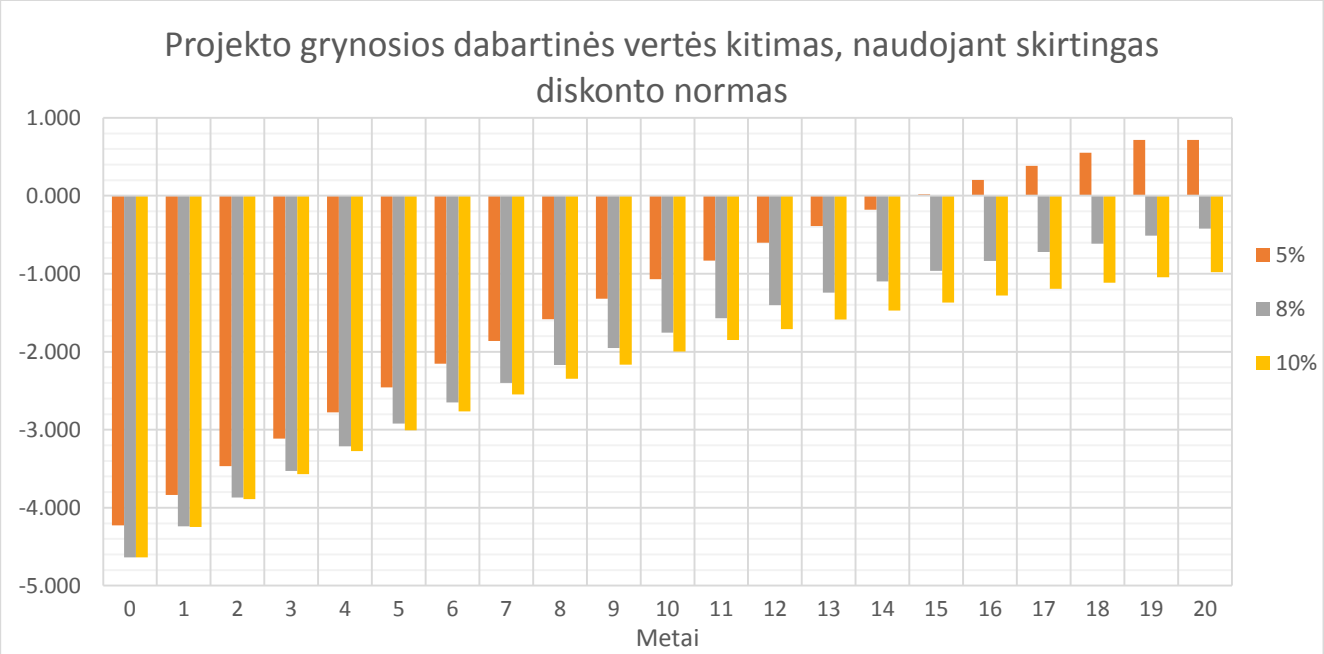
čia: i – diskonto norma; K – kapitalinės investicijos į projektą; P – pajamos, €/m.

KE projekto vertinimui suskaičiuotas diskontuotas atsipirkimo laikas, esant 5, 8 ir 10% diskonto normoms. Pagal (5.1) formulę apskaičiuoti atsipirkimo laikai, esant skirtingoms diskonto normoms, pateikti 5.3 lentelėje.

**5.3 lentelė.** Projekto atsipirkimo laikas prie skirtingų diskonto normų, apskaičiuotas pagal (5.1) formulę.

| Diskonto norma, % | Projekto atsipirkimo laikas, m |
|---|---|
| 5.00 | 6.11 |
| 8.00 | 6.90 |
| 10.00 | 7.60 |

Atsipirkimo laikotarpio skaičiavimas pagal (5.1) formulę nėra labai tikslus, nes šioje metodikoje nėra galimybės apskaičiuoti pajamas po investicijų atsipirkimo periodo ir nėra vertinamos eksploatacinės išlaidos ir išlaidos kurui. Ši metodika labiau tiktų vertinti projektus kurių eksploatacinės sąnaudos yra labai mažos arba jų išvis nėra. Tiksliam projekto atsipirkimo laikotarpio įvertinimui apskaičiuoti pinigų srautai prie 5, 8 ir 10% diskonto normų, pinigų srautų duomenys pateikti 3 priede. Prognozuojamus pinigų srautus, esant 5% diskonto normai, atspindintis grafikas pateiktas 5.1 paveiksle.




**5.1 pav.** Projekto dabartinės vertės kitimo grafikas projekto eksploatacijos laikotarpiu.

Iš 5.1 paveikslo grafiko matyti, kad, esant 5% diskonto normai, projektas turėtų atsipirkti po 16 metų.

### 5.5. Projekto finansinių rodiklių ir rentabilumo vertinimas

Projekto dabartinė grynoji vertė (NPV) esant tam tikrai diskonto normai, per tam tikrą laikotarpį gali būti nustatyta pagal (5.2) formulę:

$$NPV = \sum_{t=0}^{k} \frac{P_t - C_t}{(1+i)^t}; \quad (5.2)$$

čia: $P_t$ – t-ųjų metų pajamos, $C_t$ – tųjų metų išlaidos.

Projekto grynoji dabartinė vertė labai priklauso nuo pasirinktos diskonto normos. Kuo aukštesnė naudojama diskonto norma, tuo mažesnė gaunama NPV. Projektas laikomas priimtinu vykdyti, esant pasirinktai diskonto normai, jeigu NPV yra teigiamas. Jei NPV gaunamas neigiamas – projektas yra atmestinas, neatsiperkantis variantas; jei NPV = 0, projektas laikomas itin rizikingu vykdyti.

Investicinių projektų vertinimui taip pat naudojamas pajamų ir išlaidų santykis (B/C), kitaip vadinamas investicijų rentabilumo indeksu. Rentabilumo indeksas naudojamas pajamų ir išlaidų dabartinės vertės santykio nustatymui:

$$\frac{B}{C} = \frac{PVB}{PVC}; \quad (5.3)$$

čia: B – projekto pajamų grynoji dabartinė vertė, C – projekto išlaidų grynoji dabartinė vertė.

Jeigu investicijų rentabilumo indeksas gaunamas teigiamas ≥1, tai projektas yra pelningas, o jeigu B/C=1, tai projekto grynojo pelno dabartinė vertė yra nulinė (prie tam tikros diskonto normos).

