



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Vilius Valantinas**

**KAUNO TRANSFORMATORIŲ PASTOTĖS 110 kV**  
**SKIRSTYKLOS REKONSTRUKCIJA**

Baigiamasis bakalauro projektas

**Vadovas**

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**KAUNO TRANSFORMATORIŲ PASTOTĖS 110 kV  
SKIRSTYKLOS REKONSTRUKCIJA**

Baigiamasis bakalauro projektas

**Elektros energetikos technologijos (kodas 612H63001)**

**Vadovas**

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

**Recenzentas**

**Projektą atliko**

Vilius Valantinas

**KAUNAS, 2015**

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakulteto

Elektros energetikos sistemų katedra

TVIRTINU: \_\_\_\_\_ S.Gudžius, katedros vedėjas

2015 m. \_\_\_\_\_ mėn. \_\_\_\_ d..

## BAKALAURO BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS

Studentui *Viliui Valantinui*

1. Darbo tema:

**Kauno transformatorių pastotės 110 kV įtampos skirstyklos rekonstrukcija**

2. Darbo užbaigimo terminas 2015 m. birželio mėn. 01 d.

3. Duomenys Praktikos metu surinkti duomenys apie objektą

4. Skaičiuojamojo-aiškinamojo rašto turinys ( *nagrinėjami klausimai*) \_\_\_\_\_

1. Įvadas (darbo pagrindimas, aktualumas, tikslai ir uždaviniai).

2. Objekto charakteristika (330/110 kV įtampos transformatorių pastotės elektros vartotojų apibūdinimas, elektros įrenginių nusidėvėjimo įvertinimas, perspektyvinio vystymo planai ir situacijos planas).

3. transformatorių pastotės rekonstrukcijos projektas (perspektyvinės elektros vartotojų apkrovos, 110 kV elektros tinklo analizė, autotransformatorių charakteristikų parinkimas, avarinių režimų parametru nustatymas, transformatorių pastotės schemas parinkimas, 110 kV skirstyklos elektros įrenginių parinkimas, apsaugos nuo viršįtampių įrenginių parinkimas, elektros įrenginių specifikacijos sudarymas).

4. Objekto rekonstrukcijos ekonominis įvertinimas

5. Išvados.

6. Literatūros sąrašas.

7. Priedai (schemas ir planai).

5. Grafinė medžiaga:

- Transformatorių pastotės 110 kV įtampos skirstyklos planas,
- Transformatorių pastotės schema,
- Transformatorių pastotės 110 kV įtampos skirstyklos žaibosaugos planas,

2015 m. vasario mėn. 14 d.

Vadovas \_\_\_\_\_

Užduotį gavau: \_\_\_\_\_

2015 m. \_\_\_\_\_ mėn. \_\_\_\_ d.



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Vilius Valantinas

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos technologijos, kodas 612H63001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Kauno transformatorių pastotės 110 kV skirstyklos rekonstrukcija“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 15 m. Gegužės 19 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Viliaus Valantino** baigiamasis projektas tema „Kauno transformatorių pastotės 110 kV skirstyklos rekonstrukcija“ 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)

Valantinas, V. Kauno transformatorių pastotės 110 kV skirstyklos rekonstrukcija. *Bakalauro* baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Alfonsas Morkvėnas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2015. 52 psl.

## SANTRAUKA

Bakalauro studijų baigiamojo darbo tikslas – Kauno transformatorių pastotės 110 kV skirstyklos rekonstrukcija. Visos valstybės ekonomikos šakos, daugiau ar mažiau, priklausomos nuo elektros energijos. Elektros energetikos sektorius turi būti viena koja priekyje, kad nebūtų varžomas šalies ekonomikos augimas. Tai užtikrinti galima planuojant perspektyvines apkrovas, nuolat atidžiai prižiūrint eksploatuojamus įrenginius ir rekonstruojant senas pastotes, dėl ko padidėja elektros tinklų efektyvumas, patikimumas.

Kauno transformatorių pastotė yra viena didžiausių Lietuvoje, tad atlieka svarbų vaidmenį perduodant ir skirstant elektros energiją. Šiuo metu pastotėje veikia du 330/110/10 kV įtampos autotransformatoriai, kurių kiekvieno galia – 125 MVA.

Projektuojant skirstyklos rekonstrukciją bene svarbiausia užduotis yra trumpųjų jungimų srovių skaičiavimas, jų pasiskirstymas. Pagal gautus rezultatus parenkami įrenginiai, kurie geba atlaikyti tokio dydžio sroves iki suveikiant relinei apsaugai. Kita svarbi užduotis – gera apsauga nuo žaibo ir komutacinių viršįtampių. Šiuo atžvilgiu jautriausias pastotės įrenginys yra galios autotransformatorius. Dvi pagrindinės priemonės nuo šių nepageidaujamų veiksmų yra viršįtampių ribotuvas ir įžeminimo kontūras.

Galų gale daroma skirstyklos ekonominė analizė. Žinant reikalingų investicijų dydį, skirstyklos uždirbamų pinigų kiekį, galima apskaičiuoti apytikslį projekto atsipirkimo laiką.

*Reikšminiai žodžiai (iki 8 žodžių): skirstykla, rekonstrukcija, elektra, įtampa, projektas.*

Valantinas, V. Reconstruction of 110 kV Switchyard of Kaunas Transformer Substation. Final project of *bachelor degree* / supervisor prof. dr. Alfonsas Morkvėnas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical Power Systems.

Kaunas, 2015. 52 p.

## SUMMARY

The aim of Bachelor degree thesis – reconstruction of 110 kV switchyard of Kaunas transformer substation. All economy of the country more or less depends on electric energy. Sector of electric power must be one step ahead so that the growth of the economy would not be constrained. It can be ensured by planning the long-term loads, constant supervision of the equipment and reconstructing old substations wherefore the effectiveness and credibility of the grid is improved.

Kaunas transformer substation is one of the biggest in Lithuania, so it has a big role in transferring and distributing the electric energy. Currently there are two 330/110/10 kV autotransformers operating, each of them is 125 MVA.

While designing one of the main object is calculation of the short circuit values. According to the results the new equipment is selected, which would be able to withstand the current of the short circuit while the relay protection is operates. The other significant task – reliable protection from over voltage which is caused by lighting or commutation. In this respect the most exposed equipment of the substation is autotransformer. Two main ways of the protection are surge arresters and grounding.

Finally economic analysis is made. Considering on the amount of investments, profit of the switchyard, you can calculate the approximate time of the buy off.

*Keywords (up to 8 words): switchyard, reconstruction, electricity, voltage, project.*

# TURINYS

LENTELIŲ IR PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS .....	9
SANTRAUPŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS .....	11
ĮVADAS.....	12
1. OBJEKTO CHARAKTERISTIKA.....	13
1.1. Skirstyklos charakteristika .....	13
1.2. Vietovės charakteristika .....	14
2. 110 kV SKIRSTYKLOS PROJEKTAS.....	16
2.1. Esamos elektros energijos vartotojų apkrovos .....	16
2.2. Vartotojų apkrovų nustatymas .....	19
2.3. Galios autotrasformatoriaus tinkamumo tikrinimas .....	21
2.4. Apkrovos .....	23
2.5. Perspektyvinės apkrovos .....	25
2.6. 110 kV skirstyklos plano sudarymas.....	25
2.7. Trumpųjų jungimų skaičiavimas .....	26
2.8. Trumpojo jungimo srovės per autotransformatorių skaičiavimas .....	29
2.9. Smūgio srovės skaičiavimas.....	30
2.10. Darbo srovės skaičiavimas.....	31
2.11. Šiluminio impulso skaičiavimas.....	32
2.12. Skirstyklos elementų parinkimas .....	32
2.12.1. Komutavimo aparatų parinkimas .....	32
2.12.2. Matavimo transformatorių parinkimas.....	33
2.12.3. Šynos.....	34
2.13. Apsaugos priemonių nuo viršįtampių parinkimas.....	35
2.14. Technologinių sąnaudų galios autotransformatoriuose nustatymas ir apkrautumo įvertinimas	35
2.15. Apsauga nuo tiesioginio žaibo smūgio.....	36
2.16. Įžeminimo įrenginio parinkimas .....	38
3. SKIRSTYKLOS APŠVIETIMO ELEKTROS TINKLO PROJEKTAS .....	40
4. SKIRSTYKLOS EKONOMINIS ĮVERTINIMAS.....	41
4.1. Sąmatinis skaičiavimas .....	41
4.2. Ekonominė analizė.....	42
4.3. Pagrindinių elektros įrenginių specifikacija .....	45
IŠVADOS .....	46
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	47
PRIEDAI.....	48

Priedas 1. Autotransformatorių tikrinimo duomenys .....	48
Priedas 2. Įžeminimo įrenginio skaičiavimas .....	51
Priedas 3. Grafinė dalis. ....	52

## LENTELIŲ IR PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1.1 lentelė. Skirstyklos techniniai duomenys.
- 1.2 lentelė. Prijungtų 110 kV linijų techniniai duomenys.
- 1.3 lentelė. Autotransformatorių parametrai.
- 2.1 lentelė. Pirmojo autotransformatoriaus apkrovos.
- 2.2 lentelė. Antrojo autotransformatoriaus apkrovos.
- 2.3 lentelė. 110 kV linijų apkrovos.
- 2.4 lentelė. Perspektyvinės apkrovos.
- 2.5 lentelė. TJ srovės linijose.
- 2.6 lentelė. Smūgio srovės linijose.
- 2.7 lentelė. Jungtuvo ir skyriklio techniniai duomenys.
- 2.8 lentelė. Suminiai aktyviosios galios nuostoliai autotransformatoriuose.
- 2.9 lentelė. Pradiniai skaičiavimo duomenys.
- 3.1 lentelė. Apšvietimo maitinimo kabelių parametrai.
- 4.1 lentelė. Sąmatų lentelė.
- 4.2 lentelė. Projekto esamosios vertės kitimas.
- 4.3 lentelė. Įrenginių specifikacijų lentelė.
- P1.1 lentelė. AT – 1 izoliacinės alyvos chromatografinė analizė.
- P1.2 lentelė. AT – 1 izoliacinės alyvos kokybinių rodiklių nustatymas.
- P1.3 lentelė. AT - 1 110 kV įvadų izoliacijos varžų ir dielektrinių nuostolių kampo tgδ verčių patikrinimas.
- P1.4 lentelė. AT – 2 izoliacinės alyvos chromatografinė analizė.
- P1.5 lentelė. AT – 2 izoliacinės alyvos kokybinių rodiklių nustatymas.
- P2.1 lentelė. Pradiniai duomenys.
- 
- 2.1 pav. AT – 1 apkrova.
- 2.2 pav. AT – 2 apkrova.
- 2.3 pav. Metinės apkrovos grafikas.
- 2.4 pav. Leidžiamos transformatoriaus perkrovos priklausomybė nuo apkrovos trukmės ir grafiko užpildymo koeficientas.
- 2.5 pav. Prie skirstyklos prijungta linija.

- 2.6 pav. Ekvivalentinė skaičiuojamoji schema.
- 2.7 pav. Skaičiuojamoji schema.
- 2.8 pav. AT skaičiuojamoji schema.
- 2.9 pav. AT varžos.
- 2.10 pav. Žaibolaidžio apsaugos zona.
- 2.11 pav. Daugiastiebių žaibolaidžių apsaugos zonos.

## SANTRAUPŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

**AT – 1** – autotransformatorius nr. 1

**AT – 2** – autotransformatorius nr. 2

**TŠ** – tarpšyninis jungtuvo narvelis

**KE** – Kauno elektrinė

**KHAE** – Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė

**TJ** – trumpasis jungimas

**AC** – kintama srovė

**DC** – nuolatinė srovė

## ĮVADAS

Šiais laikais būtų sunku įsivaizduoti gyvenimą be elektros energijos. Žmonės jau dabar ją naudoja įvairiose sferose – buityje, darbe, ūkyje. Vystantis mokslui atsiranda naujų panaudojimo sferų – elektromobiliai, medicina. Taipogi elektros energija yra vienas pagrindinių šių laikų ekonomikos augimo variklių. Pastotės rekonstruojamos keliasdešimčiai metų į priekį, tad itin svarbu tinkamai įvertinti galimą apkrovų didėjimą ir parinkti įrenginius su reikalinga atsarga. Kiti svarbūs dalykai - elektros energijos tiekiamas be trukdžių, reikiamas jos kiekis, tinkama kokybė. Kokybiška elektros energija ypatingai svarbi vartotojams, kurie naudoja šiuolaikinę elektronikos įrangą. Ji yra brangi ir ypač jautri įtampos svyravimams. Visa tai galima užtikrinti nuolat prižiūrint esamus elektros tinklus, juos vystant, bei naudojant naujausią ir moderniausią įrangą.

Darbo tikslas – rekonstruoti vieną didžiausių, ir, tuo pačiu, svarbiausių šalies skirstyklų. Nuo 2016 metų pradžios Lietuvos elektros sistema bus sujungta su dvejomis jungtimis su užsienio šalimis, tad mūsų elektros tinklas ir jame esantys įrenginiai turi būti tam tinkamai paruošti.

Darbo uždaviniai:

- Įvertinti esamas skirstyklos charakteristikas;
- Įvertinti esamas ir perspektyvines apkrovas;
- Autotransformatorių charakteristikų parinkimas;
- Avarinių režimų parametrų skaičiavimas;
- 110 kV skirstyklos įrenginių parinkimas;
- Įžeminimo kontūro, žaibosaugos projektavimas;
- Ekonominis rekonstrukcijos įvertinimo skaičiavimas.

# 1. OBJEKTO CHARAKTERISTIKA

## 1.1. Skirstyklos charakteristika

1.1 lentelė. Skirstyklos techniniai duomenys.

Techniniai duomenys	Vienetai	Kiekis
Įtampa	kV	110
Autotransformatorių kiekis	vnt.	2
Autotransformatorių galia	MVA	2 x 125
Prijungtų 110 kV linijų skaičius	vnt.	12
Šynų sekcijų skaičius	vnt.	4

1.2 lentelė. Prijungtų 110 kV linijų techniniai duomenys.

Linija	Ilgis, km	Laido tipas
Amaliai	5,56	AS – 240/32
Vilijampolė 1	13,9	AS – 240/32
Jonava 1	29,2	AS – 150/24
Jonava 2	28,7	AS – 240/32
KE 1	2,3	AS – 240/32
KE 2	2,2	AS – 240/32
KHAE	36,8	AS – 240/32
Murava 1	2,84	AS – 150/24
Murava 2	1,25	AS – 150/24
Vandžiogala	21,2	AS – 150/24
Vilijmapolė 2	12,4	AS – 240/32
Palemonas	4,2	AS – 150/24

1.3 lentelė. Autotransformatorių parametrai.

Dispečerinis Nr.	Tipas	S, MVA	U, kV			U <sub>k</sub> , %	Δ P <sub>k</sub> , kW	Δ P <sub>0</sub> , kW	I <sub>0</sub> , %
			A <sub>Į</sub>	V <sub>Į</sub>	Ž <sub>Į</sub>				
AT - 1	ATDCTN-125 000 /330/110	125	330	115	10,5	10,5	330	58	0,22
AT - 2	ANER3E 125 000/330	125	330	115	10,5	10,5	488	72	0,22

## 1.2. Vietovės charakteristika

Rekonstruojama Kauno pastotės 110 kV skirstykla yra Biruliškių kaime, Kauno rajone. Aikštelės reljefas lygus su nedideliu nuolydžiu į teritorijos kraštus. Natūralaus paviršiaus altitudės svyruoja nuo 73,6m iki 74,19m.

Projekte priimami šie parametrai:

- Skaičiuojamasis vėjo slėgis į skirstyklos portalus ir atramas – 550Pa;
- Apledėjimo sienutės storis 20mm;
- Didžiausias grunto išalimo gylis galimas vieną kartą per 10 metų – 0,9m;
- Didžiausias grunto išalimo gylis galimas vieną kartą per 50 metų – 1,25m;
- Didžiausia galima temperatūra – 35
- Mažiausia galima temperatūra - -42
- Sniego dangos norminė apkrova – 700Pa;

Skirstyklos elektros įrenginiai teršalų į atmosferą neišskiria. Skirstykla yra pakankamai nutolusi nuo gyvenamųjų namų, kurie yra 120 metrų atstumu nuo artimiausio triukšmo šaltinio – autotransformatoriaus. Aplinkinių gyventojų apsaugos priemonės nuo pramoninio dažnio kintamos srovės oro linijų sukuriama elektrinio lauko, kai oro perdavimo linijų įtampa mažesnė nei 330 kV, pagal Lietuvos higienos normą HN 104:2000 nereikalingos.

Skirstyklos elektros įrenginiai į gruntą teršalų neišskiria. Autotransformatoriaus gedimo atveju ištekanti alyva surenkama alyvos priimtuve ir alyvos nuvedimo linija nuvedama į esamą požeminį alyvos rinktuvą. Alyvos rinktuvo tūris įgalina patalpinti 100% autotransformatoriuje esančios alyvos.

Kauno pastotės 110 kV skirstyklos įrenginiai yra susidėvėję, tad dėl didelės gedimų ir avarijų tikimybės, jie turi būti keičiami naujais. Kitu atveju egzistuoja didelė tikimybė jog įvyks gedimas ir vartotojai praras elektros energijos tiekimą.

Atvirosios skirstyklos rekonstravimas bus vykdomas šalia veikiančių 110 kV įrenginių. Kadangi ilgam negalima atjungti 110 kV linijų, skirstyklos rekonstravimas bus atliekamas keliais etapais: nulinio etapo metu įtampa atjungta nebus, o kitų keturių etapų metu įtampa bus atjungta neilgam. Skirstyklos rekonstrukcija vyks šiais etapais:

## **0 etapas**

Įrengiami trys 110 kV narveliai – dvi laikinos jungtys ir vienas tarpšyninio jungtuvo narvelis TŠ – 112.

## **1 etapas:**

Šiame rekonstrukcijos etape atjungiami ir išmontuojami trys esami 110 kV narveliai (2 Murava, Amaliai, 1 KE) ir įrengiami nauji narveliai.

## **2 etapas:**

Šiame etape atjungiami ir išmontuojami šeši esami 110 kV narveliai (2 KE, Palemonas, KHAE, 1 Murava, sekcijinių jungtuvų narveliai TŠ – 113 ir TŠ – 124, AT – 1 narvelis, ir įrengiami nauji.

## **3 etapas:**

Šiame etape atjungiami ir išmontuojami keturi esami 110 kV narveliai (2 Vilijampolė, 1 Vilijampolė, Vandžiogala, 2 Jonava) ir įrengiami naujinarveliai.

## **4 etapas:**

Šiame etape atjungiami ir išmontuojami likusieji 110 kV narveliai (1 Jonava, AT – 2, tarpšyninio jungtuvo narvelis TŠ – 134) ir sumontuojami nauji.

## 2. 110 kV SKIRSTYKLOS PROJEKTAS

### 2.1. Esamos elektros energijos vartotojų apkrovos

Rekonstruojant skirstyklą labai svarbu teisingai įvertinti apkrovas. Skirstyklos esamų, perspektyvinių apkrovų tikslus įvertinimas yra svarbus parenkant įrenginius, kurie gebėtų atlaikyti ateityje išaugusias apkrovas. To nepadarius, dar nesibaigus planuojamam skirstyklos veikimo laikotarpiui, gali tekti keisti tam tikrus įrenginius.

Naudojant duomenis gautus praktikos metu, sudaromos lentelės ir grafikai su autotransformatorių apkrovomis. Kadangi metai yra dalinami į šiltąjį ir šaltąjį laikotarpius, lentelėje pavaizduosiu dviejų metų dienų aktyvinio pobūdžio, reaktyvinio pobūdžio ir sumines apkrovas. Viena diena parinkta iš šiltojo metų laikotarpio, kita iš šaltojo. Abiejų autotransformatorių apkrovos lygintos tą pačią dieną.

2.1 lentelė. Pirmojo autotransformatoriaus apkrovos.

AT 1						
Paros laikas	Šaltasis laikotarpis			Šiltasis laikotarpis		
	P <sub>sa</sub> , MW	Q <sub>sa</sub> , MVar	S <sub>sa</sub> , MVA	P <sub>si</sub> , MW	Q <sub>si</sub> , MVar	S <sub>si</sub> , MVA
1	22,0	24,0	32,6	19,0	11,0	21,9
2	18,0	7,0	19,3	15,0	12,0	19,3
3	19,0	9,0	21,0	15,0	12,0	19,3
4	17,0	9,0	19,2	12,0	12,0	17,0
5	19,0	9,0	21,0	14,0	14,0	19,8
6	24,0	8,0	25,3	28,0	1,0	28,0
7	44,0	13,0	45,9	26,0	12,0	28,6
8	51,0	23,0	56,0	31,0	3,0	31,1
9	58,0	9,0	58,7	47,0	9,0	47,9
10	57,0	8,0	57,6	38,0	11,0	39,6
11	53,0	7,0	53,5	37,0	9,0	38,1
12	56,0	7,0	56,4	43,0	8,0	43,7
13	54,0	8,0	54,6	37,0	10,0	38,3
14	52,0	7,0	52,5	36,0	1,0	36,0
15	53,0	8,0	53,6	44,0	4,0	44,2
16	53,0	8,0	53,6	42,0	5,0	42,3
17	37,0	6,0	37,5	38,0	2,0	38,1
18	41,0	8,0	41,8	28,0	1,0	28,0
19	41,0	8,0	41,8	34,0	10,0	35,4
20	43,0	7,0	43,6	29,0	11,0	31,0

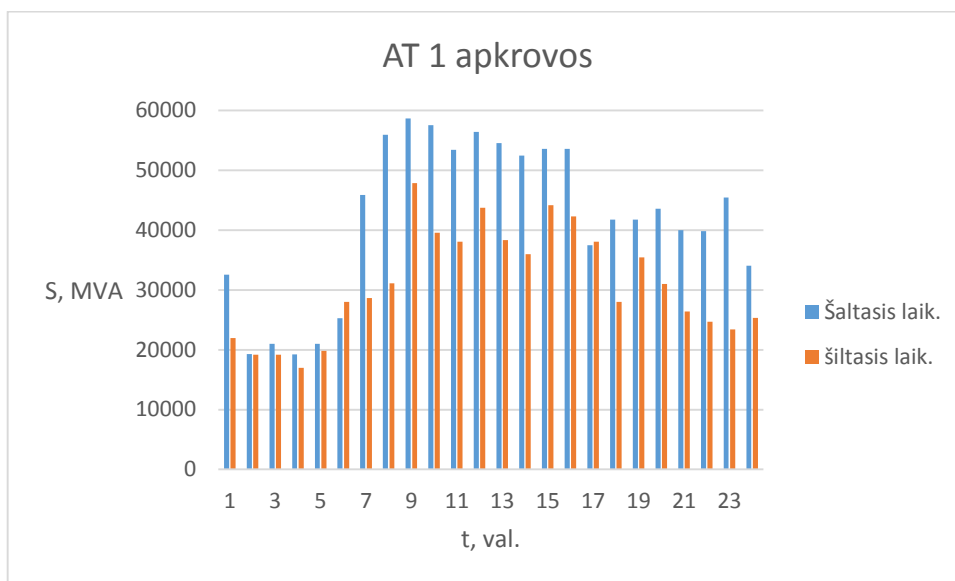
<b>21</b>	39,0	9,0	40,0	24,0	11,0	26,4
<b>22</b>	38,0	12,0	39,9	23,0	9,0	24,7
<b>23</b>	38,0	25,0	45,5	22,0	8,0	23,4
<b>24</b>	26,0	22,0	34,1	25,0	4,0	25,3

2.2 lentelė. Antrojo autotransformatoriaus apkrovos.