Vertinant investicinius projektus ekonomiškai, rekomenduojama laikytis tokių taisyklių:

- Jei B/C > 1, tai NPV yra teigiamas ir projektas priimtinas;
- Jei B/C < 1, tai NPV neigiamas ir projektas atmestinas;
- Jei B/C = 1, tai NPV = 0, vadinasi tai ribinis variantas – projektas nepelningas ir nenuostolingas.

Vertinant investicinius projektus dar naudojama vidinė pelno norma (IRR). Šis rodiklis apibrėžiamas kaip diskonto norma, kuri sulygina išlaidų ir pajamų srautų dabartines vertes. Vadinasi, vidine pelno norma laikoma diskonto koeficiento reikšmė (r), prie kurios projektų pinigų srautų dabartinė grynoji vertė yra lygi 0:

$$IRR = r, kai\ NPV = f(r) = 0$$

Kai prie pasirinktos diskonto normos apskaičiuotas NPV gaunamas lygus 0, vidinės pelno normos radimas leidžia papildomai nustatyti kokiai diskonto normai esant būtų sugrąžintas panaudotas pradinis kapitalas. Vidinė pelno norma nustatoma interpoliacijos būdu, panaudojant dvi diskonto normas: vieną – teigiamai NPV reikšmei gauti, o kitą – neigiamai NPV reikšmei:

$$IRR = r_1 + [(r_2 - r_1) \times \left(\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2}\right)]; \quad (5.4)$$

čia: $r_1$ – žemesnė diskonto norma; $r_2$ – aukštesnė diskonto norma; $NPV_1$ – grynoji dabartinė vertė prie žemesnės diskonto normos; $NPV_2$ – grynoji dabartinė vertė prie aukštesnės diskonto normos.

Šis rodiklis parodo maksimalų leistiną investicijų kainos lygį, kurį viršijus projektas pasidaro nerentabilus.

Vertinant investicinį projektą per visą eksploatacijos laikotarpio (20 metų), esant skirtingoms diskonto normoms, gautos vertinimo rodiklių reikšmes pateiktos 5.4 lentelėje.

**5.4 lentelė.** Projekto grynosios dabartinės vertės.

| **Diskonto norma, %** | **5** | **8** | **10** |
|---|---|---|---|
| **Dabartinė projekto grynoji vertė (NPV)** | 714 288,08 | -420 935,06 | -981 055,45 |
| **Rentabilumo indeksas (B/C)** | 1,072 | 0,952 | 0,882 |
| **Vidinė pelno norma (IRR), %** | 7,107 | | |

Iš gautų (18 lentelėje pateiktų) reikšmių matyti, kad projektas atsipirks tik prie vertintos 5% diskonto normos. Nustatyta projekto vidinė pelno norma yra 7,1% rodo, kad projektas atsipirktų esant 7% diskonto normai, bet nebūtų gauta jokio viršpelnio.

### 5.6. Projekto jautrumo analizė

Jautrumo analizė – projekto vertinimo metodas, besiremiantis atskirų projekto rodiklių analize, šių rodiklių kitimo vertinimu. Keičiant pasirinktų rodiklių reikšmes (kitų rodiklių reikšmės nekeičiamos) ir matuojant kokį poveikį tai turi dabartinei grynajai projekto vertei ir vidinei pelno normai nustatoma kuriems rodikliams projektas jautriausias. Projekto jautrumo analizė atliekama vertinant pakitusio NPV santykį su pradiniu NPV, pakeitus vieną iš projekto rodiklių.

Vertinamo projekto finansinius rodiklius gali paveikti daugybė veiksnių: elektros supirkimo tarifo kitimas, kuro kainos kitimas, šilumos kainos kitimas ir t.t. Atlikta projekto jautrumo analizė:

- didžiausio sąnaudų rodiklio - kuro kainos atžvilgiu;
- pajamų rodiklio - elektros supirkimo tarifo atžvilgiu.

Projekto jautrumo vertinimo kuro kainai padidėjus 15% rezultatai pateikti 5.5 lentelėje.

**5.5 lentelė.** Projekto jautrumo analizės rezultatai, vertinant 15% kuro kainos padidėjimą.

| **Diskonto norma, %** | 5 | 10 |
|---|---|---|
| **NPV sumažėjimas, €** | 542 423,62 | 2 448 652,32 |
| **NPV sumažėjimas, %** | 24,061 | -249,594 |
| **Vidinė pelno norma (IRR), %** | 3,577 | |
| **NPV būtų lygi 0, jeigu kuro kaina padidėtų, %** | 31,17 | |

Lyginant 5.4 ir 5.5 lentelių duomenis darytina išvada, kad vidinė pelno norma, kuro kainai padidėjus 15%, sumažėja maždaug 2 kartus. Vadinasi, projekto rentabilumas sumažėja dvigubai, t.y. ir projekto investicinis patrauklumas. Projektas taptų ekonomiškai nerentabilus (t.y. NPV=0), jeigu kuro kaina padidėtų apie 31,2%.

Projekto jautrumo elektros energijos kainos pokyčiams vertinimui pasirinktas tik 5% elektros energijos tarifo sumažėjimas, nes pasirinkus didesnį gautos neigiamos IRR ir NPV reikšmės. Jautrumo vertinimo elektros energijos supirkimo tarifui sumažėjus 5% rezultatai pateikti 5.6 lentelėje.

**5.6 lentelė.** Projekto jautrumo analizės rezultatai, vertinant 5% elektros energijos supirkimo tarifo sumažėjimą.

| **Diskonto norma, %** | 5 | 10 |
|---|---|---|
| **NPV sumažėjimas, €** | 442 664,89 | 1 053 974,70 |
| **NPV sumažėjimas, %** | 38,027 | -107,433 |
| **Vidinė pelno norma (IRR), %** | 1,379 | |
| **NPV būtų lygi 0, jeigu elektros kaina sumažėtų, %** | 6,57 | |

Remiantis 20 lentelės duomenimis, elektros energijos supirkimo tarifui sumažėjus vos 5%, vidinė pelno norma sumažėja daugiau nei 5 kartus.

Palyginus jautrumo analizių, skirtingų rodiklių atžvilgiu, rezultatus, darytina išvada, kad projektas finansiškai jautriausias elektros supirkimo tarifo svyravimams. Labiausiai tikėtina, kad taip yra dėl vertinto elektrinės režimo – veikimo pilna galia visus metus, kuomet didelis galios kiekis (šilumos energija) vasarą yra nepanaudojamas.