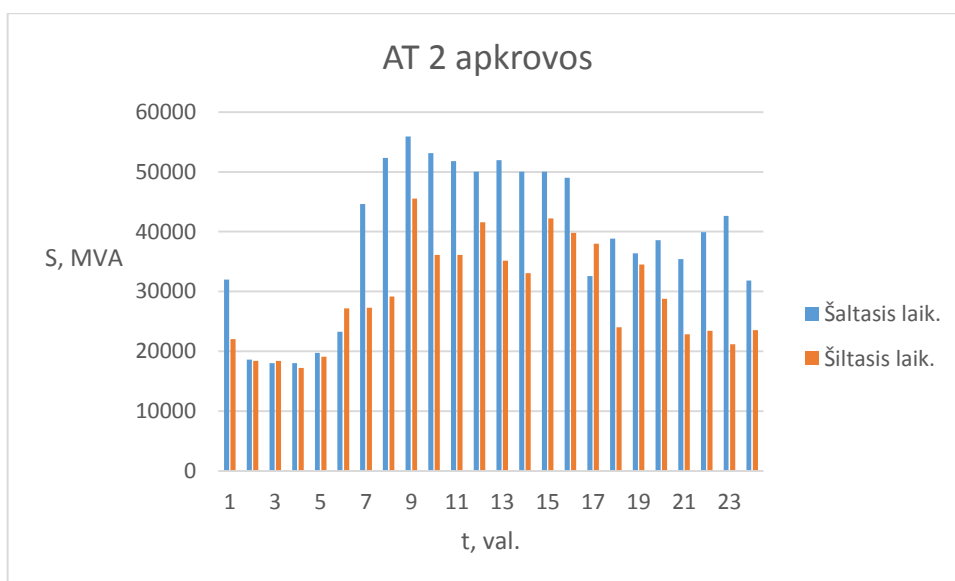
<b>AT 2</b>						
<b>Paros laikas</b>	Šaltasis laikotarpis			Šiltasis laikotarpis		
	$P_{sa}$ , MW	$Q_{sa}$ , MVar	$S_{sa}$ , MVA	$P_{si}$ , MW	$Q_{si}$ , MVar	$S_{si}$ , MVA
<b>1</b>	20,0	25,0	17,5	17,0	14,0	22,0
<b>2</b>	15,0	11,0	20,6	13,0	13,0	18,4
<b>3</b>	15,0	10,0	18,4	13,0	13,0	18,4
<b>4</b>	15,0	10,0	20,6	10,0	14,0	17,2
<b>5</b>	17,0	10,0	20,6	13,0	14,0	19,1
<b>6</b>	21,0	10,0	25,6	27,0	3,0	27,2
<b>7</b>	42,0	15,0	34,7	24,0	13,0	27,3
<b>8</b>	46,0	25,0	45,1	29,0	3,0	29,2
<b>9</b>	55,0	10,0	52,8	45,0	7,0	45,5
<b>10</b>	52,0	11,0	52,5	35,0	9,0	36,1
<b>11</b>	51,0	9,0	54,6	35,0	9,0	36,1
<b>12</b>	49,0	10,0	55,9	41,0	7,0	41,6
<b>13</b>	51,0	10,0	55,1	34,0	9,0	35,2
<b>14</b>	49,0	10,0	57,1	33,0	2,0	33,1
<b>15</b>	49,0	10,0	56,9	42,0	4,0	42,2
<b>16</b>	48,0	10,0	56,1	39,0	8,0	39,8
<b>17</b>	31,0	10,0	54,7	38,0	1,0	38,0
<b>18</b>	38,0	8,0	55,9	24,0	1,0	24,0
<b>19</b>	35,0	10,0	53,2	33,0	10,0	34,5
<b>20</b>	37,0	11,0	50,2	27,0	10,0	28,8
<b>21</b>	34,0	10,0	43,4	21,0	9,0	22,8
<b>22</b>	37,0	15,0	40,3	22,0	8,0	23,4
<b>23</b>	33,0	27,0	38,9	22,0	7,0	21,2
<b>24</b>	23,0	22,0	26,1	23,0	5,0	23,5

Abu autotransformatoriai dirba lygiagrečiu režimu. Idealiu atveju apkrovos turėti pasiskirstyti abiem autotransformatoriams po lygiai, bet dėl skirtingų gamintojų ir įrangos netobulumo yra nedidelės paklaidos. Kaip ir įprasta, šaltuoju metų laiku apkrovos yra pastebimai didesnės lyginant su šiltuoju.

Palyginimui galima pažiūrėti kaip skiriasi autotransformatorių apkrovos skirtingais metų laikotarpiais (2.1-2 pav.).



2.1 pav. AT – 1 apkrovos.



2.2 pav. AT – 2 apkrovos.

## 2.2. Vartotojų apkrovų nustatymas

AT 1

Šaltojo ir šiltojo laikotarpių maksimalios ir minimalios apkrovos:

$$P_{max, ša} = 58 \text{ MW};$$

$$P_{min, ša} = 17 \text{ MW};$$

$$P_{max, ši} = 47 \text{ MW};$$

$$P_{min, ši} = 12 \text{ MW};$$

Kiekvienais metais šaltasis metų laikotarpis prasideda vis kitą dieną, priklausomai nuo temperatūros. Priimu 220 dienų. Iš autotransformatoriaus apkrovos lentelės matyti, kad maksimali apkrova būna daugiau negu pusę paros, tad priimu, kad maksimalios apkrovos laikas – 10 valandų.

$$n_{ša} = 220; \quad t_{max} = 10 \text{ val.}; \quad t_{min} = 14 \text{ val.}$$

Šaltojo laikotarpio maksimalios apkrovos laikas:

$$T_{max, ša} = n_{ša} \cdot t_{max} = 220 \cdot 10 = 2200h \quad (1)$$

Šaltojo laikotarpio minimalios apkrovos laikas:

$$T_{min, ša} = n_{ša} \cdot t_{min} = 220 \cdot 14 = 3080h \quad (2)$$

Priimu, jog šiltojo laikotarpio ilgis 145 dienos.

Šiltojo laikotarpio maksimalios apkrovos laikas:

$$T_{max, ši} = n_{ši} \cdot t_{max} = 145 \cdot 10 = 1450h \quad (3)$$

Šiltojo laikotarpio minimalios apkrovos laikas:

$$T_{mix,ši} = n_{ši} \cdot t_{min} = 145 \cdot 14 = 2030h \quad (4)$$

Per metus perduotą elektros energijos kiekį skaičiuojame apytiksliai:

$$W_{sum} = \sum_i P_i T_i \quad (5)$$

čia:  $P_i$  – apkrovos i-oji galia,  $MW$ ;

$T_i$  – i-ojo laikotarpio trukmė,  $h$ ;

$$\begin{aligned} W_{sum} &= P_{max,ša} \cdot T_{max,ša} + P_{min,ša} \cdot T_{mix,ša} + P_{max,ši} \cdot T_{max,ši} + P_{min,ši} \cdot T_{min,ši} \quad (6) \\ &= 58 \cdot 2200 + 17 \cdot 3080 + 47 \cdot 1450 + 12 \cdot 2030 = \\ &= 272\,470 \text{ MWh}; \end{aligned}$$

Pagrindiniai apkrovos apibūdinantys parametrai:

- Didžiausia apkrova autotransformatoriuje AT 1:

$$P_{max} = 58 \text{ MW};$$

- Mažiausia apkrova autotransformatoriuje AT 1

$$P_{min} = 12 \text{ MW};$$

- Vidutinė metinė apkrova:

$$P_{vid} = \frac{W_{sum}}{T} = \frac{272\,470}{8760} = 31,1 \text{ MW} \quad (7)$$

čia:  $T$  – metuose esantis valandų skaičius.

- Grafiko užpildymo koeficientas:

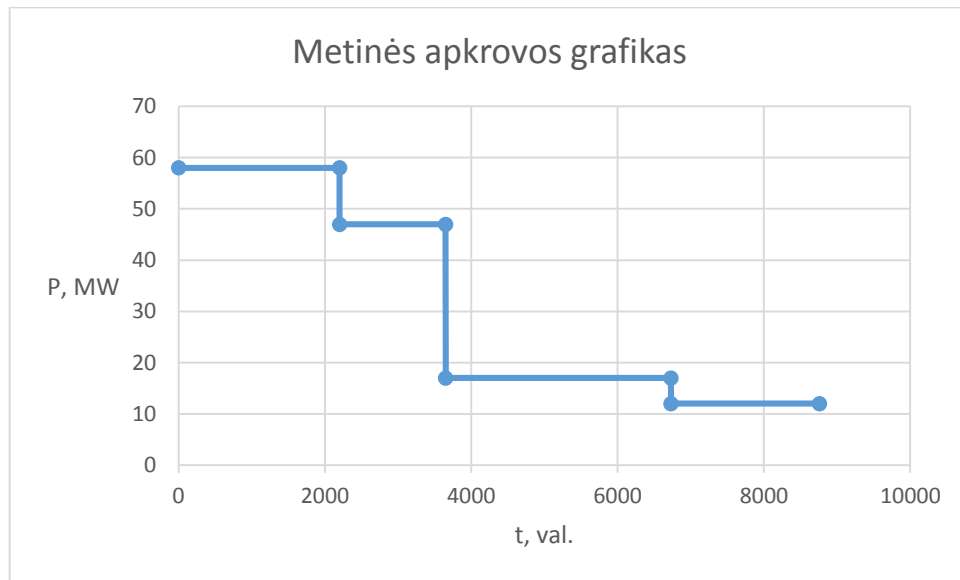
$$k_U = \frac{P_{vid}}{P_{max}} = \frac{31,1}{58} = 0,54 \quad (8)$$

- Mažiausios apkrovos koeficientas:

$$\alpha = \frac{P_{min}}{P_{max}} = \frac{17}{58} = 0,293 \quad (9)$$

- Didžiausios apkrovos laikas per metus:

$$T_{max} = \frac{W_{sum}}{P_{max}} = \frac{272\,470}{58} = 4698\,h \quad (10)$$



2.3 pav. Metinės apkrovos grafikas

### 2.3. Galios autotrasformatoriaus tinkamumo tikrinimas

Kauno pastotės 110 kV skirstykloje autotrasformatoriai nebus keičiami naujais, kadangi iš paskutinių, periodiškai atliekamų, tikrinimų matyti, jog visi matuojami parametrai yra normų ribose (žiūrėti priede). Skaičiavimai atliekami imituojant jog vienas autotrasformatorius yra išjungtas, tad visa apkrova tenka vienam. Reikia apskaičiuoti, ar vienas likęs autotrasformatorius sugebės dirbti už du.