# IŠVADOS

Atlikus esamos šiluminės katilinės galimo pakeitimo į kogeneracinę elektrinę su biomasės dujinimo grandimi analizę gautos tokios išvados:

- Šildomas gyvenamųjų namų plotas 5706 $m^2$, mokyklos patalpų plotas 24 533 $m^2$. Pagal objekto šildomą plotą apskaičiuota reikalinga kogeneracinės elektrinės šiluminė galia - 1,93 $MW_š$. Galimybės prijungti KE prie elektros tinklų: prie 10/0,4 kV mokyklos pastotės ir prie 35/10 kV Smalininkų miestelio pastotės;

- apskaičiuoti elektros energijos perdavimo nuostoliai dviem svarstomiems KE prijungimo prie elektros tinklų variantams (757,1 Var ir 61,9 Var). Vertinant elektros energijos perdavimo nuostolius (6,27 MWh/m ir 0,52 MWh/m) ir reikalingų kapitalinių investicijų kaštus skirtingiems elektrinės prijungimo variantams (41 tūkst. € ir 220 tūkst. €) ir naudojant 8% diskonto normą, nustatytas optimaliausias KE prijungimo prie elektros tinklų modelis ekonomine prasme – jungti KE prie Smalininkų Technologijų ir verslo mokyklos 10/0,4 kV pastotės. Apskaičiuotos trumpųjų jungimų srovės pasirinktam KE prijungimo prie elektros tinklų modeliui, nustatytos reikalingų elektrinės prijungimui įrenginių parinkimo sąlygos;

- įvertinus preliminarias reikalingų įrenginių KE prijungimui prie elektros tinklų kainas (apie 220 tūkst. €), kitas kapitalines išlaidas KE statybai (apie 4,6 mln. €), išlaidas eksploatacijai ir kurui (apie 140 tūkst. € ir 290 tūkst. € atitinkamai), energijos perdavimo nuostolius (apie 125 MWh/m) ir supirkimo tarifus (10,7 €/$MWh_e$ ir vidutiniškai 34,3 €/$MWh_š$), apskaičiuotos galimos KE generuojamos pajamos (apie 820 tūkst. €/m) ir išlaidos (apie 410 tūkst. €/m). Įvertinus KE generuojamas pajamas ir reikalingas išlaidas KE eksploatacijai, gautas galimas projekto atsipirkimo laikas (esant 5% diskonto normai) – 16 metų, gauta grynoji projekto dabartinė vertė 714,3 tūkst. €, rentabilumo indeksas 1,072 ir vidinė pelno norma 7,1% - šis rodiklis parodo maksimalų leistiną investicijų kainos lygį, kurį viršijus projektas pasidaro nerentabilus. Vertinant projektą naudojant didesnes nei 5% diskonto normas projekto atsipirkimas neįmanomas;

- atlikus projekto jautrumo analizę elektros energijos supirkimo tarifo (didžiausio pajamų šaltinio) ir kuro kainos (didžiausio išlaidų šaltinio) atžvilgiu, gauta išvada, kad projektas jautriausias elektros energijos supirkimo tarifo svyravimo atžvilgiu. Projekto jautrumo analizė parodė, kad projekto dabartinė grynoji vertė bus lygi 0, jei elektros energijos supirkimo tarifas sumažės 6,6% arba kuro kaina padidės 31,2%.

# LITERATŪRA


1. *Šilumos vartotojo vadovas.* J. Gudzinskas, V. Lukoševičius, V. Martinaitis, E. Tuomas. Vilnius, Lietuvos Šilumos Tiekėjų Asociacija, 2011. 155 p. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-03-09]. Prieiga per internetą: http://www.lsta.lt/files/Leidiniai/SILUMOS_vartotojo_vadovas/Silumos_vartotojo_VADOVAS.pdf

2. Elektros energijos vartojimo apžvalga. Lietuvos elektros energijos perdavimo tinklų operatorius Litgrid [interaktyvus] [žiūrėta 2015-03-09]. Prieiga per internetą: http://www.litgrid.eu/index.php/naujienos-ir-ivykiai/naujienos/elektros-vartojimas-per-metus-isaugo-2-procentais/2721

3. *Biokuro potencialio Lietuvoje įvertinimas, biokuro kainų prognozė, biokuro panaudojimo socialinės naudos įvertinimas ir biokuro panaudojimo plėtrai reikalingų valstybės investicijų pasiūlymai:* kolektyvinė monografija. Sudarytojai: M. Nagevičius, M. Aleinikovas, L. Sadauskienė, V. Mikšys, A Gustaitienė, D. Jodaugienė, V. Bogužas, A. Kairytė, R. Uselytė, I. Silverstravičiūtė. Lietuvos energetikos konsultantų asociacija, Vilnius, 2013 m., 45 p. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-03-25]. Prieiga per internetą: http://www.enmin.lt/lt/activity/veiklos_kryptys/atsinaujantys_energijos_saltiniai/Biokuro_potencialo_LT_vert.php?clear_cache=Y

4. *Energijos vartojimo audito ataskaita*. Sudarytojas: K. Banionis. UAB „Simper“, Jurbarkas, 2013 m., 60 p.

5. *Šiluminė technika:* kolektyvinė monografija. Sudarytojai: G. Gimbutis, K. Kajutis, V. Krukonis, A. Pranckūnas, P. Švenčianas. „Mokslas“, 1993 m. 326 p.

6. *Smalininkų technologijų ir verslo mokyklos katilinės ekspertinis įvertinimas ir iš jos centralizuotai tiekiamos šilumos ir karšto vandens planuojamų bazinių kainų nustatymas:* monografija. Sudarytojas: K. Marcinauskas. LEI, 2008 m., 94 p.

7. Kogeneracinių modulinių elektrinių sistemų su medienos dujinimo grandimi *BioSynergi* gamintojo internetinis puslapis. [žiūrėta 2015.05.02]. Prieiga per internetą: http://www.biosynergi.dk/

8. *„Cat“ kogeneratoriaus techninių parametrų lentelė.* [žiūrėta 2015.05.02]. Prieiga per internetą *http://www.eneria.ro/wp-content/uploads/2012/09/INDGAZE645_BIOGAZ_CG132-16_800kwe_10-12.pdf*

9. *Nexans kabelių katalogas.* [žiūrėta 2015.05.11]. Prieiga per internėtą: http://www.nexans.com/Germany/files/Starkstrom_D_GB_mrz04.pdf

10. *Siemens transformatorių katalogas.* [žiūrėta 2015.05.11]. Prieiga per internetą: http://www.swe.siemens.com/belux/portal/nl/aanbod/tip/producten/Documents/chap_5_1438063.pdf

11. *Elektrinių ir pastočių elektrinė dalis. Kursinis projektavimas:* kolektyvinė monografija. Sudarytojai: R. P. Deksnys, R. Staniulis, V. Miškinis. Kaunas, „Technologija“, 2007 m., 104 p.