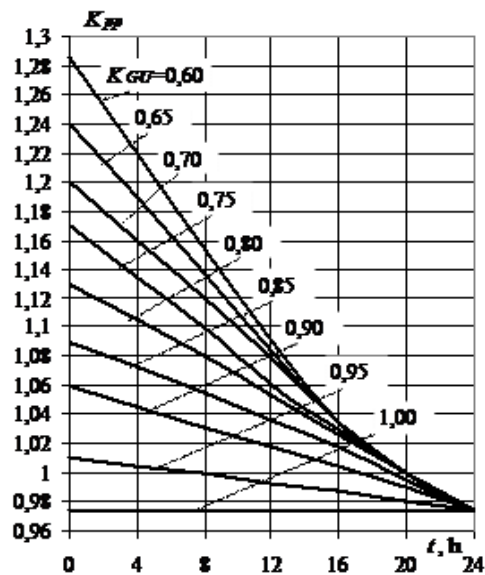
Autotransformatoriaus galia yra didesnė už 100 MVA, tad priimu, kad galios koeficientas  $\cos\varphi=0.8$ .

$$S_{max} = \frac{P_{max,AT1} + P_{max,AT2}}{\cos\varphi} = \frac{58 + 55}{0,8} = 141,3 \text{ MVA}; \quad (11)$$

$$S_{vid} = \frac{P_{vid,AT1} + P_{vid,AT2}}{\cos\varphi} = \frac{35,9 + 33,5}{0,8} = 75,8 \text{ MVA}; \quad (12)$$

$$k_u = \frac{P_{vid,AT1} + P_{vid,AT2}}{P_{max,AT1} + P_{max,AT2}} = \frac{64,9}{114} = 0,54 \quad (13)$$

Sprendžiant iš apkrovos lentelės duomenų, išaugęs elektros energijos poreikis būna maždaug 10 valandų per parą. Tad priimu, kad  $t = 10 \text{ val.}$



2.4 pav. Leidžiamos transformatoriaus perkrovos priklausomybė nuo apkrovos trukmės ir grafiko užpildymo koeficientas.

Apskaičiavus apkrovos grafiko užpildymo koeficientą  $k_u$  ir nustčius padidėjusios apkrovos trukmę, iš paveiksle esančių grafikų buvo rastas autotransformatoriaus perkrovos koeficientas  $K_{PP}$ .

$$K_{PP}=1,12$$

Gerai aušinant autotransformatorių, galima, nekeičiant jo techniškai, pakelti jo galią. Žiemą aplinkos temperatūra yra sąlyginai žema, o tai pagerina autotransformatoriaus aušinimą. Dėl metų

apkrovos grafiko netolygumo, kuomet žiemą apkrovos būna didesnės nei vasarą, autotransformatorių galima dar papildomai perkrauti iki 15% nuo vardinės galios.

$$S_{PP} = 0,12 \cdot S_N + 0,15 \cdot S_N = 0,27 \cdot S_N = 0,27 \cdot 125 = 33,8 \text{ MVA} \quad (14)$$

čia  $S_{PP}$  – suminė autotransformatoriaus perkrova.

Apskaičiuoju bendrą autotransformatoriaus galią su perkrovomis:

$$S_{NPP} = S_N + S_{PP} = 125 + 33,8 = 158,8 \text{ MVA} \quad (15)$$

$$S_{max} < S_{NPP}$$

Maksimali paros apkrova žiemos metu, tenkanti abiem autotransformatoriams, neviršija maksimalios leistinos autotransformatoriaus apkrovos su leistina perkrova. Skaičiavimai atlikti laikant, jog maksimali apkrova trunka 10 valandų per parą. Galima daryti išvadą, jog vienas autotransformatorius, esant reikalui, yra pajėgus dirbti už du.

## 2.4. Apkrovos

Iš viso prie Kauno TP 110 kV skirstyklos prijungtos dvylika linijų.

2.3 lentelė. 110 kV linijų apkrovos.

Linija	$P_L$ , MW	$Q_L$ , MVar
Amaliai	+21,2	+4,0
Vilijampolė 1	+50,9	+7,9
KHAE	+3,3	-7,2
Murava 1	+16,5	-0,7
Murava 2	+9,3	+1,3
Vandžiogala	+2,0	-0,7
Vilijampolė 2	+27,7	+4,0
Jonava 1	-16,5	-4,6
Jonava 2	-13,2	-5,9
KE 1	-9,3	-5,3
KE 2	-13,8	-8,6
Palemonas	0	0

čia: - - į skirstyklą ateinantys srautai;

+ - iš skirstyklos išeinantys.

Visų iš skirstyklos linijomis išeinančių aktyviosios galios srautų suma:

$$\sum P_{out} = 21,2 + 50,9 + 3,3 + 16,5 + 9,3 + 2 + 27,7 = 130,9 \text{ MW} \quad (16)$$

Visų į skirstyklą linijomis ateinančių aktyviosios galios srautų suma:

$$\sum P_{in} = -16,5 - 13,2 - 9,3 - 13,8 = -52,8 \text{ MW} \quad (17)$$

Visų iš skirstyklos linijomis išeinančių reaktyviosios galios srautų suma:

$$\sum Q_{out} = 4 + 7,9 + 1,3 + 4 = 17,2 \text{ MVar} \quad (18)$$

Visų į skirstyklą linijomis ateinančių reaktyviosios galios srautų suma:

$$\sum Q_{in} = -4,6 - 5,9 - 5,3 - 8,6 - 7,2 - 0,7 - 0,7 = -33 \text{ MVar} \quad (19)$$

Skirtumas tarp linijomis ateinančių ir išeinančių aktyviosios galios srautų:

$$\Delta P = P_{in} + P_{out} = -52,8 + 130,9 = +78,1 \text{ MW} \quad (20)$$

čia:  $P_{in}$  ir  $P_{out}$  – ateinantys ir išeinantys aktyviosios galios srautai;

Skirtumas tarp linijomis ateinančių ir išeinančių reaktyviosios galios srautų:

$$\Delta Q = Q_{in} + Q_{out} = -33 + 17,2 = -15,8 \text{ MW} \quad (21)$$

čia:  $Q_{in}$  ir  $Q_{out}$  – ateinantys ir išeinantys reaktyviosios galios srautai

Iš rezultatų matosi, jog į skirstyklą linijomis ateina mažiau aktyviosios galios negu reikia, bei daugiau reaktyviosios galios negu linijomis išeina. Aktyviosios galios trūkumas  $\Delta P$  paimamas per autotransformatorius iš 330 kV sistemos. Reaktyviosios galios perteklius  $\Delta Q$  per autotransformatorius taip pat atiduodamas į 330 kV sistemą.

## 2.5. Perspektyvinės apkrovos

Elektros energetikos sistemų apkrovos nuolat auga. Rekonstruojant pastotes būtina įvertinti ateities perspektyvas, kadangi per daug padidėjusios apkrovos gali sutrumpinti planuojamą įrenginių tarnavimo laiką.

Iš apskaitos duomenų matyti, jog apkrovos augimo sparta svyruoja apie 1%, tad priimu, jog metinis apkrovos padidėjimas yra 1%, o 2015 metų apkrova – 79,7 MVA. Sudarau dešimties metų perspektyvinį planą:

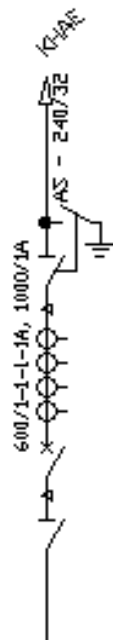
2.3 lentelė. Perspektyvinės apkrovos.

Metai	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Galia, MVA	79,7	80,5	81,3	82,1	82,9	83,8	84,6	85,4	86,3	87,2	88,0

## 2.6. 110 kV skirstyklos plano sudarymas

Rekonstruojant Kauno TP 110 kV skirstyklą pirminės komutacijos įrenginių vieta nesikeis. Esamą skirstyklos schemą sudaro keturios šynų sekcijos. Prie pirmosios šynų sekcijos Š1-110 prijungtos trys perdavimo linijos, autotransformatorius AT-1, įtampos transformatorius. Prie šynų sekcijos Š2-110 prijungtos trys perdavimo linijos, įtampos transformatorius, palikta vieta rezervinei linijai. Prie šynų sekcijos Š4-110 prijungtos dvi perdavimo linijos, autotransformatorius AT-2, įtampos transformatorius, palikta vieta rezervinei linijai. Prie šynų sekcijos Š3-110 prijungtos keturios perdavimo linijos, įtampos transformatorius, palikta vieta rezervinė vieta.

Visos keturios šynų sekcijos keturiais tarpšyviniais sekcijiniais jungtuvais sujungtos į žiedą, dėl to įmanomi įvairūs skirstyklos darbo režimai.

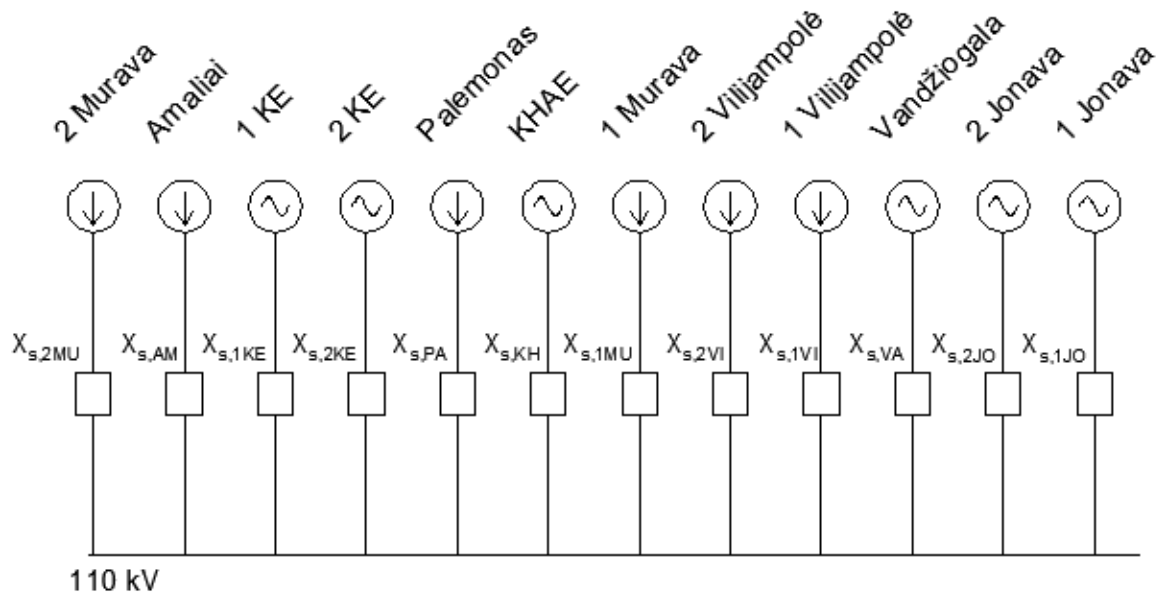


2.5 pav. Prie skirstyklos prijungta linija.

Kiekviena perdavimo linija prie šynų sekcijos jungiama per jungtuvą. Iš abiejų jungtuvo pusių yra skyrikliai. Prie jungtuvo yra srovės transformatorius. Prie abiejų skyriklių įrengtos vietos kilnojamiems įžemikliams prijungti. Visa skirstyklos schema ir planas, bei pjūviai pridedami priede.

## 2.7. Trumpųjų jungimų skaičiavimas

Trumpųjų jungimų skaičiavimas yra svarbi įrenginių parinkimo dalis. Dėl įvairių priežasčių tinkluose įvyksta trumpieji jungimai, kurių srovės yra daug didesnės lyginant su darbo srovėmis. Įrenginiai turi būti pajėgūs kurį laiką atlaikyti TJ sroves, kadangi avarijos vietos atjungimas nuo tinklo užtrunka. Atjungimo laikas susideda iš kelių dedamųjų – iš pradžių avariją aptinka relinė apsauga, tada ji siunčia komandą į jungtuvo pavarą. Priklausomai nuo apsaugų suderinimo, avarijos vietos, avarijos atjungimo trukmė gali būti nuo vienos dešimtosios iki poros sekundžių. Atjungimo laikas turi būti kuo mažesnis, nes dėl didžiulių TJ srovių įrenginiai pradeda kaisti, gali būti pažeidžiama izoliacija, arba įrenginiai nepataisomai sugadinami.



2.6 pav. Ekvivalentinė skaičiuojamoji schema.

Pagal šią schemą (2.6 pav. ) bus skaičiuojami trumpieji jungimai linijose. Skaičiavimai bus atliekami tik toms linijoms, kurių galuose yra generuojantys šaltiniai, kadangi jų įtaka suminei TJ srovei šnose didžiausia.

Skaičiavimai atliekami santykiniais vienetais:

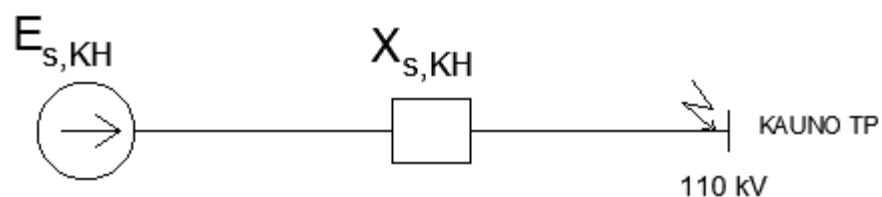
$$S_b = 100 \text{ MVA};$$

$$U_{b,min} = 109 \text{ kV};$$

$$U_{b,max} = 123 \text{ kV};$$

Skaičiavimai atliekami vienai pasirinktai linijai. Dalis skaičiavimuose naudojamų duomenų yra paimti iš Kauno TP 110 kV skirstyklos techninio projekto.

## KHAE



2.7 pav. Skaičiuojamoji schema.

Elektros sistema:

$$E_{SKH*} = I;$$

Maksimalaus režimo skaičiavimas:

$$X_{S,max*} = X_{SKH} \cdot \frac{S_b}{U_{b,max}^2} = 37,2 \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{(123 \cdot 10^3)^2} = 0,246; \quad (22)$$

$$I_{kKH,max*} = \frac{E_{SKH*}}{X_{S,max*}} = \frac{1}{0,246} = 4,06; \quad (23)$$

TJ srovė vardiniais vienetais:

$$I_{kKH,max} = I_{k,max*} \cdot \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_{b,max}} = 4,06 \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 123 \cdot 10^3} = 1906 \text{ A}; \quad (24)$$

Minimalaus režimo skaičiavimas:

$$X_{S,min*} = X_{SKH} \cdot \frac{S_b}{U_{b,min}^2} = 37,2 \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{(109 \cdot 10^3)^2} = 0,313; \quad (25)$$

$$I_{kKH,min*} = \frac{E_{SKH*}}{X_{S,min*}} = \frac{1}{0,313} = 3,19; \quad (26)$$

TJ srovė vardiniais vienetais:

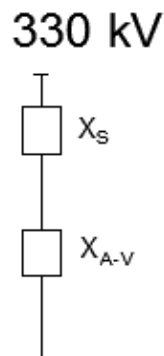
$$I_{kKH,min} = I_{k,min*} \cdot \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_{b,min}} = 3,19 \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 109 \cdot 10^3} = 1689 \text{ A}; \quad (27)$$

2.5 lentelė. TJ srovės linijose.

Linija	$I_{k,max}^3, A$	$I_{k,min}^3, A$
KHAE	1905	1689
1 KE	2930	2600
2 KE	6075	5383
Vandžiogala	1645	1377
Jonava 1	2505	2224
Jonava 2	2730	2420

## 2.8. Trumpojo jungimo srovės per autotransformatorių skaičiavimas

Įvykus trumpajam jungimui šynose, srovės į TJ vietą tekėtų ne tik prie skirstyklos prijungtomis linijomis, tačiau ir iš 330 kV sistemos per autotransformatorius. Tad norint žinoti kokia yra maksimali TJ srovė šynose, būtina apskaičiuoti sroves, atitekančias per AT.



2.8 pav. AT skaičiuojamoji schema.

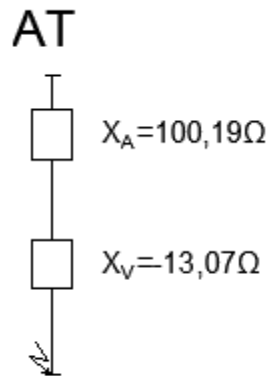
Skaičiavimuose panaudosiu duomenis gautus iš techninio projekto.

Apskaičiuoju 330 kV sistemos TJ srovę:

$$I_{kS} = \frac{U_{S330}}{\sqrt{3} \cdot X_{330}} = \frac{330 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 12,93} = 14\,735A; \quad (28)$$

čia:  $U_{S330}$  – 330 kV sistemos įtampa;

$X_{330}$  – sistemos varža paskaičiuota prie 330 kV;



2.9 pav. AT varžos.

Trumpo jungimo srovė per autotransformatorių 330 kV pusėje:

$$I_{k330} = \frac{U_{S330}}{\sqrt{3} \cdot X_{A-V}} = \frac{330 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 87,12} = 1904 \text{ A}; \quad (29)$$

Trumpojo jungimo srovė per autotransformatorių 110 kV pusėje:

$$I_{kAT} = I_{k330} \cdot \frac{330 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3} = 1904 \cdot \frac{330 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3} = 5712 \text{ A}; \quad (30)$$

Priimu, jog per abu autotransformatorius tekės tokio pat dydžio TJ srovės.

## 2.9. Smūgio srovės skaičiavimas

Smūgio srovė – didžiausia momentinė trumpo jungimo srovės reikšmė, kuri randama esant didžiausiai aperiodinės srovės dedamajai po 0,01s nuo TJ pradžios.

$$i_{sm} = k_{sm} \cdot I_k^3 \cdot \sqrt{2}; \quad (31)$$

čia:  $k_{sm}$  – smūgio koeficientas, priklausantis nuo aperiodinės dedamosios gesinimo pastoviosios;

$$k_{sm} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}; \quad (32)$$

$T_a$  – aperiodinės srovės laiko pastovioji. Šalia šynų nėra sinchroninių mašinų, tad priimu, jog  $T_a=0,05s$ .

Smūgio srovę apskaičiuosiu kiekvienai linijai, nes ji reikalinga įrenginių parinkimui. Skaičiuoju smūgio srovę linijoje iš KHAE:

$$k_{sm} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,05}} = 1 + 0,819 = 1,819; \quad (33)$$

$$i_{smKH} = k_{sm} \cdot I_{kKH}^3 \cdot \sqrt{2} = 1,819 \cdot 1905 \cdot \sqrt{2} = 4903A; \quad (34)$$

2.6. lentelė. Smūgio srovės linijose.

Linija	$I_{sm}, A$
KHAE	4903
1 KE	7537
2 KE	15 627
Vandžiogala	4232
Jonava 1	6444
Jonava 2	7023

## 2.10. Darbo srovės skaičiavimas

Įrenginių parinkimui taip pat svarbi maksimali darbo srovė.

$$i_d = \frac{S_L}{\sqrt{3} \cdot U}; \quad (35)$$

čia:  $S_L$  – didžiausia linijos apkrova;

$U$  – linijos įtampa;

Skaičiavimai atliekami su KHAE linija:

$$i_{dKH} = \frac{S_L}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{14,4 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 75,6A; \quad (36)$$

## 2.11. Šiluminio impulso skaičiavimas

$$B_k = I_k^{(3)2} \cdot (t_{atj} + T_a) \quad (37)$$

čia:  $t_{atj}$  – atjungimo laikas;

$T_a$  – laiko pastovioji;

$$B_{kKH} = 1,906^2 \cdot (0,3 + 0,2) = 1,82 \text{ kA}^2\text{s} \quad (38)$$

## 2.12. Skirstyklos elementų parinkimas

### 2.12.1. Komutavimo aparatų parinkimas

Jungtuvai tiek linijų narveliams, tiek sekcijiniams ir tarpšyniniams narveliams parenkami vienodi. Visi reikalingi skyrikliai taip pat bus vienodo tipo. Dėl to parametrai, naudojami parenkant įrenginius, bus imama didžiausi iš visų.

Darbo srovė didžiausia linijoje Vilijampolė 1 –  $i_d = 270 \text{ A}$ ;

Didžiausia TJ srovė linijoje KE 2 -  $I_{k,max}^3 = 6,075 \text{ kA}$ ;

Didžiausia smūgio srovė linijoje KE 2 –  $i_{sm} = 15,537 \text{ kA}$ ;

Didžiausias šiluminis impulsas linijoje KE 2 –  $B_k = 18,5 \text{ kA}^2\text{s}$ ;

Parenkami nauji dujiniai jungtuvai su spyruokline pavara (tipas – LTB 145 D1/B). Parenkami skyrikliai dviejų rūšių: tripoliai su įžeminimo peiliais iš vienos pusės ir variklinėmis pavaromis, bei tripoliai be įžeminimo peilių su variklinėmis pavaromis (tipas – NSA – 145/1600C). Abiems skyriklių rūšims naudojamos tos pačios parinkimo sąlygos.

2.7 lentelė. Jungtuvo ir skyriklio techniniai duomenys.