12. *Technology data for energy plants.* Danijos Energetikos agentūra, 2012 m., 211 p.

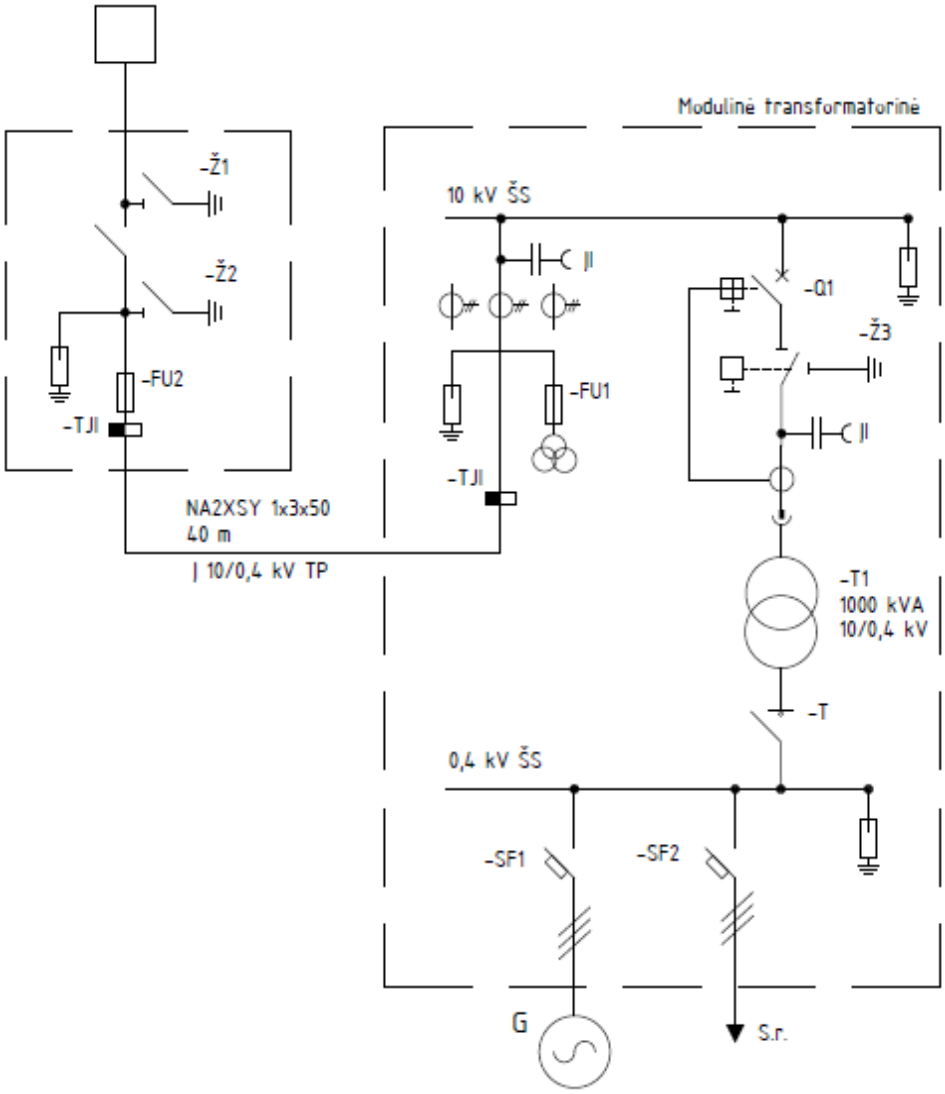
13. *Investavimo projektų planavimas ir įvertinimas.* Development project planning centre, PHARE Programme of European Communities, 2004 m.

14. *Įmonės investicijų valdymas:* monografija. Sudarytoja: R. Norvaišienė. Kaunas, „Technologija“, 2004 m.

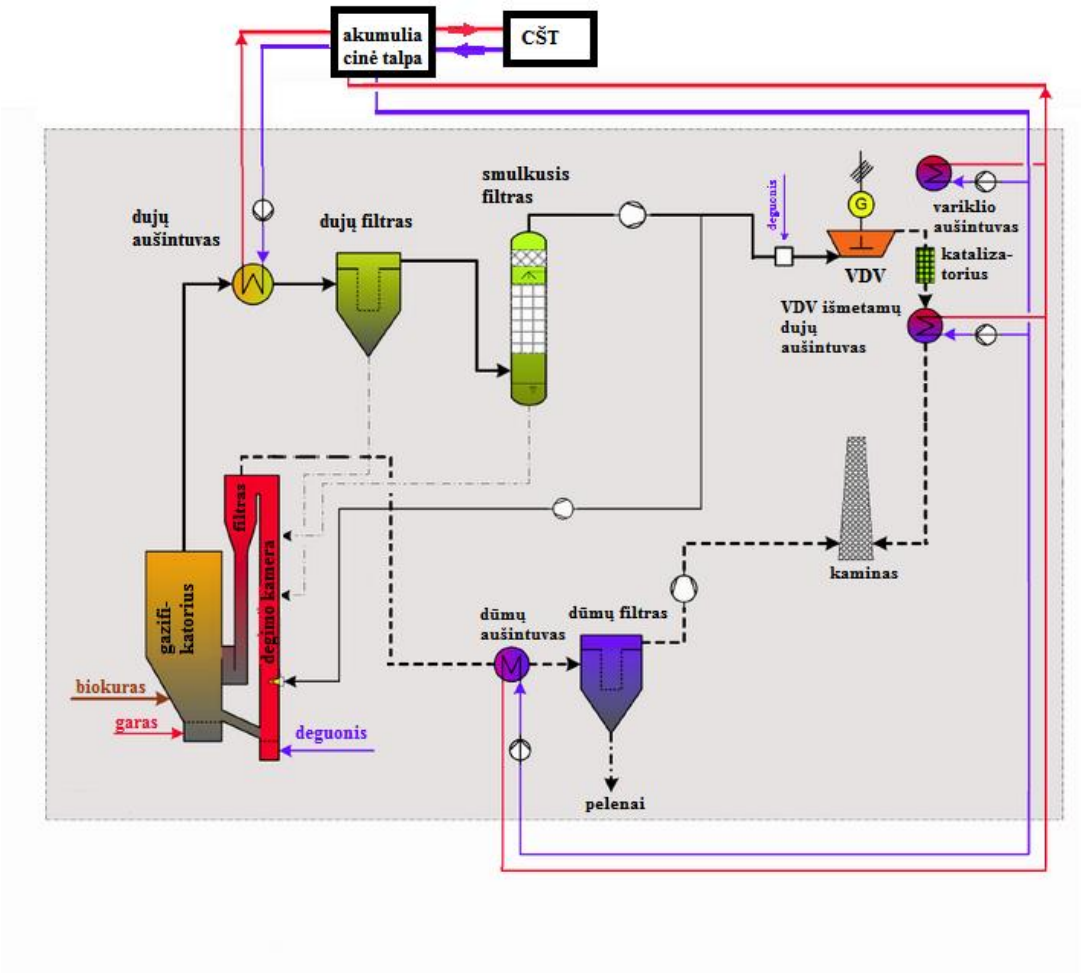
15. *Įvairių kogeneracijos technologijų rengimo galimybių ir sąnaudų studijos bei rekomendacijų dėl šių technologijų diegimo parengimas:* kolektyvinė monografija. Sudarytojai: L. Kilaitė ir R. Puodžius. UAB „AF-Enprima“ ir UAB „Termosistemų projektai“, Vilnius, 2007 m. 59 p. [žiūrėta 2015-04-26]. Prieiga per internetą: http://www.ena.lt/Ataskaitos/Kogener.pdf

# PRIEDAI

## KE modulnės TP vienlinijinė schema



**Kogeneracinės elektrinės technologinio proceso schema**



**Trumpojo jungimo srovių skaičiavimai**

$I_{Kmax} := 1158\ A$ $I_{Kmin} := 888\ A$ $U_{NS} := 35\ kV$ $U_{NG} := 0.4\ kV$ $U_T := 35\ kV$

$$X_S := \frac{U_{NS} \cdot 1.1}{\sqrt[2]{3} \cdot I_{Kmax}} = 19.195\ \Omega \qquad R_L := 0.615\ \Omega \qquad X_L := 0.035\ \Omega$$

$X'' := 0.2$ $S_{NG} := 989\ kV \cdot A$ $S_T := 1000\ kV \cdot A$

$$X_G := X'' \cdot \frac{U_{NS}^{\ 2}}{S_{NG}} = 247.725\ \Omega \qquad X_T := \frac{6}{100} \cdot \frac{U_T}{S_{NG}} = 0.002\ \frac{1}{A} \qquad X_T := 0.002\ \Omega$$

$$E_{ekv} := U_{NG} \cdot \frac{U_{NS}}{U_{NG}} = \left(3.5 \cdot 10^4\right)\ V$$

K3 TJ skaičiavimas:

$$I_{p0S} := \frac{E_{ekv}}{\sqrt[2]{\left(19.195\ \Omega\right)^2} \cdot \sqrt[2]{3}} = \left(1.053 \cdot 10^3\right)\ A$$

$$I_{p0G} := \frac{E_{ekv}}{\sqrt[2]{R_L^{\ 2} + X_L^{\ 2} + X_T^{\ 2} + X_G^{\ 2}} \cdot \sqrt[2]{3}} = 81.571\ A$$

$\omega := 314.16\ s^{-1}$

$$T_{aG} := \frac{X_G + X_T + X_L}{\omega \cdot R_L} = 1.282\ s \qquad T_{aS} := \frac{19.195}{\omega} = 0.061\ s$$

$T_{aG} := 1.282\ s \qquad T_{aS} := 0.061\ s \qquad t_{atj} := 0.2\ s$

$$i_{apK3} := \sqrt[2]{2} \cdot \left( I_{p0G} \cdot e^{\frac{-t_{atj}}{T_{aG}}} + I_{p0S} \cdot e^{\frac{-t_{atj}}{T_{aS}}} \right) = 154.79\ A$$

$$k_{SGK3} := 1 + e^{\frac{-0.01\ s}{T_{aG}}} = 1.992$$

$$k_{SSK3} := 1 + e^{\frac{-0.01\ s}{T_{aS}}} = 1.849$$

$$i_{SK3} := \sqrt[2]{2} \cdot \left( k_{SGK3} \cdot I_{p0G} + k_{SSK3} \cdot I_{p0S} \right) = \left( 2.982 \cdot 10^{3} \right) A$$

K2 TJ skaičiavimas: $X_T = 0.002\ \Omega$

$$I_{p0S} := \frac{E_{ekv}}{\sqrt[2]{(19.195\ \Omega)^{2} + R_L^{\,2} + X_L^{\,2}} \cdot \sqrt[2]{3}} = \left( 1.052 \cdot 10^{3} \right) A$$

$$I_{p0G} := \frac{E_{ekv}}{\sqrt[2]{X_T^{\,2} + X_G^{\,2}} \cdot \sqrt[2]{3}} = 81.571\ A$$

$$T_{aG} := \frac{X_G + X_T}{\omega} = 0.789\ H \qquad T_{aS} := \frac{19.195 \cdot \Omega + X_L}{\omega \cdot R_L} = 0.1\ s$$

$T_{aG} := 0.789\ s \qquad T_{aS} := 0.1\ s \qquad t_{atj} := 0.2\ s$

$$i_{apK2} := \sqrt[2]{2} \cdot \left( I_{p0G} \cdot e^{\frac{-t_{atj}}{T_{aG}}} + I_{p0S} \cdot e^{\frac{-t_{atj}}{T_{aS}}} \right) = 290.912\ A$$

$$k_{SGK2} := 1 + e^{\frac{-0.01\ s}{T_{aG}}} = 1.987$$

$$k_{SSK2} := 1 + e^{\frac{-0.01\ s}{T_{aS}}} = 1.905$$

$$i_{SK2} := \sqrt[2]{2} \cdot \left( k_{SGK2} \cdot I_{p0G} + k_{SSK2} \cdot I_{p0S} \right) = \left( 3.064 \cdot 10^{3} \right) \ A$$