Tinkamumo sąlygos	Techniniai duomenys	
	Jungtuvas	Skyriklis
	LTB 145 D1/B	NSA – 145/1600C
$U_d \leq U_N$	$U_N = 145 \text{ kV}$	$U_N = 145 \text{ kV}$
$i_d \leq I_N$	$I_N = 3 \text{ 150 A}$	$I_N = 2 \text{ 000 A}$
$I_k \leq I_{atj}$	$I_{atj} = 40 \text{ kA}$	$I_{atj} = 40 \text{ kA}$

### 2.12.2. Matavimo transformatorių parinkimas

#### Srovės transformatoriaus parinkimas:

Visi srovės transformatoriai taip pat bus vienodi. Tipas – IMB 123.

$$U_{max} = 123 \text{ kV};$$

$$I_{N1} = 600 \text{ A};$$

$$I_{N2} = 1 \text{ A};$$

$$I_{k1} = 63 \text{ kA (viena sekundę)};$$

$$I_{k3} = 40 \text{ kA (tris sekundes)};$$

$$I_d = 160 \text{ kA};$$

Tikslumo klasė – 5P20

#### Srovės transformatoriaus tinkamumas:

Didžiausia tinklo įtampa:

$$U_{max, tinklo} \leq U_{max};$$

$$115 \text{ kV} \leq 123 \text{ kV};$$

Darbinė srovė:

$$i_d \leq I_{N1};$$

$$270 \text{ A} \leq 600 \text{ A};$$

Dinaminis atsparumas:

$$i_{sm} \leq I_d;$$

$$15,537 \text{ kA} \leq 160 \text{ kA};$$

Šimulinio impulso atsparumas:

$$B_k = 18,5 \text{ kA}^2\text{s} < B_k = I_{k1}^2 \cdot 1\text{s} = 18,5^2 \cdot 1 = 342,25 \text{ kA}^2\text{s}; \quad (39)$$

### **Įtampos transformatoriaus parinkimas:**

Visi srovės transformatoriai taip pat bus vienodi. Tipas – CPA - 123.

$$U_{max} = 123 \text{ kV};$$

$$U_{NI} = \frac{110\,000}{\sqrt{3}} \text{ kV};$$

$$U_{NII1} = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V};$$

$$U_{NII2} = 100 \text{ V};$$

Tikslumo klasė 3P

Vardinė galia – 100 VA

### **Įtampos transformatoriaus tinkamumas:**

$$U_{max,tinklo} \leq U_{max};$$

$$115 \text{ kV} \leq 123 \text{ kV};$$

### 2.12.3. Šynos

Skirstyklos šynos nekeičiamos. Priimamas sprendimas palikti senąsias aliuminio lydinio vamzdines šynas.

### 2.13. Apsaugos priemonių nuo viršįtampių parinkimas

Viršįtampių ribotuvai, saugantys įrenginius nuo pavojingų komutacinių ir atmosferinių viršįtampių, statomi prie kiekvienos šynų sekcijos ir prie jautriausio įrenginio – autotransformatoriaus. Parenku įrenginį – PEXLIMQ 108 – XH123. Įrenginio parametrai:

$$U_{max} \leq 123 \text{ kV};$$

$$U_N \leq 90 - 120 \text{ kV};$$

Izoliacinis atsparumas atitinka 1,2/50 $\mu$ s standartus.

### 2.14. Technologinių sąnaudų galios autotransformatoriuose nustatymas ir apkrautumo įvertinimas

Skaičiavimai atliekami AT – 1. Atlikus skaičiavimus bus matyti kokie yra autotransformatoriaus galios nuostoliai.

Tuščios veikos reaktyviosios galios nuostoliai:

$$Q_0 = S_N \cdot \frac{I_0, \%}{100} = 125 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,22}{100} = 275 \text{ kVar} \quad (40)$$

Reaktyviosios galios nuostoliai TJ metu:

$$Q_k = S_N \cdot \frac{u_k, \%}{100} = 125 \cdot 10^6 \cdot \frac{10,5}{100} = 13125 \text{ kVar} \quad (41)$$

Tuščios veikos aktyviosios galios nuostoliai, įvertinant aktyviosios galios nuostolius pačiame autotransformatoriuje, ir aktyviosios galios nuostolius, kuriuos sukelia reaktyvioji galia:

$$P_0 = P_0 + k_{ap} \cdot Q_0 = 58 + 0,05 \cdot 275 = 71,75 \text{ kW} \quad (42)$$

čia:  $k_{ap}$  – apkrovos pokyčios koeficientas, priimu – 0,05 kW/kVar.

Trumpojo jungimo aktyviosios galios nuostoliai, įvertinant aktyviosios galios nuostolius pačiame autotransformatoriuje, ir aktyviosios galios nuostolius, kuriuos sukelia reaktyvioji galia:

$$P_k^{\dot{}} = P_k + k_{ap} \cdot Q_k = 330 + 0,05 \cdot 13\,125 = 986,3 \text{ kW} \quad (43)$$

AT – 1 suminiai aktyviosios galios nuostoliai:

$$P_{AT1}^{\dot{}} = P_0^{\dot{}} + K_M^2 \cdot P_k^{\dot{}} = 71,75 + 0,54^2 \cdot 986,3 = 359,4 \text{ kW} \quad (44)$$

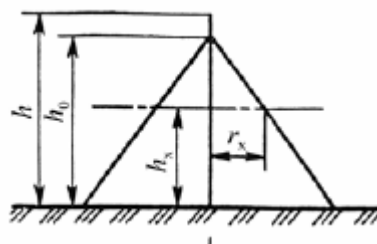
2.8 lentelė. Suminiai aktyviosios galios nuostoliai autotransformatoriuose.

	AT – 1	AT – 2
Aktyviosios galios nuostoliai, kW	359,4	419

### 2.15. Apsauga nuo tiesioginio žaibo smūgio

Žaibas yra vienas pavojingiausių atmosferinių reiškinių ne tik energetikos, bet ir visiems kitiems objektams. Elektros energetikos sistemose žaibo išlydžiai sukelia nepageidaujamus viršįtampius, triukšmus. Viršįtampiai labai pavojingi pastočių įrenginiams, o ypačingai – galios transformatoriams. Svarbu įrengti tinkamą apsaugą nuo žaibo, kadangi kitu atveju pasekmės gali brangiai kainuoti. Dvi pagrindinės apsaugos priemonės – žaibolaidis ir viršįtampių ribotuvas. Žaibo poveikis pastotėje gali būti jaučiamas net jeigu žaibas trenkia į perdavimo linijas. Nepaisant to, jog perdavimo linijos yra įžemintos, po žaibo smūgio fazių laidais teka stataus fronto viršįtampiai, kurie pasiekia pastotes. Kuo arčiau pastotės trenkia žaibas, tuo didesni viršįtampiai ją pasiekia.

Saugią zoną virš pastotės skaičiuoju 11 metrų aukštyje.



2.10 pav. Žaibolaidžio apsaugos zona.

Kūgio aukštis:

$$h_0 = 0,85 \cdot h; \quad (45)$$

čia:  $h$  – žaibolaidžio aukštis.

Saugi zona žemės paviršiuje:

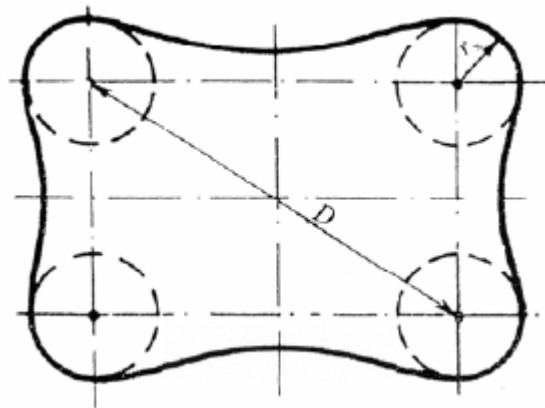
$$r_0 = 1,2 \cdot h; \quad (46)$$

Pasirenku, jog visi skirstykloje naudojami žaibolaidžiai bus 28,5m aukščio.

Saugios zonos spindulys 11 metrų aukštyje:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{34,2 \cdot (24,2 - 11)}{24,2} = 18,67m; \quad (47)$$

Dėl didelio skirstyklos ploto bus montuojami viso šeši žaibolaidžiai. Esant keliems žaibolaidžiams nedideliu atstumu vienas nuo kito, jų saugomos zonos susijungia.



2.11 pav. Daugiaslabių žaibolaidžių apsaugos zonos.

Daugiaslabių žaibolaidžių saugoma zona nustatoma kaip dviejų gretimų žaibolaidžių zona.

Turi būti tenkinama sąlyga:

$$D \leq 8h_a; \quad (48)$$

čia:  $h_a$  – aktyvusis žaibolaidžio aukštis.

$$h_a = h_0 - h_x = 28,5 - 11 = 17,5m; \quad (49)$$

$$D \leq 8 \cdot 17,5 = 140m;$$

Įstrižas atstumas tarp žaibolaidžių negali viršyti 140m. Ši sąlyga yra tenkinama, tad galima teigti, jog skirstykla nuo tiesioginio žaibo smūgio yra apsaugota tinkamai.

## 2.16. Įžeminimo įrenginio parinkimas

Įžeminimas yra svarbus ne tik žaibo smūgio, tačiau ir trumpųjų jungimų atvejais. Kiekvienas įrenginys turi turėti savo įžeminimo kontūrą, kuris būtų prijungtas prie bendrojo. Įrenginiai prie kontūro prijungiami bent dvejose vietose, o autotransformatoriai – keturiose. Apskaičiuotas reikiamas kiekis įžeminimo elektrodų bus išdėstyti prie skirstyklos tvoros.

2.9 lentelė. Pradiniai skaičiavimo duomenys.

Atstumas tarp elektrodų, $h$	14m
Reikiama elektrodų varža, $R_i$	0,5Ω
Vertikalaus elektrodo skersmuo, $d$	0,015m
Įgilinimas nuo žemės paviršiaus, $t$	0,7m
Grunto varža, $\rho$	60 Ω/m
Vertikalaus elektrodo ilgis, $l_{stryp}$	6m
Horizontalaus elektrodo ilgis, $l_{juost}$	580m
Horizontalaus elektrodo plotis, $b$	0,03m

Gauti rezultatai atlikus skaičiavimus:

Patikslinta horizontalaus elektrodo varža:  $R_h = 1,654 \Omega$ ;

Ekvivalentinė vertikalojo elektrodo varža:  $R_v = 0,717$ ;

Tikslus vertikalųjų elektrodų skaičius:  $n = 41 \text{ vnt.}$

Elektrodų skaičius gali būti tikslinamas įžeminimo įrenginio įrengimo metu. Skaičiavimai ir įžeminimo kontūro brėžinys pridedamas priede. Kiekvienas skirstyklos įrenginys turi savo

įžeminimo kontūrą, prie kurio jis prijungtas dvejose vietose. Autotransformatoriai prie kontūro prijungiami keturiose vietose. Kiekvieno įrenginio įžeminimo kontūras yra prijungtas prie pagrindinio įžeminimo kontūro, kuris sumontuotas skirstyklos perimetru.