K1 TJ skaičiavimas:

$$X_G := X'' \cdot \frac{U_{NG}^{\ 2}}{S_{NG}} = 0.032 \ \Omega \qquad X_T := \frac{6}{100} \cdot \frac{35 \ kV}{S_{NG}} = 0.002 \ \frac{1}{A}$$

$$E_{ekv} := U_{NG} \cdot \frac{U_{NG}}{U_{NG}} = 400 \ V$$

$$I_{p0S} := \frac{E_{ekv}}{\sqrt[2]{(19.195 \ \Omega)^2 + R_L^{\ 2} + X_L^{\ 2} + X_T^{\ 2}} \cdot \sqrt[2]{3}} = 12.025 \ A$$

$$I_{p0G} := \frac{E_{ekv}}{\sqrt[2]{0.032^2 \cdot \Omega^2} \cdot \sqrt[2]{3}} = \left( 7.217 \cdot 10^{3} \right) \ A$$

$$T_{aG} := \frac{0.032 \ \Omega}{\omega} = \left( 1.019 \cdot 10^{-4} \right) \ H \qquad T_{aS} := \frac{19.195 \cdot \Omega + X_L + 0.002 \cdot \Omega}{\omega \cdot R_L} = 0.1 \ s$$

$$T_{aG} := 0.0001 \ s \quad T_{aS} := 0.1 \ s \qquad t_{atj} := 0.2 \ s$$

$$i_{apK1} := \sqrt[2]{2} \cdot \left( I_{p0G} \cdot e^{\frac{-t_{atj}}{T_{aG}}} + I_{p0S} \cdot e^{\frac{-t_{atj}}{T_{aS}}} \right) = 2.302 \ A$$

$$k_{SGK1} := 1 + e^{\frac{-0.01 \ s}{T_{aG}}} = 1$$

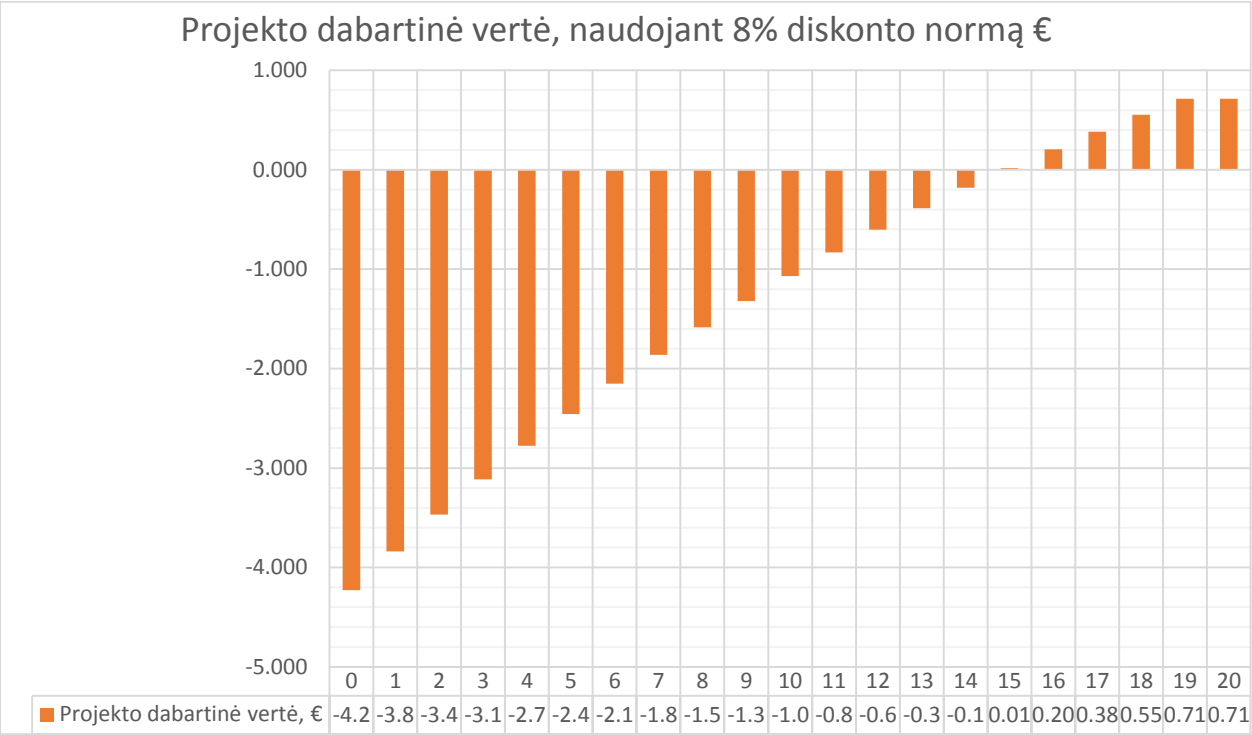
$$k_{SSK1} := 1 + e^{\frac{-0.01 \ s}{T_{aS}}} = 1.905$$

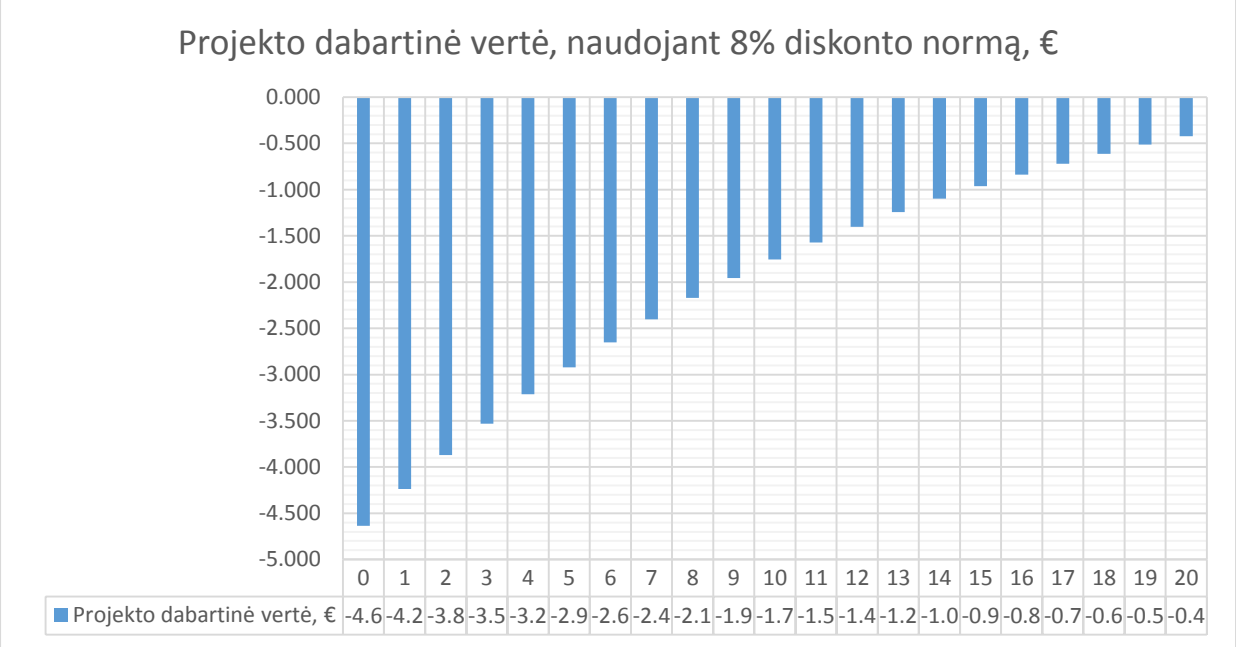
$$i_{SK1} := \sqrt[2]{2} \cdot \left( k_{SGK1} \cdot I_{p0G} + k_{SSK1} \cdot I_{p0S} \right) = \left( 1.024 \cdot 10^{4} \right) \ A$$

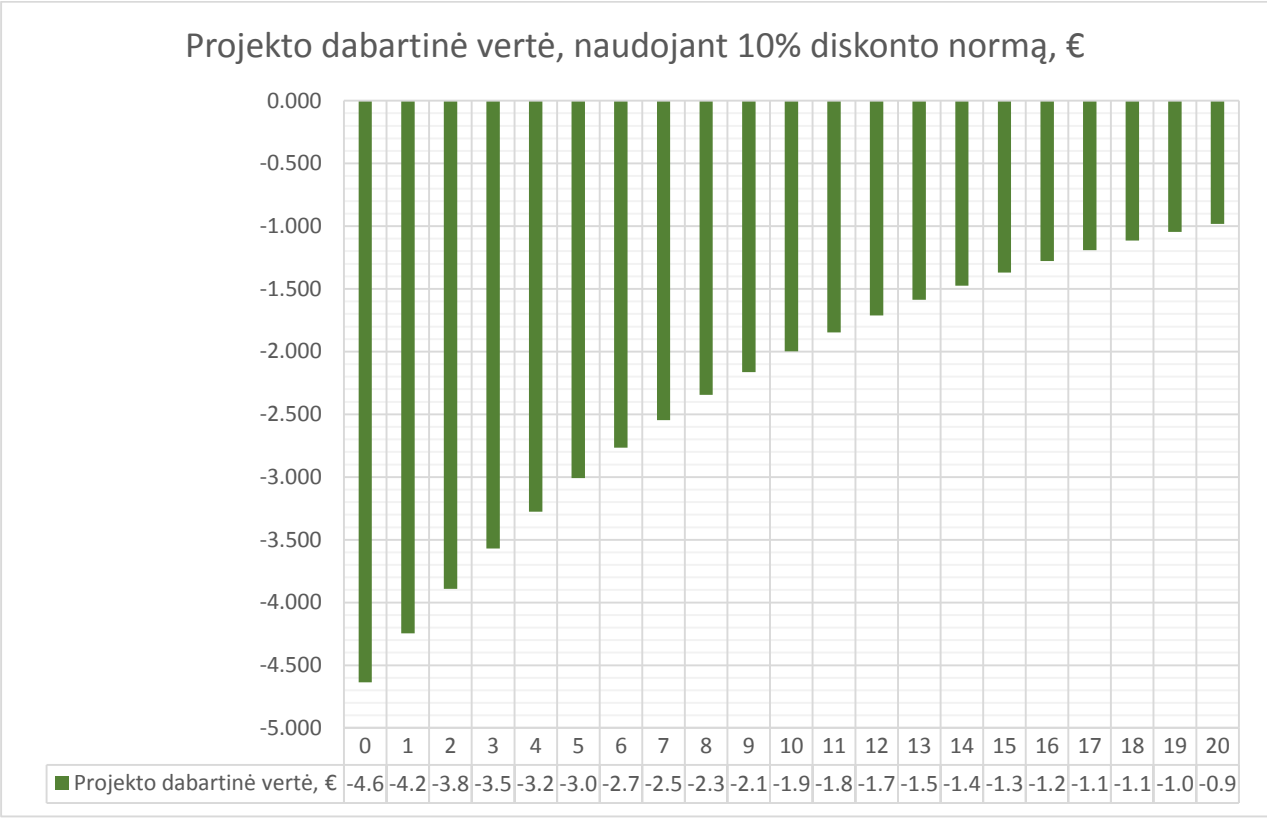
$$I_{p0G} = \left( 7.217 \cdot 10^{3} \right) \ A \qquad I_{NG} := \frac{791.5 \ kW}{\sqrt[2]{3} \cdot 400 \ V} = \left( 1.142 \cdot 10^{3} \right) \ A$$

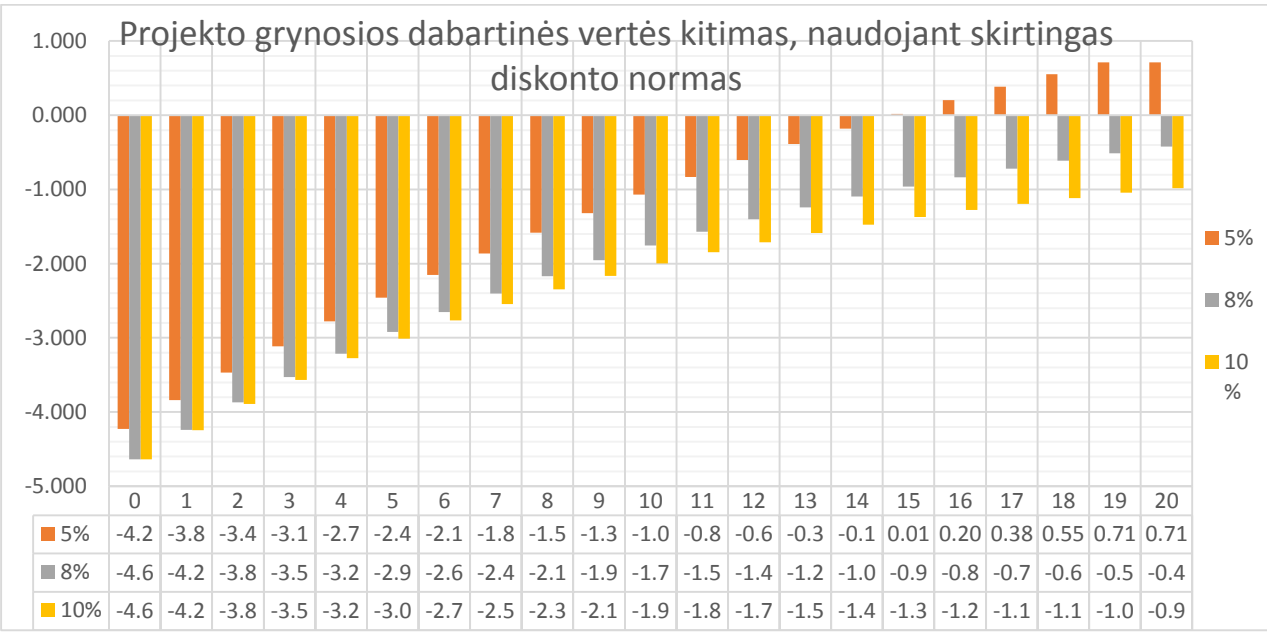
$$\frac{I_{p0G}}{I_{NG}} = 6.317 \qquad I_{p0S} = 12.025 \ A$$