Vietos, kuriose sumontuoti žaibolaidžiai, taip pat jungiamos į bendrą įžeminimo įrenginį, be to, kelių metrų atstumu, nuo žaibolaidžio prijungimo į įžeminimo įrenginį vietos, sumontuojami trys papildomi įžeminimo elektrodai. Kiekvienas iš elektrodų yra skirtinguose įžeminimo įrenginio dalyse, kad būtų užtikrintas kuo geresnis įžeminimas. Skaičiavimai pridedami prieduose.

### 3. SKIRSTYKLOS APŠVIETIMO ELEKTROS TINKLO PROJEKTAS

Pagal higienos normas (HN 98:2000), 110 kV skirstyklose darbinis apšvietimas turi būti 20 – 50 lx stiprio, leidžiantis atlikti būtiniausius darbus tamsiu paros metu. Skirstyklos apšvietimui naudojami halogeniniai išorinio apšvietimo prožektoriai. Prožektoriai sumontuoti ant portalų, maitinami iš skirstyklos valdymo punkte (PVP) esančių kintamos srovės baterijų.

Skirstyklos apšvietimui naudojami viso dvylika prožektorių. Jie sumontuojami keturiose vietose, kiekvienoje iš jų po tris vienetus. Halogeninės lempos – 1 000 W galingumo. Lempos maitinamos dvejais kabeliais, kiekvienas po šešias lempas.

Kabelio srovė:

$$I_{kabelio} = \frac{6 \cdot P_{lempos}}{U_{AC}} = \frac{6 \cdot 1000}{220} = 27,27A; \quad (50)$$

Kabelis turi atlaikyti ilgalaikę 27,27A srovę, parenkamas kabelis.

3.1 lentelė. Apšvietimo maitinimo kabelių parametrai.

Medžiaga	Skerspjūvis, $mm^2$	$I_{kabelio}$ , A	$I_{leistina}$ , A
<i>Cu</i>	4	27,27	38

Lempų montavimo vietos ir pajungimo schema pavaizduota skirstyklos plano brėžinyje, esančiame priede.

## 4. SKIRSTYKLOS EKONOMINIS ĮVERTINIMAS

### 4.1. Sąmatinis skaičiavimas

Norint padaryti projekto ekonominę analizę, visų pirma reikia suskaičiuoti kapitalines investicijas, reikalingas skirstyklos rekonstrukcijos projekto įgyvendinimui. Šios investicijos susideda iš naujų įrenginių, jų montavimo, išmontavimo, derinimo, statybos darbų kainų.

4.1 lentelė. Sąmatų lentelė.

Eil. nr.	Įrenginys, statybų darbai	Mato vnt.	Kiekis	Vnt. kaina, tūkst. Eur	Suma, tūkst. Eur
1	110 kV jungtuvas	3f. k-tas	18	19,2	345,6
2	110 kV tripolis skyriklis be įž. peilių	3f. k-tas	18	4,1	73,8
3	110 kV tripolis skyriklis su įž. peiliais	3f. k-tas	18	6,6	118,8
4	110 kV įtampos transformatorius	kompl.	12	4,7	56,4
5	110 kV srovės transformatorius	kompl.	54	4,8	259,2
6	110 kV viršįtampių ribotuvas	kompl.	18	2,0	36,0
7	110 kV atraminis izoliatorius	kompl.	150	0,23	34,5
8	Įrenginių montavimas ir derinimas	kompl.	1		86,1
9	Įžeminimo įrenginio įrengimas	kompl.	1		24,0
10	Skirstyklos apšvietimo įrengimas	kompl.	1		10,0
11	AC, DC skydai	kompl.	1		165,0
12	Relinė apsauga ir automatika	kompl.	1		440,0

13	Relinės apsaugos derinimas	kompl.	1		65,0
14	Teleinformacijos surinkimo įranga	kompl.	1		52,0
15	Statybų dalis	kompl.	1		1 223,0
	Viso				2 989,0

#### 4.2. Ekonominė analizė

Prieš įgyvendinant projektą reikia jį išanalizuoti ekonomiškai. Jei projekto kapitalinės investicijos per projekto gyvavimo laikotarpį neatsipirks, jo įgyvendinti ekonomiškai neverta.

Apskaičiuojant investicijų atsipirkimo laiką reikia įvertinti projekto įgyvendinimo kainą ir skirstyklos gaunamas pajamas už elektros energijos skirstymą. 2015 metų perdavimo paslaugos kaina – 0,65 Euro *ct/kWh*. Turint duomenis, kiek elektros energijos per metus prateka per skirstyklą, galima apskaičiuoti skirstyklos pajamas.

Perduotas elektros energijos kiekis per metus:

$$W_{sum,AT1} = 272\,470 \text{ MWh};$$

$$W_{sum,AT2} = 258\,840 \text{ MWh};$$

$$W_{sum} = W_{sum,AT1} + W_{sum,AT2} = 531\,310 \text{ MWh}; \quad (51)$$

Metinės pajamos:

$$R = W_{sum} \cdot c = 531\,310 \cdot 1000 \cdot 0,65 = 3,453 \text{ mln. Eur} \quad (52)$$

Investicijos į skirstyklos rekonstrukciją:

$$K = 2,989 \text{ mln. Eur};$$

Eksploatacinės išlaidos per metus:

$$C = C_a + C_{ap} + C_e; \quad (53)$$

čia:  $C_a$  – amortizacinės išlaidos (Eur);

$C_{ap}$  – aptarnavimo išlaidos (Eur);

$C_e$  – technologinės išlaidos (Eur).

Amortizacinės išlaidos:

$$C_a = k_a \cdot K; \quad (54)$$

čia:  $k_a$  – metinė nusidėvėjimo ir amortizacijos norma.

$$k_a = \frac{(K - K_L)}{T_a} \cdot \frac{1}{K} = \frac{(2,989 - 0,2989)}{30} \cdot \frac{1}{2,989} = 0,03 \quad (55)$$

čia:  $K_L$  – likvidacinė vertė ( $K_L = 0,1 \cdot K$ ).

$$C_a = 0,0897 \text{ mln. Eur};$$

Priimu, jog įrenginių aptarnavimo išlaidos yra tokio pat dydžio kaip ir amortizacinės išlaidos, t.y. 3%.

$$C = 0,1794 \text{ mln. Eur};$$

Iki mokestinis pelnas:

$$N = R - C = 3,453 - 0,1794 = 3,27 \text{ mln. Eur}; \quad (56)$$

Pelnas po mokesčių:

$$N_I = N - (N \cdot 0,15) = 3,27 - (3,27 \cdot 0,15) = 2,78 \text{ mln. Eur}; \quad (57)$$

Grynujų pinigų srautas:

$$CF_t = N_I + C = 2,78 + 0,1794 = 2,959 \text{ mln. Eur} \quad (58)$$

Projekto atsipirkimo laikas – laikas, per kurį gaunamos grynosios pajamos padengia investuotas, šiuo atveju į rekonstrukciją, lėšas. Kuo projektas greičiau atsiperka, tuo projektas pelningesnis. Projektas laikomas atsipirkusiu, kuomet pradinės investicijos susilygina su gautais pinigų srautais.

Įvertinant pinigų vertės kitimą bėgant laikui, kurį parodo diskonto norma  $k$ , pinigų srautai yra diskontuojami ir ieškomas balansas:

$$PV = \sum_{t=0}^{T_a} \frac{CF_t}{(1+k)^t} \quad (59)$$

4.2 lentelė. Projekto esamosios vertės kitimas.

Metai	$CF_t$ , tūkst. Eur	$PV$ , kai diskonto norma, tūkst. Eur.	
		10 %	5 %
0	-2 989	-2 989	2 989
1	2 959	-299	-170
2	2 959	2 445	2 514
3	2 959	4 668	5 070
4	2 959	6 689	7 504
5	2 959	8 526	9 822
6	2 959	10 196	12 030
7	2 959	11 714	14 133
8	2 959	13 094	16 136
9	2 959	14 349	18 043
10	2 959	15 490	19 860

Atsipirkimo laikotarpis – laikas, per kurį gautos pajamos padengia į projektą investuotus pinigus. Kad projektą įgyvendinti apsimokėtų, jo atsipirkimo trukmė turi būti mažesnė už objekto eksploataavimo trukmę. Iš lentelės duomenų matosi, jog skirstyklos projektas prie dviejų skirtingų diskonto normų atsiperka per mažiau nei porą metų, tad projektą įgyvendinti apsimoka.

### 4.3. Pagrindinių elektros įrenginių specifikacija

Lentelėje pateikiama specifikacijos lentelėje, kurioje yra visi įrenginiai, jų tipai, kiekis.

4.3 lentelė. Įrenginių specifikacijų lentelė.

Pavadinimas	Tipas	Mato vnt.	Kiekis
Autotransformatorius AT – 1	ATDCTN – 125 000/330/110-N1	Vnt.	1
Autotransformatorius AT – 2	ANER3E – 125 000/330	Vnt.	1
SF6 tripolis jungtuvas su spyruokline pavara	LTB 145 D1/B 145 kV, 2000 A, 40 kA	3f. kompl.	18
Tripolis skyriklis su įžeminimo peiliais iš vienos pusės ir variklinėmis pavaromis	NSA – 145/1600C 145 kV, 2000 A, 40 kA	3f. kompl.	18
Tripolis skyriklis su varikline pavara	NSA – 145/1600C 145 kV, 2000 A, 40 kA	3f. kompl.	18
Srovės transformatorius	IMB – 123, 600/1-1-1 A, 1000/1 A	kompl.	12
Srovės transformatorius	IMB – 123, 1000/1-1-1-1A	kompl.	6
Įtampos transformatorius	CPA – 123, $\frac{110\ 000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 100\ V$	kompl.	12
Viršįtampių ribotuvas	PEXLIMQ 108 – XH123	kompl.	18

## IŠVADOS

Šiame darbe atlikta Kauno TP 110 kV skirstyklos rekonstrukcija. Po projekto įgyvendinimo padidėja skirstyklos patikimumas, kadangi seni įrenginiai keičiami naujais. Projektuojant atlikti pagrindiniai uždaviniai:

- Įvertintos esamos skirstyklos charakteristikos.
- Įvertintos esamos ir perspektyvinės apkrovos. Atsižvelgus į perspektyvines apkrovas parinkta atitinkama įranga, kuri užtikrins patikimą elektros energijos tiekimą visu skirstyklos eksploatacijos laikotarpiu.
- Įvertinta autotransformatorių būklė. Atsižvelgus į apkrovų didėjimo prognozes, bei periodiškų autotransformatorių patikrų duomenis, nuspręsta juos palikti, kadangi visi svarbiausi parametrai yra normų ribose, o tai byloja apie gerą jų būklę.
- Apskaičiuoti avarinių režimų parametrai ir parinkti įrenginiai. Suskaičiuotos trumpojo jungimo srovės, pagal kurias parinkti narvelių įrenginiai.
- Suprojektuotas įžeminimo įrenginys, žaibosauga. Įvykus avarijai labai svarbu tinkamas įžeminimas. Paskaičiuotas reikiamas kiekis įžeminimo elektrodo, kurie užtikrins reikiamą įrenginio varžą. Taip pat suprojektuota žaibosauga, kuri taip pat prijungta prie bendro skirstyklos įžeminimo įrenginio.
- Ekonominė analizė. Suskaičiavus investicijas, įvertinus pinigų vertės pasikeitimą laike, nustatyta, jog į projektą investuotos lėšos atsipirks per mažiau nei du metus, tad projektas laikomas ekonomiškai sėkmingu.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. J. Baublys, P. Jankauskas, L. A. Markevičius, A. Morkvėnas. *Izoliacija ir viršįtampiai*. Kaunas, 2008. Technologija, 291-296 p.
2. G. Svinkūnas, A. Navickas. *Elektros energetikos pagrindai*. Kaunas, 2011. Technologija, 204 p.
3. V. Ažubalis, J. Kozyrna. *Trumpieji jungimai elektros sistemose*. Vilnius, 1986. 21 - 22 p.
4. R. P. Deksnys, R. Staniulis. *Elektrinių ir pastočių elektrinė dalis, kursinis projektavimas*. Kaunas, 2007. Technologija, 101 p.
5. R. P. Deksnys, K. Danilevičius, V. Miškinis, R. Staniulis. *Energetikos ekonomika*. Kaunas, 2007. Technologija, 59 p.
6. Nutarimas dėl elektros energijos perdavimo paslaugos kainų, tarifų ir jų taikymo tvarkos paskelbimo 2015m. Nuoroda internete:  
<http://www.litgrid.eu/index.php/paslaugos/elektros-perdavimas-lietuvoje/kainorastis/2015-metai/2584> , [žiūrėta 2015 – 05 – 02].
7. J. Šatas. *Įmonių elektros įrenginiai ir tinklai: teorija, projektavimas, pavyzdžiai*. Klaipėda, 2006. Klaipėdos universiteto leidykla, 76 - 78 p.

## PRIEDAI

### Priedas 1. Autotransformatorių tikrinimo duomenys

Atsižvelgus į vėliausius autotransformatorių tikrinimo duomenis, nuspręsta autotransformatorių nekeisti. Čia pateikiama izoliacinės alyvos chromatografinė analizė, izoliacinės alyvos kokybinių rodiklių nustatymas, bei įvadų izoliacijos varžų ir nuostolių kampo tikrinimas.

P1.1 lentelė. AT – 1 izoliacinės alyvos chromatografinė analizė.

Izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų pavadinimas	Nustatyta vertė, ppm	Leistinos ištirpusių dujų koncentracijos / vandens (drėgmės) kiekis, ppm ir įrenginio būklės gradacija			
		Geros būklės	Patenkinamos būklės	Blogos būklės	Labai blogos būklės
H <sub>2</sub> (vandenilis)	74,64	≤ 100	101 ÷ 700	701 ÷ 1800	> 1800
CH <sub>4</sub> (metanas)	17,78	≤ 100	101 ÷ 400	401 ÷ 1000	> 1000
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (etilenas)	2,56	≤ 60	61 ÷ 100	101 ÷ 200	> 200
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (etanas)	2,21	≤ 50	51 ÷ 100	101 ÷ 150	> 150
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (acetilenas)	0	≤ 10	11 ÷ 50	51 ÷ 80	> 80
CO (anglies oksidas)	648,52	≤ 500	501 ÷ 720	721 ÷ 1400	> 1400
CO <sub>2</sub> (anglies dioksidas)	1097,56	≤ 2000	2001 ÷ 4000	4001 ÷ 10 000	> 10 000
H <sub>2</sub> O (vanduo)	-	< 5	5 ÷ 10 (15)	> 10 (15)	-

P1.2 lentelė. AT – 1 izoliacinės alyvos kokybinių rodiklių nustatymas.

Kokybinis rodiklis	Nustatyta vertė			Leistinoji vertė	Nustatymo metodas
		Bakas			
Pramušimo įtampa, kV	-	75,1	-	≥ 45	LST EN 60156
Rūgštingumas, mg KOH/g	-	0,006	-	≤ 0,25	Kulonometrinis
Mechaninės priemonės	-	Nėra	-	-	vizualiai
Spalva	-	Skaidri	-	-	Vizualiai

Pliūpsnio temperatūra, °C	-	-	-	$\geq +125$	LST EN ISO 2719
Vandens kiekis, g/t	-	-	-	$\leq 25$	LST EN 60814
Dielektrinių nuostolių kampo tgδ, esant 90 °C	-	-	-	$\leq 10$	LST EN 60247

P1.3 lentelė. AT - 1 110 kV įvadų izoliacijos varžų ir dielektrinių nuostolių kampo tgδ verčių patikrinimas.

Įvadas fazės	Pagrindinės izoliacijos sluoksnio (C1) varža					Izoliacijos paskutinio sluoksnio (C3) varža					
	Matavimo tampa, kV	MΩ				Leist. reikšmė (R <sub>60</sub> )	Matavimo įtampa, kV	MΩ			
		R <sub>15</sub>	R <sub>60</sub>	R <sub>60</sub> /R <sub>15</sub>				R <sub>15</sub>	R <sub>60</sub>	R <sub>60</sub> /R <sub>15</sub>	Leist. reikšmė (R <sub>60</sub> )
A (1100 kV)	2,5	1 860 000	2 500 000	1,34	$\geq 3000/1000$	2,5	11400	23000	2,02	$\geq 3000/500$	
B(110 kV)		2 500 000	> 2 500 000	---			19400	21100	1,09		
C (110 kV)		2 370 000	2 500 000	1,05			60000	103000	1,72		
Įvadas fazės	Pagrindinės izoliacijos sluoksnio (C1) tgδ					Izoliacijos paskutinio sluoksnio (C3) tgδ					
	Matavimo tampa, kV	%				Leist. reikšmė	Matavimo įtampa, kV	%			
		C, pF	tgδ					C, pF	tgδ	Leist. reikšmė	
A (1100 kV)	10	251	0,256		$\leq 0,6/1,0$ (0,7/1,5)	2	11400	23000	2,02	$\leq 0,6/1,0$ (1,2/3,0)	
B(110 kV)		251	0,265				19400	21100	1,09		
C (110 kV)		251	0,267				60000	103000	1,72		

P1.4 lentelė. AT – 2 izoliacinės alyvos chromatografinė analizė.

Izoliacinėje alyvoje ištirusių dujų pavadinimas	Nustatyta vertė, ppm	Leistinos ištirusių dujų koncentracijos / vandens (drėgmės) kiekis, ppm ir įrenginio būklės gradacija			
		Geros būklės	Patenkinamos būklės	Blogos būklės	Labai blogos būklės
H <sub>2</sub> (vandenilis)	26,07	≤ 100	101 ÷ 700	701 ÷ 1800	> 1800
CH <sub>4</sub> (metanas)	18,37	≤ 100	101 ÷ 400	401 ÷ 1000	> 1000
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (etilenas)	7,53	≤ 60	61 ÷ 100	101 ÷ 200	> 200
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (etanas)	9,15	≤ 50	51 ÷ 100	101 ÷ 150	> 150
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (acetilenas)	0	≤ 10	11 ÷ 50	51 ÷ 80	> 80
CO (anglies oksidas)	113,67	≤ 500	501 ÷ 720	721 ÷ 1400	> 1400
CO <sub>2</sub> (anglies dioksidas)	724,47	≤ 2000	2001 ÷ 4000	4001 ÷ 10 000	> 10 000
H <sub>2</sub> O (vanduo)	-	< 5	5 ÷ 10 (15)	> 10 (15)	-

P1.5 lentelė. AT – 2 izoliacinės alyvos kokybinių rodiklių nustatymas.

Kokybinis rodiklis	Nustatyta vertė			Leistinoji vertė	Nustatymo metodas
		Bakas			
Pramušimo įtampa, kV	-	83,2	-	≥ 45	LST EN 60156
Rūgštingumas, mg KOH/g	-	0,008	-	≤ 0,25	Kulonometrinis
Mechaninės priemaišos	-	Nėra	-	-	vizualiai
Spalva	-	Skaidri	-	-	Vizualiai
Pliūpsnio temperatūra, °C	-	138	-	≥ +125	LST EN ISO 2719
Vandens kiekis, g/t	-	6,7	-	≤ 25	LST EN 60814
Dielektrinių nuostolių kampo tgδ, esant 90 °C	-	0,758	-	≤ 10	LST EN 60247

Priedas 2. Įžeminimo įrenginio skaičiavimas.

P2.1 lentelė. Pradiniai duomenys.

Atstumas tarp elektrodų, $h$	14m
Reikiama elektrodų varža, $R_i$	0,5Ω
Vertikalaus elektrodo skersmuo, $d$	0,015m
Įgilinimas nuo žemės paviršiaus, $t$	0,7m
Grunto varža, $\rho$	60 Ω/m
Vertikalaus elektrodo ilgis, $l_{stryp}$	6m
Horizontalaus elektrodo ilgis, $l_{juost}$	580m
Horizontalaus elektrodo plotis, $b$	0,03m

Vertikalaus elektrodo varža:

$$R_{v0} = \frac{\rho}{2\pi l_{stryp}} \cdot \ln\left(\frac{4l_{stryp}(2t + l_{stryp})}{d(4t + l_{stryp})}\right) = \frac{60}{2\pi \cdot 6} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 6(2 \cdot 0,7 + 6)}{0,015(4 \cdot 0,7 + 6)}\right) = \quad (60)$$

$$= 11,47\Omega$$

Pradinis elektrodų skaičius, priimamas pagal esamą situaciją:

$$n_{prad} = 45 \text{ vnt.}$$

Išnaudojimo koeficientas:

$$\eta_v = \frac{0,97625}{\sqrt[3]{n_{prad}}} + 0,07 \cdot \sqrt[8]{n_{prad}} = \frac{0,97625}{\sqrt[3]{45}} + 0,07 \cdot \sqrt[8]{45} = 0,387 \quad (61)$$

Preliminarus elektrodų skaičius:

$$n = \frac{R_{v0}}{\eta_v R_i} = \frac{11,47}{0,387 \cdot 0,5} = 59 \quad (62)$$

Horizontalaus elektrodo varža:

$$R_{zjuost} = \frac{\rho}{\pi l_{juost}} \cdot \ln \frac{1,5l_{juost}}{\sqrt{bt}} = \frac{60}{\pi 580} \cdot \ln \frac{1,5 \cdot 580}{\sqrt{0,03 \cdot 0,7}} = 0,286 \Omega \quad (63)$$

Išnaudojimo koeficientas horizontaliems elektrodams:

$$\eta_h = (a_1 + a_2 \cdot n + a_3 \cdot n^2) \cdot 1,03^a + (b_1 + b_2 \cdot n + b_3 \cdot n^2) \cdot a + (c_1 + c_2 \cdot n + c_3 \cdot n^2) \cdot a^2 = 0,1732 \quad (64)$$

Patikslinta horizontalaus elektrodo varža:

$$R_h = \frac{R_{zjuost}}{\eta_h} = \frac{0,286}{0,1732} = 1,654 \Omega \quad (65)$$

Ekvivalentinė vertikalojo elektrodo varža:

$$R_v = \frac{R_h R_i}{R_h - R_i} = \frac{1,654 \cdot 0,5}{1,654 - 0,5} = 0,717 \quad (66)$$

Tikslus vertikalių elektrodų skaičius:

$$n = \frac{R_{v0}}{\eta_v \cdot R_v} = \frac{11,47}{0,387 \cdot 0,717} = 41 \text{vnt} \quad (67)$$

Priedas 3. Grafinė dalis.