**Projekto pinigų srautų balansai**

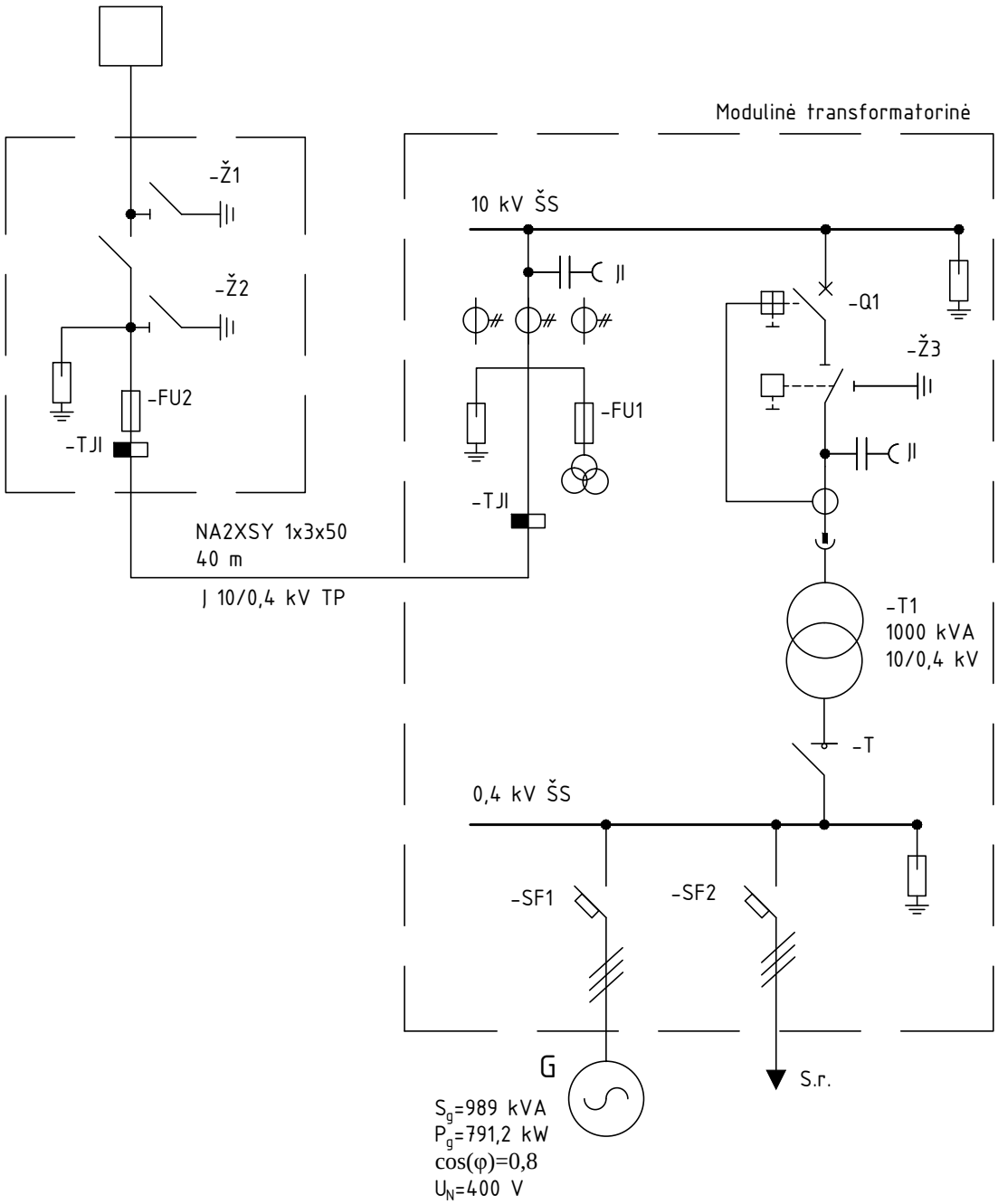



Projekto dabartinė vertė, naudojant 10% diskonto normą, €
0.000
-0.500
-1.000
-1.500
-2.000
-2.500
-3.000
-3.500
-4.000
-4.500
-5.000
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
Projekto dabartinė vertė, € -4.6 -4.2 -3.8 -3.5 -3.2 -3.0 -2.7 -2.5 -2.3 -2.1 -1.9 -1.8 -1.7 -1.5 -1.4 -1.3 -1.2 -1.1 -1.1 -1.0 -0.9


Projekto grynosios dabartinės vertės kitimas, naudojant skirtingas diskonto normas
1.000
0.000
-1.000
-2.000
-3.000
-4.000
-5.000
5%
8%
10 %
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
5% -4.2 -3.8 -3.4 -3.1 -2.7 -2.4 -2.1 -1.8 -1.5 -1.3 -1.0 -0.8 -0.6 -0.3 -0.1 0.01 0.20 0.38 0.55 0.71 0.71
8% -4.6 -4.2 -3.8 -3.5 -3.2 -2.9 -2.6 -2.4 -2.1 -1.9 -1.7 -1.5 -1.4 -1.2 -1.0 -0.9 -0.8 -0.7 -0.6 -0.5 -0.4
10% -4.6 -4.2 -3.8 -3.5 -3.2 -3.0 -2.7 -2.5 -2.3 -2.1 -1.9 -1.8 -1.7 -1.5 -1.4 -1.3 -1.2 -1.1 -1.1 -1.0 -0.9

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT




| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Grupė | KTU Elektros ir elektronikos fakultetas | | | | Baigiamasis bakalauro darbas | |
| EAE-1/2 | Studentas | V. Valantas | 2015-05-06 | | 1 priedas: KE modulinės TP vienlinijinė schema | Laida |
| | | | | | | 0 |
| Stadija: BBD | Elektros ir energetikos sistemų katedra Studentų g. 48, Kaunas | | | | 2015-BBD- Elektros energetikos sistemų katedra | Lapas 1 / Lapų 1 |

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT