



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**Narva karjääri Narva-Lääne 35/6 kV alajaama
moderniseerimine koos allmaakombaini
kasutuselevõttuga**

**Modernisation of the Narva-Lääne 35/6 kV substation in the
Narva quarry with the introduction of an underground combine
face.**

EDJR16/17 Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimine
ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Oleg Ivanov

Üliõpilaskood: 193253

Juhendaja: Aleksei Hõbesaar,
Nooremlektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"...." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

"...." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"...." 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Oleg Ivanov (sünnikuupäev: 27.04.1977)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Narva karjääri Narva-Lääne 35/6 kV alajaama moderniseerimine koos allmaa kombaini kasutuselevõttuga“ mille juhendaja on Aleksei Hõbesaar,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Oleg Ivanov, 193253EDJR

Õppekava, peeriala: EDJR16/17 Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimine

Juhendaja(d): Nooremlektor, Aleksei Hõbesaar, aleksei.hobesaar@taltech.ee

Konsultant: Roman Panov, Elektriseadmed. EEJ jaoskonna juht

Enefit Power AS, +372 5636 7309, Roman.Panov@enefit.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Narva karjääri Narva-Lääne 35/6 kV alajaama moderniseerimine koos allmaakombaini kasutuselevõttuga.

(inglise keeles) Modernisation of the Narva-Lääne 35/6 kV substation in the Narva quarry with the introduction of an underground combine face.

Lõputöö põhieesmärgid:

- Vajalike alajaamade Narva-Lääne 35/6 kV muudatuste läbivaatamine ja põhjendamine.
- Analüüsida alajaama Narva-Lääne 35/6 kV elektrilisi parameetreid allmaakombaini võimsuste ühendamisel.
- Elektrialajaama põhiseadme arvutamine ja võimsuslülitite valik.

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|----|--|----------|
| 1. | Tehnilise kirjanduse valik ja uurimine | 30.11.22 |
| 2. | Analüüsida tulemusi ning teha järeldusi ja ettepanekuid moderniseerimiseks | 18.12.22 |
| 3. | Tulemuste töötlemine ja arvutuste tegemine | 12.02.23 |
| 4. | Töö esialgse projekti kirjutamine | 31.03.23 |
| 5. | Lõputöö vormistamine | 15.04.23 |

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "22" mai 2023a

Üliõpilane: Oleg Ivanov

/allkiri/

"22" mai 2023a

Juhendaja: Aleksei Hõbesaar

/allkiri/

"22" mai 2023a

Konsultant: Roman Panov

/allkiri/

"22" mai 2023a

Programmijuht: Veroonika Shirokova

/allkiri/

"22" mai 2023a

SISUKORD

| | |
|--|----|
| EESSÖNA | 7 |
| LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU | 8 |
| SISSEJUHATUS | 10 |
| 1. NARVA KARJÄÄRI ENERGIAVARUSTUS | 12 |
| 1.1 Alajaama «Narva-Lääne» ülesanne | 12 |
| 1.2 Kehtivad valitud tarbija pinge väärtused | 12 |
| 1.3 Narva karjääri energiavarustuse skeem | 12 |
| 1.4 Alajaama 35/6 kV "Narva-Lääne" energiavarustuse ja peamise jõuelektriseadmete skeem | 13 |
| 1.5 Kaevandustööde allmaosa elektrivarustuse tehniline skeem | 14 |
| 2 ALAJAAMA PLANEERIMINE | 17 |
| 2.1 Alajaama moderniseerimiseks montaažikoha planeerimine | 17 |
| 2.2 Alajaama arvestuslike koormuste määramine | 17 |
| 2.3 Alajaama skeemi valik ja põhjendus | 18 |
| 3 ALAJAAMA ELEKTRISEADMETE ARVUTUS JA VALIK | 20 |
| 3.1 Alajaama trafode valik | 20 |
| 3.1.1 Variandi 1 analüüs. Tehniline iseloomustus ТД 10000 35/6,3 | 20 |
| 3.1.2 Variandi 2 analüüs. Tehniline iseloomustus ТДHC-16000/35 У1 | 23 |
| 3.1.3 Analüüsi tulemuste hinnang ja trafo valiku põhjendamine | 24 |
| 3.2 Narva-Lääne omatarbe trafo valik | 25 |
| 3.3 Narva-Lääne toiteliini parameetrite määramine | 26 |
| 3.4 Võrgu lühisvoolude arvutamine | 27 |
| 3.5 Õhu- ja kaabelliinide juhtmete ristlõigete arvutamine | 31 |
| 3.6 Lattide valik | 31 |
| 3.7 Kõrgpinge võimsuslülitite valik | 32 |
| 3.8 Lahklüliti valik | 33 |
| 3.9 Jagamiseade 35 kV ja 6 kV | 33 |
| KOKKUVÕTE | 37 |
| SUMMARY | 38 |
| KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU | 39 |

EESSÕNA

Lõputöö teema „Narva karjääri Narva-Lääne 35/6 kV alajaama moderniseerimine koos allmaakombaini kasutuselevõttuga“ oli valitud Enefit Power AS-is praktika läbimise käigus energeetika valdkonna spetsialistidega toimunud arutelu tulemusena. Üheks energeetika valdkonna ees seisvaks väljakutseks on riigi kontserni kaevandusettevõtelt tõhusa tootmise otsimine. Antud väljakutsed nõuavad tehniliste ja organisatsiooniliste ressursside tagamist. Ennekõike parameetrite määratlemine trafo alajaama moderniseerimiseks elektrivarustuse jaoks.

Käesoleva lõputöö koostamise käigus konsulteeris autor Narva Karjääri ja Enefit Power AS-i Elektriseadmete osakonna spetsialistidega. Kõik antud töö jaoks vajalikud andmed olid reaalsed ja saadud Enefit Power AS-ilt. Materjalide ettevalmistamise käigus oli võimalus igakülgselt konsultatsioonideks ja ettevõtte elektrivarustuse objektidega tutvumiseks.

Autor avaldab tänu materjalide otsimisel ja ettevalmistamisel osutatud abi eest, samuti kannatlikkuse ja austava suhtumise eest Eesti Elektri jaama Elektriseadmed jaoskonna juhile Roman Panovile ja Primaarenergia peaenergeetikule Jevgeni Zazõkinile konsultatsioonide eest. Samuti avaldab autor tänu lõputöö juhendajale Aleksei Hõbesaarele, programmijuhile Veronika Shirokovale ja kõikidele TalTech Virumaa kolledži õppejõududele.

Märksõnad: Narva karjäär, alajaam, trafo, diplomitöö.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

DS 30- allmaa drenaažistrekki nr.30

ES 136 – Draglain, sammuekskavaator ja tehase number

EKG 92- Ühekopaga täiskäiguline elektriline ekskavaator roomikkäigul

ARS- automaatne reservi sisestamine

TM- trafo õliga

KJS- Komplektne jagamiseade.

ΣP_{arv} - Kõigi tarbijate aktiivvõimsuste summa

ΣQ_{arv} - Kõigi tarbijate reaktiivvõimsuste summa

S_{tarv} - Täisarvutusvõimsus

$U_{nom\ prim}$ - Primaar mähise nimipinge, kV

$U_{nom\ sek}$ -Sekundaar mähise nimipinge, kV

$S_{t\ nom}$ - Trafo nominaalne täisvõimsus. kV

ΔP_{tuh} - Trafo tühikäigu võimsuse kadu. kW

$\Delta P_{võim}$ - Lühise võimsuse kadu, kW

I_{tuh} %- tühikäiguvool, %

U_{tuh} %- Lühispinge, %.

K_k - Trafo koormustegur.

$k_{k\ s}$ - Kadude suurendamise tegur

ΔQ_{tuh} - trafo reaktiivvõimsus koormuseta, kVA.

ΔQ_{tuh} - reaktiivvõimsus, mida trafo tarbib passinimi koormusel, kVA.

$\Delta P'_{tuh}$ - Taandatud trafo tühivõimsuskadud, kW.

$\Delta P'_{võim}$ - Taandatud lühise võimsuskadused, kW.

T_{aasta} - töötundide arv aastas, tunnid

$\Delta P'_{trafo}$ - trafo võimsuskadu, kW

$\Delta \Xi'_{trafo}$ - trafo energiakadu, kW.

TДHC- Trafo õliga sundõhuringlusega. Pinge reguleerimine koormuse all.

TД- Trafo õliga sundõhuringlusega.

S_{tarv} - Trafo arvestuslik võimsus, kVA.

$k_{nõu}$ - nõudluse tegur.

Stomatarb- Omatarbe trafo arvestuslik võimsus.

I_{pikk} - Pidevalt lubatud koormusvool, A.

$I_{max arv}$ - Maksimaalne arvestuslik vool, A.

q_{maj} - Majanduslikult ratsionaalne juhti ristlõige, mm².

j_m - Majanduslik voolutihedus, A/mm²

R_0 - Liini eritakistus, Om/km.

X_0 - Liini reaktiiv eritakistus, Om/km.

ρ_{al} - Eritakistus alumiinimuijuht, Om mm²/km

$\Delta U, \%$ - Pingekadu, V.

$t_{\dot{U}}$ - Tingitud ühikud,

$X_{baas t}^*$ - Reaktiiv takistus taandatud baastingimustele.

$I_{lüh}$ - lühise vool, kA.

$I_{löök}$ - löökvool, kA.

S_{τ} - lühise võimsus kaitselülitite avamise ajal, MVA.

$I_{arv 35}$ - Arvestuslik vool 35 kV liinil, A.

$I_{arv max 35}$ - Ülekoormuse vool 35 kV liinil, A.

$I_{arv 6}$ - Arvestuslik vool 6 kV liinil, A.

$I_{arv max 6}$ - Ülekoormuse vool 6 kV liinil, A.

SISSEJUHATUS

Kirde-Eestis asuv tootmiskompleks Eesti Energia, arendab elektri- ja soojusenergia tootmise tehnoloogiaid ning kannab nime Enefit Power AS. Samal ajal ekspluateerib Enefit Power mitut Enefit seadmekompleksi, aga ka Auvere ja Eesti elektrijaama.

Kogu Enefit Power kompleksi üheks tooraineallikaks on põlevkivi. Strateegiline arengukava arvestab 2025. aastaks põlevkivi senise tarbimise vähendamist kuni 4,2 miljoni tonnini ja edasist ümberkujundamist kuni põlevkivist elektritootmisest täieliku loobumiseni ning üleminekut suletud ahelaga tootmisele. Isegi alternatiivsete tooraineallikate ilmnemisel jääb põlevkivi üheks peamiseks tooraineallikaks ning energiaallikast muutub see üha enam tooraineks keemiatööstuse valdkonnas.

Ettevõtte seisis silmitsi kõrge efektiivsusega tootmise leidmise küsimusega ning Eesti Energia poolt oli Narva karjääris allmaa koristustöö meetodi teel teostatud kaevandamistehnoloogia analüüs. Eeliseks on Narva karjääri geograafiline asukoht. Tooraineallikas asub 5 km kaugusel, mis võimaldab tagada tooraine tarbijani. Estonia Kaevandus asub tarbijast ca 40 km kaugusel ning kasutusel on keeruline logistika, millega kaasnevad täiendavad püsikulud. Teine oluline aspekt on geoloogilise põlevkivi kadude vähendamine. Kombainilaava tehnoloogia kasutamisel vähenevad need kaod 5%-ni. Olemasolev kaevandamistehnoloogia eeldab kadusid kuni 35% kaevanduses, Narva karjääril kuni 10%. Kolmas aspekt on keskkonnasõbralikkus. Maa-aluse laava ekspluateerimisel ei rikuta loodusmaastikku, ei kasutata sisepõlemismootoritega tehnikat ega kasutata lõhkeaineid. Neljas argument on ühine infrastruktuur tarbijaga.

Allmaakombaini tehnoloogia valik eeldab tehniliste ressursside tagamist. Elektrialajaamad mängivad kesksel rollil karjääri elektrivarustuse süsteemides. On vaja ette näha allmaa laava uute elektrivõimsuste integreerimist karjääri elektrivarustuse süsteemi. Nii peal- kui ka allmaa mäetööde töövõime tagamiseks on vajalik rakendada arvutusandmeid.

Käesoleva lõputöö eesmärk on uue tarbija elektrienergiaga varustamine olemasoleva alajaama Narva-Lääne 35/6 moderniseerimise teel.

Seatud eesmärgi saavutamiseks peab autor lahendama järgmisi küsimusi:

- Alajaama olemasoleva energiavarustuse ja seadmete analüüs;
- Teostada moderniseerimisel vajalike elektriseadmete arvestus;
- Ette valmistada alajaama moderniseerimisprojekti elektriskeemid;

Valmis lõputöö koosneb kolmest osast. Esimene osa koosneb sissejuhatusest, teises osas kirjeldatakse olemasoleva elektrivarustuse süsteemi ning kolmas põhiosa on

pühendatud arvutustele ja seadmete valikule. Samuti on esitatud moderniseerimise tulemuse järelused.

1. NARVA KARJÄÄRI ENERGIAVARUSTUS

Antud peatükis käsitletakse olemasolevat elektrivarustussüsteemi. Skeemi uuritakse allikast kuni Narva karjääri alajaamadeni. Karjääri alajaamad varustavad erinevaid mäemehhanisme. Olemasoleva skeemi analüüs on vajalik edasise hindamise ja moderniseerimise planeerimise esmaste andmete saamiseks.

1.1 Alajaama «Narva-Lääne» ülesanne

Elektrialajaam "Narva-Lääne" 35/6 kV on pinget madaldav alajaam, mis asub karjääri mäeeraldise tsoonis Sirgala karjääri osas. Esineb sisemise energiavarustuse osana. Sellest toidetakse kaevandusseadmeid ja tranšee № 7, 8, 9 agregate ja samuti viidatud tranšeede pumbajaamu.

Tabel 1.1 Narva-Lääne alajaama tarbijad

| Jrk. nr. | Fiider | Tarbijad |
|----------|--------|---|
| 1 | F678 | DS 30 (Pumbad H- 1, H- 2, H- 3) |
| 2 | F677 | Montaažiplats, kaldšaht DS 30, DS 5 (Pumbad H- 1, H- 2), DS 12 bis (Pumbad H- 1, H- 2, H- 3, H- 4, H- 5), Ümberpumbajaam DS 12 bis (H- 1, H- 2). |
| 3 | F675 | Haruliinid tranšees nr 8, 9 |
| 4 | F671 | ES 136, EKG 92, olemas üenduse võimalus (LR14) Kirjaku alajaamaga |

1.2 Kehtivad valitud tarbija pinge väärtused

Kaevandustööde energiavarustuse jaoks kasutatakse kolmefaasilist vahelduvvoolu, pingega 6 kV, tööstuslikku sagedusega 50 Hz. Pinge suurendamisega vähenevad elektrikaod, mistõttu elektrijaamade generaatorite pinget suurendatakse, mis on tingitud tarbijani viivate elektriliinide pikkusest. Karjääri tarbijatel antud pinget väheneb 35/6 kV sisealajaamade pinget madaldav trafo abil. Pinge väärtuse valik teostatakse, kasutades erinevate pingetega skeemivariantide tehnilis-majanduslikku võrdlust. Tavaliselt kaalutakse 2-3 võimalust kapitalikulude, iga-aastaste ekspluateerimiskulude ja kogukulude määratlusega. Eelistatakse kõrgema pingega võrke. Tänapäeval, olenemata karjääri välisest elektrivarustuse tingimustest, on peamiseks pingeks karjääriahelas 6 kV. Karjääri põhitarbijad on draglainid № 63, 74, 1, 29, 136, 46 võimsusega 4x2350kW; 1x2850kW, maksimaalne tarbimine 1 tunni kohta 4x1000kW, töö ajal varieeruvad voolud vahemikus 20A - 400A/1-5 sek. Veepumbad võimsusega: maksimaalne kogus töö ajal 4x250 kW.

1.3 Narva karjääri energiavarustuse skeem

Karjääri standardne püsiv elektertoide skeem toimub vahetult Eesti elektrijaama 8 plokist või alajaamast Viru-330 kV (Elering) (vt Lisa 1) läbi transformatori 38T võimsusega 40MVA, millel on kolm mähist: KP 38,5 kV, KP 15,75 kV, MP 6,3 kV (vt Lisa

2). Antud trafo oli moderniseeritud Enefit Karjäär alajaama 35kV toiteks. Kust omakorda jõuab elektertoide Narva karjääri territooriumile, läbi Enefit Karjääri alajaama 35kV fiider L82 lahtri 3503 ja fiider L84 lahtri 3504 (vt Lisa 1). Enefit Karjäärist 35kV saavad omakorda toite karjääri alajaamad Narva 35/6kV: Lääne 35/6; Narva-Männiku 35/6; Kirjaku 35/6; Sirgala- Lääne 35/6; Sirgala- Põhja 35/6; Energia 35/6.

Narva karjääri territooriumi varuelektriliin toidetakse 110kV alajaamast (Elering), transformaator C1T (16MBA) kaudu (vt Lisa 1). Antud trafo oli enne trafo 38T moderniseerimist Narva karjääri alajaamade töötoiteallika staatuses. Narva karjääri alajaamade töö- ja varutoite vahel tehti ARS-skeem (vt Lisa 1).

1.4 Alajaama 35/6 kV "Narva-Lääne" energiavarustuse ja peamise jõuelektriseadmete skeem

35/6 kV Narva-Lääne alajaama normaalne töötav elektritoide Narva-Männiku alajaamast on elektriliini L83 35 kV kaudu. Narva-Lääne alajaama varutoide tagatakse 35/6 kV Energia alajaamast, remonditööde või rikke korral Narva-Männiku alajaamast (vt Lisa 3).

Narva-Lääne peamine jõuelektriseade koosneb (vt Lisa 4):

- Välispaigalduse horisontaalse pöörleva tüüpi lahkülititest 35 kV: PHД-35;
- Võimsuslülititest 35 kV tüüp: C-35 M 630 10 ajamiga ПП-67;
- Maanduslahklülititest 35, mis on paigaldatud PHД-35-le ja on nende komplektne osa;
- Liigpinge piirajad ОПНп-35/40,5/10/500;
- Omatarbe trafo TM 100-35/0,23, kolme faasiline õliga;
- Peamine trafo 35/6 kV TM-6300 6300кВА, kolme faasiline õliga;
- TM-6300 trafodes on ette nähtud pinge 5-astmeline reguleerimine reguleerimisvahemikuga $\pm 2 \times 2,5\%$ nominaalsest. Kolmefaasilise trafo lülitamine teisele vahemikule toimub käsitsi väljalülitatud olekus (vt Lisa 5);
- Jaotusseade 6 kV KJSn tüüpi;
6 kV alajaama Narva-Lääne omatarbe jaotusseadmed on valmistatud komplektseteks (KJS) ühe kogumislattide süsteemiga ja kujutab endast Moskva tehase „Elektrikilp“ üksikute kappide K-XII seeria komplekti koos nendesse sisseehitatud võimsuslülite, voolu- ja pinge trafode, mõõtmisseadme ja releekaitse ning abiseadmetega, mis on vastavalt täitmise elektriskeemile ühendatud ühtseks struktuuriks.
- Vaakumvõimsuslülid BB/TEL (edaspidi võimsuslülid) on ette nähtud töötamiseks KJS-s ja statsionaarse hoolduse kambris ligipääsuga ühelt poolt (KCO) sise- ja välispaigalduse pingeklassiga kuni 10 kV kolmefaasilise vahelduvvooluga 50 Hz süsteemidele, millel on isoleeritud või maandatud neutraal. Juhtmoodulitena kasutati moodulid CM/TEL-100/220-12 ja BU/TEL-220. Lülitite juhtahelate

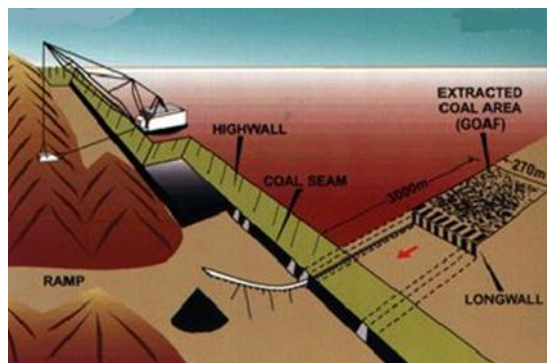
operatiivvoolu tagatakse automaatitega, mis on paigaldatud lahtrite releeosades.

- Lati- ja liinilahklülitite rolli KJS-is täidavad nugakontakti-tüüpi primaarahelate lahti ühendavad kontaktid, mille liikumatu osa on paigaldatud kapi korpusel, aga liikuv osa – kärul. Kaabli ruumis asuvad alumised liikumatud kontaktid, mida paigaldatakse voolutrafode või voolutrafode asemele paigaldatud tugiisolaatorite külge; võimsuskaablid või kaablisõlmed, mille latistus võib viia kõrvalkappi, voolutrafod ja maaühenduse kaitse.

Jaotusseadmetest toidetakse tranšeed N^o7 ja N^o8 (Tranšeedes on haru otsas paigaldatud JAKNO 10U1 reeglina kaks iga haru kohta, et oleks võimalus ühendada korraga kaks kaevandusmasinat, EŠ и EKG harul). Pumbajaam N^o 12bis ja N^o30. Pumbajaam N^o 12bis, kus on paigaldatud kolm arteesia pumpa, mille mark on 24A-18x1, kaks pumpa, mille mark on DRENAAZIPUMP TURBOSAN DAC-Y 250/400 F. Pumbajaam N^o30 on paigaldatud kolm pumpa SUKELPUMP WILO DCH 980 P+M156.

1.5 Kaevandustööde allmaosa elektrivarustuse tehniline skeem

Toide baaspingega 6 kV koristuskombaini allmaakompleksile peab olema tagatud jaotusseadmetest 6 kV sektsioonide IS (töotoide), IIS (varutoide) (vt Lisa 6) kahe kaabelliini kaudu – W1 ja W2 14 [1].



Joonis 1.1 Pealmaa ja allmaa mäetööde ühitamise eskiis

Iga liin hakkab koosnema kolmest koaksiaalsest kaablist, ühesoonelistest vasest võimsuskaablitest pingega 6/10 kV polüetüleenist isolatsiooniga, vasest tagastusjuhust, kontsentrisest ekraanist ja polüvinüülkloriid isolatsioonist. Kaablid peavad olema paigaldatud kaeveõõne põhjas, süvendiga mitte vähem kui 80 cm [1].

Liinide W1 ja W2 valik toimub nende koosreserveerimise võimaluse tagamisega, et ühe liini rikke korral oleks võimalik tagada kogu kompleksi toide teise liini kaudu, mida viiakse reservist välja tööolekusse [1].

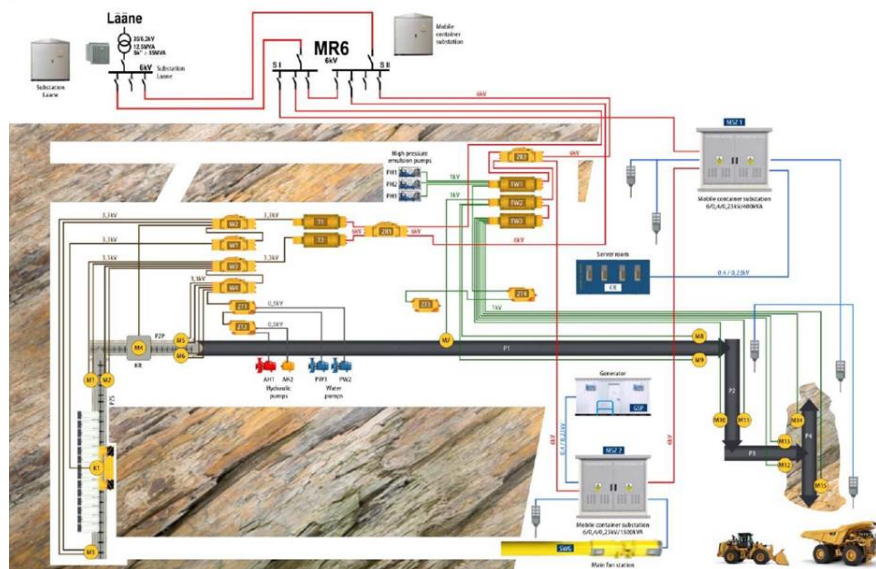
Toite etteanne jaotusseadmest pingega 6 kV peab toimuma kaabelliinidega järgmistele objektidele:

- mobiilne alajaam 6/0,4/0,23 kV/400kVA;
- mobiilne plokialajaam 6/0,4/0,23 kV/1500 kVA;
- kuiv trafo T1 и T2 6/3,3/2600 kVA;
- võimsuslülitid TW, TW2 и TW3 6/1/1000 kVA.

6 kV pingega kaablid, mis toidavad loetletud seadmeid, viiakse jaotusseadmest kaablistakaadi/ülemineku kaudu mööda tranšee külge kuni laavade ventilatsioonistollide suudmeni. Lisaks eeltoodule kaabelestakaadi/üleminekut hakatakse kasutama magistraalvalguse sideliini ja kommutatsiooni jaoks, samuti visualiseerimiseks/jälgimiseks, kontaktivaba sideks, telefonideks, aga ka personali positsioneerimise süsteemi elementideks [2].

Tulenevalt vajadusest varustada peaventilaatori jaama katkematu toidet, tuleb mobiilset alajaama varustada 6 kV pingega kahe 6 kV kaabelliini kaudu. Lisaks mobiilse alajaama võimsuse täieliku katkemise korral käivitub automaatselt ette nähtud diiselenegiageneraator, millel on sise põlemismootorist tulenev ajam peaventilaatorite ja juhtruumi toite tagamiseks kuni energiavarustamise taastamiseni [1].

Selline toitesüsteem tagab allmaamäetööde ja operatiivpersonali elu toetavate süsteemide ohutuse.



Joonis 1.2 Kaevandustööde maa-aluse osa elektrivarustuse tehniline skeem

Eeldame, et maa-aluse osa toide toimub lähimast punktist Narva-Lääne alajaamast, mis arvestab edasiste mäetööde arenguplaaniga [2]. Antud ülesannet arvestades on vajalik läbi viia Narva-Lääne alajaama moderniseerimine. On vajalik kalkuleerida trafo

võimsused tarbijate võimsuse suurenemisel. Tuvastada selle uus elektriskeem. Selle rekonstruktsioon on aktuaalne selle tõttu, et seadmete kogum on tehniliselt ja moraalselt vananenud ja nõuab kaasajastamist. See peab tagama kõrget tarbijate energiavarustuse kindlust ja edasiantava elektrienergia kvaliteeti. Selle jaoks on vajalik optimeerida selle tehnilised parameetrid eesmärgiga suurendada stabiilsust ja töökindlust, ja samuti seadmete ühendamist, et lihtsustada selle hooldust ja remonti töö- ja arendustegevuse ajal.

2 ALAJAAMA PLANEERIMINE

Antud peatükis kirjeldatakse alajaama moderniseerimise põhialuseid ja tehnilisi nõudeid. Need nõuded tulenevad koormusvõimsustest. Esitatud Narva Lääne 35/6 kV plaanitava alajaama põhimõtteline skeem.

2.1 Alajaama moderniseerimiseks montaažikoha planeerimine

Moderniseeritava alajaama geograafiline asukoht on mäetööde vahetus läheduses [2]. Siiski ei eeldata alajaama aluspinnase kaevtööd ja samuti kasutatava tehnoloogia korral konstruktsiooni terviklikkuse rikkumise riskide puudumist. Sellised nagu vibratsioon, kivimitükid lõhkamistöde teostamise ajal või kivimikihtide horisontaalsed nihked külgneva maa-aluse ruumi kaevetööde tagajärjel.

Antud alajaama tööd ei ole võimalik peatada, kuna see esineb kogu Narva karjääri elektrivarustuse süsteemi tööelemendina. Lisaks eeldab juba olemasolevate Narva-Lääne tarbijate õhuliinide ja kaabeltrasside üleviimine täiendavaid kulusid.

Ülaltoodud tegureid arvestades, on olemasoleva geograafilise asukoha põhjal moderniseerimise variant optimaalne. Üleviimise varianti antud juhul ei vaadelda.

2.2 Alajaama arvestuslike koormuste määramine

Narva-Lääne 35/6 kV alajaama arvestuslikud koormused sisaldavad nii olemasolevat tarbimist kui ka maa-aluse kombainilaava tarbimise paigaldust.

Kombainilaava elektrivarustuse kompleksi kuuluvad kombaini elektrimootorid, laavakonveier, õlijaamade ja niisutusjaama pumbad, ee-esised transpordiseadmed kivimassi transportimiseks; juhtimispunktid ja täiendavad elektriseadmed: laava valgustus; signalisatsiooni- ja sideseadmed [2]. Tarbijate andmed on esitatud Tabelis 2.1. Kombainilaava energiatarbijate täielik loetelu [2]. on esitatud lisa 7.

Suurim võimsus 11 743 kW ning seda väärtust kasutame edasistes arvutustes.

Tabel 2.1 Narva-Lääne 35/6 kV elektritarbijate võimsus

| Elektritarbijate nimed (kehtiv) | k' | cos f | tn f | Σ Pnom, kW | Arvestuslik võimsus | |
|---|------|-------|-------|------------|---------------------|-----------------------|
| | | | | | Parv=Σ Pnom*k', kW | Qarv=Σ Pnom*tn f, kVA |
| Draglain ES 15/90 (tr 7, 8, 9) | 0,49 | 0,85 | -0,75 | 7050 | 3455 | -2591 |
| Trafo ES15/90 (tr 7, 8, 9) | 0,49 | 0,49 | 1 | 1140 | 559 | 559 |
| Ekskavaator EKG-4,6 (tr 7, 8, 9) | 0,49 | 0,91 | 0,46 | 750 | 368 | 169 |
| Trafo EKG-4,6 (tr7, 8, 9) | 0,7 | 0,7 | 1 | 60 | 42 | 42 |
| Pumbajaam 12bis | 0,8 | 0,82 | 0,7 | 1550 | 1240 | 868 |
| Pumbajaam DS30 | 0,8 | 0,82 | 0,7 | 945 | 756 | 529 |
| Elektritarbijate nimed (instaleerimine) | | | | | | |
| Mehaniseeritud kombainilaava | 0,85 | 0,92 | 0,4 | 4062 | 3453 | 1381 |
| Kogumisstolli suue | 0,8 | 0,86 | 0,4 | 2126 | 1701 | 680 |
| Ümberlaadimissõlm | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 701 | 561 | 224 |
| Muu | 0,8 | 1 | 0,7 | 213 | 170 | 119 |
| | | | | Σ 18597 | 11743 | 1981 |

2.3 Alajaama skeemi valik ja põhjendus

Narva-Lääne elektrialajaama skeemi valime ettevõtte üldise elektrivarustuse skeemi ja karjääri elektrisüsteemi arendusskeemi alusel, mis arvestab mäetööde arendusprogrammi [2]. Siiski peab see vastama järgmistele nõuetele [3]:

- tagama alajaama tarbijate elektrivarustuse töökindlust vastavalt elektritarbijate kategooriatele ja võimsuse voolu ülemineku normaalses ja avariijärgses režiimis;
- arvestama alajaama arendusperspektiivi;
- lubama etapilist laienemise võimalust;
- tagama remondi- ja eksploatatsioonitööde teostamise võimaluse skeemi erinevatel elementidel ilma külgnevate ühenduste lahti ühendamata.

Narva-Lääne alajaamal peab olema ühtne skeem, mis arvestab ettevõtte kui terviku elektrivarustuse organiseerimist ja korraldust. Selleks, et vältida seadmete eksklusiivsust ja võtta arvesse modifikatsiooni rida selle kasutamise ja remondi hõlbustamiseks.

Narva Lääne alajaamas teostatakse pingele langetamist alates 35 kV kuni 6 kV.

KJS 35 kV elektriga varustamine toimub kaheaheelise õhukaabel elektriliini kaudu.

Skeemiga on ette nähtud jõutrafoode paigaldamine pingele regulatsiooniga. Omatarbe tarbijate toide teostatakse kuni sisendi võimsuslülitini jõutrafoost. Omatarbe trafode liigpingest kaitseks on ette nähtud ventiilide paigaldamine.

Jõutrafoodest sisendite ahelates JS-6 kV-s ja 6 kV väljaminevate liinide ahelates kasutatakse GIS-tüüpi vaakumvõimsuslüliteid.

Skeem tagab ühendatud tarbijate kindalt toidet, võimsuse transiidi kindlust läbi alajaama normaalses, remondi-, ja avariijärgsetes tingimustes. Skeem on lihtne, näitlik, võimaldab alajaama järkjärgulist laiendamist, tagab võimaluse viia võimsuslülitiid remonti.

Energia jaotamiseks 6 kV õhuliinide ja allmaa seadmete kaabelliinide kaudu kasutatakse peamiselt magistraalskeemi [1]. Magistraalsüsteem oli valitud mitmel põhjusel: elektrienergia tarbijad asuvad ühes suunas. Magistraalsüsteemil ei ole puuduseid võrreldes radiaalsüsteemiga, kuid antud olukorras kasutatakse seda süsteemi süstemaatiliselt karjääri energiavarustuse organiseerimisel [3].

Narva-Lääne 35/6 kV planeeritava alajaama printsiipaalne skeem on välja töötatud ja toodud lisa 6.

Narva-Lääne 35/6 kV alajaama parameetrid [2]:

- alajaama skeem kahe trafoga, sõlmtüüpi, poolitatud võimsuslülitiga;

- voolu liik – vahelduv, kolmefaasiline, tööstussagedusega 50 Hz;
- pinge kõrgel poolel – 35 kV;
- pinge madalal poolel – 6 kV;
- võimsustrafo kogus – 2 x 35/6 kV;
- omatarbe trafo (TCH) – 6/0,4/0,23 kV;
- jaotusseade 6 kV – plokitüüpi, sisse paigaldusega, mis koosneb KJSn-tüüpi kappidest;
- väljuvate 6 kV liinide arv– õhuliin 6, kaabelliin 2;
- operatiivvool – vahelduv, 0,23 kV.

3 ALAJAAMA ELEKTRISEADMETE ARVUTUS JA VALIK

Antud peatükis esitatakse alajaama transformaatori valiku analüüs. On tehtud alajaama võrgu tehniliste parameetrite arvutused ning valitud põhiline elektriseadmete varustus.

3.1 Alajaama trafode valik

Kaevandusseadmete toiteallikaks oleva moderniseeritava Narva-Lääne alajaama võimsuse määramise osas tuleb arvestada, et see esineb ka veekõrvalduse, ventilatsioonisüsteemi ja muude elu toetavate süsteemide organiseerimise elektritoitena.

Antud tarbijad tuleb omistada esimene kategooria energiavarustusele. Sellest lähtuvalt planeerime skeemi vähemalt kahe trafoga. Eesmärgiks on tagada võimsuse reserveerimine, ühe väljalülitamisel peab töös allesjäänud olema võimeline katkematult realiseerima tarbijate energiavarustuse [3].

Arvutuse andmed on toodud tabelis 2.1. Valime elektritarbijate maksimaalse samaaegse tarbitava võimsuse väärtuse 11 743 kW.

$$\sum P_{arv} = 11\,743 \text{ kW}$$

$$\sum Q_{arv} = 4\,095 \text{ kV}$$

Täisarvutusvõimsus määratakse järgmise valemiga [3].

$$Starv = \sqrt{\sum P_{arv}^2 + \sum Q_{arv}^2} = \sqrt{11\,743^2 + 4\,095^2} = 12\,437 \text{ kVA} \quad (1)$$

Eeltoodud vajalikest tingimustest tulenevalt alajaama rekonstrueerimisel lähtume järgmistest nõuetest. Jaotame võimsuse trafode vahel lähtudes tingimustest, et iga trafo töötaks 70% arvestuslikust võimsusest. See on omakorda määratud sellega, et trafod võivad mõnda aega töötada 40% ülekoormuse juures. See tähendab, et ühe trafo skeemist väljaviimisel, töötab teine trafo lühiajalisel koormusel, mis ulatub 140%-ni oma nominaalvõimsusest [3]. Sellega me tagame katkematu elektrivarustuse.

Meie konkreetsel juhul leiame valemi järgi [4]:

$$0,75 \cdot Starv = 0,75 \cdot 12\,437 = 9\,327,75 \text{ kVA} \quad (2)$$

Andmetest lähtuvalt vaatleme kaks võimalikku varianti TM-10000/35 и ТДHC-16000/35 Y1, mis on kõige lähedasemad alajaama Narva Lääne 35/6 kV tarbijate summaarsele arvestuslikule võimsusele.

3.1.1 Variandi 1 analüüs. Tehnilised näitajad ТД 10000 35/6,3

Tehnilised näitajad ТД 10000 35/6,3 on [4]:

$$U_{nom\ prim} = 35 \text{ kV- primaarmähise nimipinge;}$$

$$U_{nom\ sek} = 6 \text{ kV- sekundaarmähise nimipinge;}$$

$S_{t\ nom} = 10\ 000\ \text{kV-}$ trafo nominaalne täisvõimsus;

$\Delta P_{tuh} = 19,6\ \text{kW-}$ trafo tühikäigu võimsuse kaod;

$\Delta P_{võim} = 65\ \text{kW-}$ lühise võimsuse kaod;

$I_{tuh}\ \% = 3\%$ - tühikäiguvool;

$U_{lüh}\ \% = 7,5\%$ - lühispinge.

Arvutuse teostamisel lähtume varasemalt valitud kahe trafo nõudest.



Joonis 3.1 Trafo ТД 10000 35/6,3

Ühe trafo väljalülitamisel, tagab teine karjääri oluliste koormuste toite reserveerimise .

$$\frac{S_{t\ nom} \cdot 100}{S_{tarv}} = \frac{10\ 000 \cdot 100}{12\ 437} = 80,4\ \% \quad [4] \quad (3)$$

Trafo koormustegur nominaalses režiimis:

$$K_k = \frac{S_{tarv}}{2 \cdot S_{t\ nom}} = \frac{12\ 437}{20\ 000} = 0,62 \quad [4]: \quad (4)$$

Määrame võimsuskaod trafodes ТД 10000 35/6,3

$$\Delta Q_{tuh} = S_{t\ nom} \cdot \frac{I_{tuh}}{100} = 10\ 000 \cdot \frac{3}{100} = 300\ \text{kVA} \quad [4] \quad (5)$$

$$\Delta Q_{lüh} = S_{t\ nom} \cdot \frac{U_{lüh}\ \%}{100} = 10\ 000 \cdot \frac{7,5}{100} = 750\ \text{kVA} \quad [4] \quad (6)$$

$$\Delta P'_{tuh} = \Delta P_{tuh} + k_{ks} \cdot \Delta Q_{tuh} = 19,6 + 0,02 \cdot 300 = 25,6\ \text{kW} \quad [4] \quad (7)$$

$$\Delta P'_{võim} = \Delta P_{võim} + k_{ks} \cdot \Delta Q_{lüh} = 65 + 0,02 \cdot 750 = 80\ \text{kW} \quad [4] \quad (8)$$

kus

$k_{ks} = 0,1 \div 0,02$ [5] – kadude suurendamise tegur (seatakse energiasüsteemiga).

Elektrivarustuse süsteemides jõutrafode võimsus peab normaalsetes tingimustes tagama kõikide tarbijate elektertoite. Trafode võimsuse valikul on vaja saavutada nii majanduslikult otstarbeka töörežiimi kui ka tarbijate vastava toite reserveerimise tagamise ühe trafo väljalülitamisel. Samas tuleb meeles pidada, et ühetrafoalajaamas

on määravaks normaalne töörežiim ja kahetrafoalajaamas on määravaks režiimiks avariijärgne [3]. Arvesse tuleks võtta mitte ainult aktiivvõimsuskadusid trafodes endis, vaid ka aktiivvõimsuskadusid, mis tekivad elektrivarustuse süsteemi elementide aktiivtakistutes alates allikast kuni Narva-Lääne alajaama analüüsitava trafoni. Need kaod ilmnevad trafode reaktiivvõimsuse tarbimise ja selle tulemusena trafode koguvoolu suurenemise tõttu. Antud kadudele iseloomulik mõiste on erikaod ja seda määratletakse trafode jaoks valemitega [4]:

$$\Delta P'_{tuh} = \Delta P_{tuh} + k_{ks} \cdot \Delta Q_{tuh} \quad (9)$$

$$\Delta P'_{võim} = \Delta P_{võim} + k_{ks} \cdot \Delta Q_{tuh} \quad (10)$$

Karjääriseadmete tööaeg aastas:

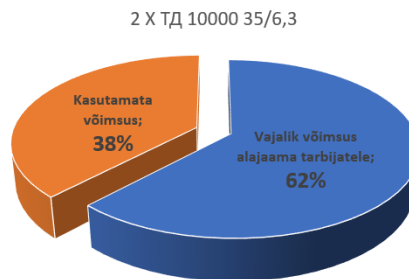
- mäetööstusseadmete kompleks, kombainilaava 300 ööpäeva;
- pealmaakaevandamise mäetööstusseadmete kompleks 319 ööpäeva aastas;
- muud (veekõrvaldus, muud mehhanismid) 360 ööpäeva aastas.

Kokku reglementeeritud remondi- ja hooldustööde organiseerimisel 326,3 töö-ööpäeva aastas. Vastavalt valime arvutamisse 7 631 tundi koormusega 12 437 kVA.

$$\Delta P'_{trafo} = 2 \cdot \Delta P'_{tuh} + 2 \cdot K_k^2 \cdot \Delta P'_{võim} = 2 \cdot 25,6 + 2 \cdot 0,62^2 \cdot 80 = 112,7 \text{ kW} \quad [4] \quad (11)$$

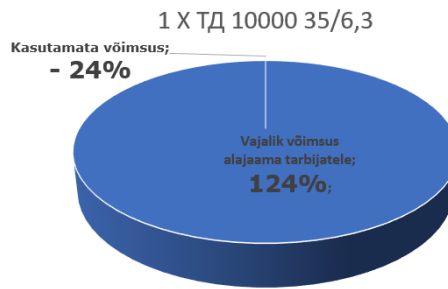
$$\Delta \Xi'_{trafo} = \Delta P'_{trafo} \cdot T_{aasta} = 112,7 \cdot 7\,361 = 8,29 \cdot 10^5 \text{ kW} \quad [4] \quad (12)$$

$$\beta_{2trafo\%} = \frac{S_{tarv}}{2 \cdot S_{t\,nom}} = \frac{12\,437}{20\,000} = 62\% \quad [4] \quad (13)$$



Joonis 3.2 Koormus kahe trafo Trafo ТД 10000 35/6,3 täisvõimsusega $S_{tarv} = 12\,437$ kVA, tavalises režiimis 2 trafoga

$$\beta_{1trafo\%} = \frac{S_{tarv}}{S_{t\,nom}} = \frac{12\,437}{10\,000} = 124\% \quad [4] \quad (14)$$



Joonis 3.3 Koormus ühe trafo Trafo ТД 10000 35/6,3 täisvõimsusega $S_{tarv}=12\ 437$ kVA, tavalises režiimis 1 trafoga

Variandi ТД 10000 35/6,3-ga vaatlemisel ja ühe trafo rikkega on ülekoormus 124%, mistõttu lükkame selle valiku edasiseks kaalumiseks tagasi. Seda me arvestame lõplikus analüüsis.

3.1.2 Variandi 2 analüüs. Tehnilised näitajad ТДНС-16000/35 У1

Tehnilised näitajad ТДНС-16000/35 У1 [6]:

$U_{nom\ prim} = 35$ kV- primaarmähise nimipinge;

$U_{nom\ sek} = 6$ kV- sekundaarmähise nimipinge;

$S_{t\ nom} = 16\ 000$ kV- trafo nominaalne täisvõimsus;

$\Delta P_{tuh} = 13$ kW- trafo tühikäigu võimsuse kaod;

$\Delta P_{võim} = 85$ kW- lühise võimsuse kaod;

$I_{tuh} \% = 0,3\%$ - tühikäiguvool;

$U_{lüh} \% = 10\%$ - lühispinge.

Arvutuse teostamisel lähtume eelnevalt valitud kahe trafo nõudest analoogselt variandile 1.



Joonis 3.4 ТДНС-16000/35 У1

$$\frac{S_{t\ nom} \cdot 100}{S_{tarv}} = \frac{16\ 000 \cdot 100}{12\ 437} = 128,6 \% \quad [4] \quad (15)$$

$$K_k = \frac{S_{tarv}}{2 \cdot S_{t\ nom}} = \frac{12\ 437}{32\ 000} = 0,38 \quad [4] \quad (16)$$

$$\Delta Q_{tuh} = S_{t\ nom} \cdot \frac{I_{tuh}}{100} = 16\ 000 \cdot \frac{0,3}{100} = 48 \text{ kVA} \quad [4] \quad (17)$$

$$\Delta Q_{tuh} = S_{t\ nom} \cdot \frac{U_{tuh} \%}{100} = 16\ 000 \cdot \frac{10}{100} = 1600 \text{ kVA} \quad [4] \quad (18)$$

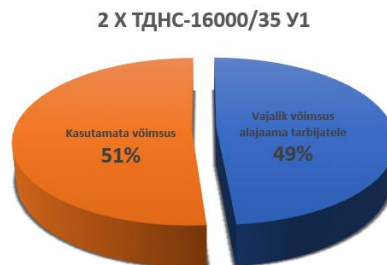
$$\Delta P'_{tuh} = \Delta P_{tuh} + k_{k\ s} \cdot \Delta Q_{tuh} = 13 + 0,02 \cdot 48 = 14 \text{ kW} \quad [4] \quad (19)$$

$$\Delta P'_{v\ oim} = \Delta P_{v\ oim} + k_{k\ s} \cdot \Delta Q_{tuh} = 85 + 0,02 \cdot 1600 = 117 \text{ kW} \quad [4] \quad (20)$$

$$\Delta P'_{trafo} = 2 \cdot \Delta P'_{tuh} + 2 \cdot K_k^2 \cdot \Delta P'_{v\ oim} = 2 \cdot 14 + 2 \cdot 0,38^2 \cdot 1600 = 27,92 \text{ kW} \quad [4] \quad (21)$$

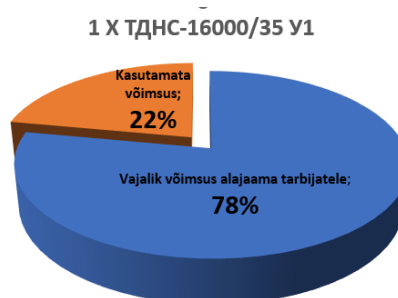
$$\Delta \Xi'_{trafo} = \Delta P'_{trafo} \cdot T_{aasta} = 27,92 \cdot 7\ 361 = 2,05 \cdot 10^5 \text{ kW} \quad [4] \quad (22)$$

$$\beta_{2trafo\%} = \frac{S_{tarv}}{2 \cdot S_{t\ nom}} = \frac{12\ 437}{32\ 000} = 38\% \quad [4] \quad (23)$$



Joonis 3.5 Koormus kahe trafo ТДНС-16000/35 У1 täisvõimsusega Starv=12 437 kVA, tavalises režiimis 2 trafoga

$$\beta_{1trafo\%} = \frac{S_{tarv}}{S_{t\ nom}} = \frac{12\ 437}{16\ 000} = 78\% \quad [4] \quad (24)$$



Joonis 3.6 Koormus ühe trafo ТДНС-16000/35 У1 täisvõimsusega Starv=12 437 kVA, tavalises režiimis 1 trafoga

Variandi ТДНС 16000/35 У1-ga vaatlemisel ja ühe trafo rikkega ülekoormus puudub ja see vastab meie tingimustele. Seda me arvestame lõplikus analüüsis.

3.1.3 Analüüsi tulemuste hinnang ja trafo valiku põhjendamine

Analüüsiks valitud seeriatoodangu trafode arvestuslikud näitajad on moodustatud tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Trafode arvutuslikud andmed

| Variant | Trafo tüüp | $\Delta P'_{trafo}$ | \exists'_{trafo} | Nominaal režiim | Avariirežiim |
|---------|------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | | 2 trafoga | 1 trafoga |
| | | | | $\beta_{2trafo}\%$ | $\beta_{1trafo}\%$ |
| 1 | ТД 10000 35/6,3 | 112,7 | 829 584,7 | 62 | 124 |
| 2 | ТДНС-16000/35 У1 | 27,9 | 205 519,12 | 38 | 78 |

Võimsuskad analüüsi osas on variandil 2 trafoga ТДНС-16000/35 У1 väikseim võimsuskadu. Sellest tulenevalt ei ole selle indikaatori järgi variandil 1 trafo ТД 10000 35/6,3 eelist suurte kadude tõttu.

Variandi 1 ТД 10000 35/6,3-ga vaatlemisel ja ühe trafo rikkega on ülekoormus 124%, mistõttu lükkame selle valiku edasiseks kaalumiseks tagasi.

51% - kasutamata trafode ressurss (võimsusreserv). Võimalik lahendus sellele probleemile on kahe trafo paigaldamine erineva võimsusega alajaamadesse. Seda lahendust ei saa aga pidada tehniliselt ratsionaalseks, kuna suurema võimsusega trafo rikke korral ei kata allesjäänud trafo kogu tarbijate koormust. Lisaks, võttes arvesse kaevandamise arendusprogrammi [2], mis arvestab allmaakaevandamise laienemist antud kaevandusväljal koos alajaama installeeritud võimsuse suurendamisega, võtame kasutusele trafo ТДНС-16000/35 У1.



Joonis 3.7 Allmaatööde perspektiiv Narva karjääris

Kahe trafo alajaama iga trafo nominaalsed võimsust reeglina määratletakse alajaama avariirežiimi tööga. Selle tingimuse järgi valitud trafo tagab tavarežiimis kõiki tarbijate toide [3].

3.2 Narva-Lääne omatarbe trafo valik

Omatarbe trafod on ette nähtud alajaama sisekoormuse toite jaoks oma vajaduste tagamiseks, tagades elektripaigaldise töö ja seeläbi ka ühendatud koormustarbijate funktsionaalsuse. See koormus hõlmab releekappide soojendeid/jahuteid, võimsuslülitite ajamite lahtreid, avari- ja pidevalgustust [3].

Tabel 3.2 Narva-Lääne 35/6 kV alajaama omatarbe põhikoormused

| Elektritarbija, Nimekiri | Tarbija võimsus, kW |
|----------------------------------|---------------------|
| Valgustus pidev ja avarii | 2,5 |
| Soojendus kompleksne jaotusseade | 10 |
| Remondikoormus | 4 |
| Soojendus kompleksne jaotusseade | 3,5 |
| Kaitseülilüti ajami soojendus | 2,5 |
| Avariilüliti soojendus | 2,5 |
| Releekapp soojendus | 2 |
| Rezerv | 5 |
| Kokku P omatarbe, kW | 32 |

Omatarbe trafo võimsus määratakse järgmise valemiga [4]:

$$Starv = k_{n\ddot{o}u} \sqrt{P_{omat}^2 + Q_{omat}^2} = \sqrt{11\,743^2 + 4095^2} \quad (25)$$

kus

$k_{n\ddot{o}u}$ - nõudluse tegur, s.t korduv-lühiajalise ja pikaajalise tarbija tööaja suhe. Elektritarbijatel, mis on mõeldud katkematu töö jaoks, näiteks vahetuse ajal, tegur $k_{n\ddot{o}u} = 0.95$; Q_{omat}^2 - mootorkoormuse reaktiivvõimsus. Võtame 0.

$$Starv = 0,95 \cdot \sqrt{32^2 + 0} = \sqrt{1024} = 30,4 \text{ kVA} \quad (26)$$

$$Stomatarb \geq Starv, 40 \geq 30,4 \quad [4] \quad (27)$$

Valime tüüpilise trafo TCKC-40.

3.3 Narva-Lääne toiteliini parameetrite määramine

Toiteliini juhi ristlõigete määramiseks kasutame õhuliini. 35 kV nimipingega toiteliini rajamisel kasutame elektriõhuliini. Õhu- ja kaabelektriliinide soovitatav maksimaalne pikkus antud pinges juures on vastavalt 50 km ja 10 km.

Juhtmete ristlõike valik toimub vastavalt soojenemise karakteristikale, samas võrreldakse arvestuslikku voolu tarbija pikaajalise lubatava koormusvooluga [6].

$$I_{pikk} \geq I_{max\ arv} \quad (28)$$

$$I_{max\ arv} = \frac{1,4 \cdot S_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_{nom\ tr}} = \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 369 \text{ A} \quad [4] \quad (29)$$

Arvutuse põhjal valime kontrolltabeli järgi [6]

$$I_{pikk} = 390 \text{ A} \quad q = 240 \text{ mm}^2.$$

Valime majanduslikult otstarbeka juhtme ristlõike [4]

$$q_{maj} = \frac{I_{arv}}{j_m} \quad (30)$$

$$I_{arv} = \frac{S_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 264,3 \text{ A [4]} \quad (31)$$

Vastavalt kontrolltabelile [6] valime $j_m = 1,1 \text{ A/mm}^2$

$$q_{maj} = \frac{264,3}{1,1} = 240,2 \text{ mm}^2 \text{ [4]} \quad (32)$$

Kontrollmaterjali alusel [6] valime standartväärtuseks 240 mm^2

Teostame järgneva kontrolli lubatud pingekadude osas $\Delta U, \%$ [4]:

$$\Delta U, \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{max\ arv} \cdot (R_0 \cdot L \cdot \cos\varphi + X_0 \cdot L \cdot \sin\varphi)}{U_{nom}} * 100 \leq 3\% \quad (33)$$

kus

L- liini pikkus, määratakse meie poolt arvestuses 6 km ;

$$R_0 = \rho \frac{1000}{q} - \text{liini eritakistus, } \frac{\text{Om}}{\text{km}}; \text{ [5]}$$

ρ - juhtme materjali eritakistus, võtame [5] $\rho_{al} = 0,028 \frac{\text{Om mm}^2}{\text{m}}$;

$$R_0 = 0,028 \cdot \frac{1000}{240} = 0,116 \frac{\text{Om}}{\text{km}}; \quad (34)$$

$X_0 = 0,4 \frac{\text{Om}}{\text{km}}$ õhuliini reaktiivoleku keskmine väärtus 35 kV ; [6]

$\cos\varphi$; $\sin\varphi$ - määrame, lähtudes kvaliteedinõuetest [6], $\cos\varphi = 0,97$; $\sin\varphi = 0,24$.

$$\Delta U, \% = \frac{\sqrt{3} \cdot 369 \cdot (0,116 \cdot 6 \cdot 0,97 + 0,4 \cdot 6 \cdot 0,24)}{35000} * 100 = 2,28 \leq 3\% \text{ sisendiks N}^\circ 1 \text{ [5]} \quad (35)$$

Pingekaod on lubatust väiksemad, järelkult ristlõige 240 mm^2 vastab [5].

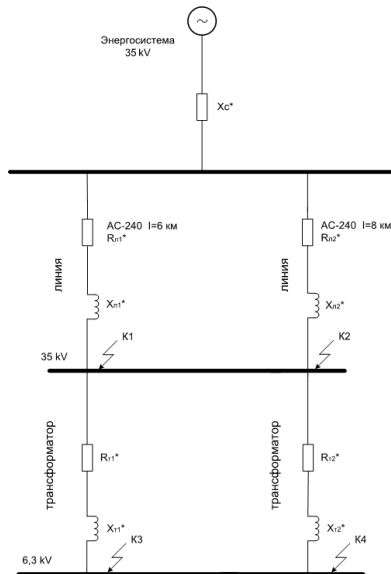
$$\Delta U, \% = \frac{\sqrt{3} \cdot 369 \cdot (0,116 \cdot 8 \cdot 0,97 + 0,4 \cdot 8 \cdot 0,24)}{35000} * 100 = 3 \leq 3\% \text{ sisendiks N}^\circ 2 \text{ [5]} \quad (36)$$

Aktsepteerime Narva-Lääne elektertoiteliini õiglast valikut terassüdamikuga AC-240 alumiiniumjuhtmega mõlema sisendi jaoks [3].

3.4 Võrgu lühisvoolude arvutamine

Lühiseks nimetatakse kahe erineva potentsiaaliga punkti juhuslikku või tahtlikku lühist. Voolutugevuse määramine võimaliku lühise korral taandub peamiselt lühiseahela elementide takistuste arvutamisele [7].

Koostame aseskeemi lähtuvalt meie lühisvoolude määramise tingimustest, mis on vajalikud Narva-Lääne seadmete kontrollimiseks ja valimiseks.



Joonis 3.8 Narva-Lääne alajaama asenduskeem

Lühisvoolusid vaatleme kahes punktis pingega 35kV ja 6kV.

Arvutus teostatakse absoluutsetes või suhtelistes ühikutes [8]. Võrgu toiteallikana mõistetakse sellist lõpmatu võimsuse allikat, mille klemmide pinge jääb lühise ajal voolu igasugusel muutumisel praktiliselt muutumatuks.

Meie praktilises juhtumis ja arvutuses on süsteem ise, millest Narva karjäär toidetakse, võimas energeetiline ühendus ja on seatud sellest resulteeruva takistuse ja lühisevoolu poolt. Võib leppida sellega, et süsteem ise on piiramatu võimsuse allikas. Samal ajal eeldame süsteemsete andmete puudumisel, et genereerivaks allikaks on süsteem ise [8]. Edasisi arvutusi teostame võimsuslülitite väljalülitamise piirvõimsuse alusel, mis on paigaldatud lattidel, mis on omakorda ühendatud süsteemiga. Väljalülitamise võimsus on võrdne kolmefaasilise lühise võimsusega .

Süsteemi elementide takistuse määramine baasühikutes [9], kuivõrd igasuguse arvutuse põhitingimus on võrreldavus. Käesoleval juhul võtame baasvõimsuseks koormusvõimsuse [4] $S_{nom v} = 3000 \text{ MVA}$ (väljalülitamise võimsus 38T 3000 MVA). Arvutuse tingimused: $S_{traf} = 16000 \text{ kVA}$, $l_1=6 \text{ km}$; $l_2=8 \text{ km}$; $R_o = 0,193 \text{ Om/km}$; $U_{üh} = 10\%$, $\Delta P_{üh} = 85 \text{ kW}$, $X_o = 0,4 \text{ Om/km}$.

Aktsepteerime tingimuse juurde tingimuse baasikomponendid:

$$S_{baas} = 100 \text{ MVA}; U_{baas1} = 37 \text{ kV}; U_{baas2} = 6,3 \text{ kV}$$

Määrame baasivoolu [4], kA:

$$I_{baas} = \frac{S_{baas}}{\sqrt{3} \cdot U_{baas}} \quad (37)$$

$$I_{baas} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 37 \cdot 10^3} = 1,56 \text{ kA} \quad (38)$$

Energiasüsteem:

$$X_{c\ baas}^* = \frac{S_{baas}}{S_{nom\ v}} = \frac{100}{3000} = 0,033\ \text{tü} \quad [8] \quad (39)$$

Elektriõhuliinide jaoks 35 kV:

$$X_{baas\ l1}^* = X_o \cdot l \cdot \frac{S_{baas}}{U_{baas}^2} = 0,4 * 6 \frac{100}{37^2} = 0,18\ \text{tü} \quad [8] \quad (40)$$

$$R_{baas\ l1}^* = R_o \cdot l \cdot \frac{S_{baas}}{U_{baas}^2} = 0,193 * 6 \frac{100}{37^2} = 0,08\ \text{tü} \quad [8] \quad (41)$$

$$X_{baas\ l2}^* = X_o \cdot l \cdot \frac{S_{baas}}{U_{baas}^2} = 0,4 * 8 \frac{100}{37^2} = 0,23\ \text{tü} \quad [8] \quad (42)$$

$$R_{baas\ l2}^* = R_o \cdot l \cdot \frac{S_{baas}}{U_{baas}^2} = 0,193 * 8 \frac{100}{37^2} = 0,11\ \text{tü} \quad [8] \quad (43)$$

kus

X_o - 0,4 Om/km aktiivne eritakistus AC-240 jaoks [6];

R_o - 0,193 Om/km induktiivne eritakistus AC-240 jaoks [6];

l - AC-240 elektriliinide pikkus.

Määrame suhte X/R 35 kV liini takistuste jaoks:

$$X_{baas\ l1}^* / R_{baas\ l1}^* = 0,18 / 0,08 = 2,25 < 3 \quad [8] \quad (44)$$

$$X_{baas\ l2}^* / R_{baas\ l2}^* = 0,23 / 0,11 = 2,1 < 3 \quad [8] \quad (45)$$

Neid tulemusi võetakse arvesse edasistes arvutustes.

Jõutrafode jaoks 16000 mVA 35/6 kV:

Nimiväärtusega $S_{nom} \geq 630$ kVA trafode puhul peetakse aktiivsete takistuste arvestamist otstarbetuks. Selliste trafode suhteline reaktiivtakistus vastab lühispingele suhtelistes ühikutes, $x_t^* = U_{lüh} = 0,01 U_{lüh} \%$ [5].

Baastingimustele taandatud reaktiivtakistus määratakse [5]:

$$X_{baas\ t}^* = \frac{U_{lüh} \% \cdot U_{baas}}{100 \cdot S_{t\ nom}} \quad (46)$$

Kuna meil on identsed trafod ТДHC-16000/35 Y1, siis $X_{baas\ t1}^* = X_{baas\ t2}^*$:

$$X_{baas\ t1}^* = X_{baas\ t2}^* = \frac{10 \cdot 100}{100 \cdot 16} = 0,6\ \text{tü} \quad [8] \quad (47)$$

Siis resulteeruvad takistused valemidega [8]:

$$P\ K-1: X_{k1} = X_{c\ baas}^* + X_{baas\ l1}^* + R_{baas\ l1}^* = 0,033 + 0,18 + 0,08 = 0,293\ \text{tü} \quad (48)$$

$$P\ K-2: X_{k2} = X_{c\ baas}^* + X_{baas\ l2}^* + R_{baas\ l2}^* = 0,033 + 0,23 + 0,11 = 0,373\ \text{tü} \quad (49)$$

$$P\ K-3: X_{k3} = X_{c\ baas}^* + X_{baas\ l1}^* + R_{baas\ l1}^* + X_{baas\ t}^* = 0,033 + 0,18 + 0,08 + 0,6 = 0,893\ \text{tü} \quad (50)$$

$$P_{K-4}: X_{k4} = X_{c\text{ baas}}^* + X_{\text{baas } l2}^* + R_{\text{baas } l2}^* + X_{\text{baas } t}^* = 0,033 + 0,23 + 0,11 + 0,6 = 0,973 \text{ tü} \quad (51)$$

Määrame lühisevoolu I_{luh} , kA

$$I_{luh} = \frac{I_{baas}}{X_k} [9] \quad (52)$$

$$I_{üh1} = \frac{1,56}{0,293} = 5,234 \text{ kVA} \quad (53)$$

$$I_{üh2} = \frac{1,56}{0,373} = 4,182 \text{ kVA} \quad (54)$$

$$I_{üh3} = \frac{9,16}{0,893} = 10,257 \text{ kVA} \quad (55)$$

$$I_{üh4} = \frac{9,16}{0,973} = 9,414 \text{ kVA} \quad (56)$$

Kuna lühisvoolu perioodilisel komponendil on kustumatu iseloom, siis perioodi voolude väärtused on identsed [9] .

$$I_{luh} = I_0 = I_{\infty} = I_{\tau} \quad (57)$$

Määrame löökvoolu $I_{lök}$, kA:

$$I_{lök} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot k_{lök} [9] \quad (58)$$

kus

$k_{lök}$ - lööktegur $k_{lök} = 1,6$ süsteemi jaoks, mis on seotud latistusega, kus vaadeldakse lühist ja õhuliinidega pingega 35 kV [9]

$$I_{lök1} = \sqrt{2} \cdot 5,234 \cdot 1,6 = 12,07 \text{ kA} \quad (59)$$

$$I_{lök2} = \sqrt{2} \cdot 4,182 \cdot 1,6 = 9,48 \text{ kA} \quad (60)$$

$$I_{lök3} = \sqrt{2} \cdot 10,257 \cdot 1,6 = 23,25 \text{ kA} \quad (61)$$

$$I_{lök4} = \sqrt{2} \cdot 9,414 \cdot 1,6 = 21,34 \text{ kA} \quad (62)$$

Määratleme lühise võimsust võimsuslülitite väljalülitamise hetkel S_{τ} , [9] MVA:

$$S_{\tau} = \sqrt{3} \cdot I_{\tau} \cdot U_{baas} \quad (63)$$

$$S_{\tau1} = \sqrt{3} \cdot 5,234 \cdot 37 = 341 \text{ MVA} \quad (64)$$

$$S_{\tau2} = \sqrt{3} \cdot 4,182 \cdot 37 = 268 \text{ MVA} \quad (65)$$

$$S_{\tau3} = \sqrt{3} \cdot 10,257 \cdot 6,3 = 112 \text{ MVA} \quad (66)$$

$$S_{\tau4} = \sqrt{3} \cdot 9,414 \cdot 6,3 = 103 \text{ MVA} \quad (67)$$

3.5 Õhu- ja kaabelliinide juhtmete ristlõigete arvutamine

Määrame tarbijate võrgu 6 kV toiteliinide ristlõiked.

Enne õhuliini ristlõike arvutamist aktsepteerime:

- alumiiniumist terassüdamikuga;
- puidust toed, ajutised;
- kokku õmmeldud polüetüleeni isolatsiooniga vaskkaabel.

Õhuliinid jaotatakse lõpptarbija kaupa erinevate koormustega.

Arvutusandmed on toodud lisas (vt Lisa 7). Kuna võrgu harud on universaalsed igat tüüpi seadmetele, aktsepteerime 185 mm².

Käivitusrežiimis kadusid ei kontrollita, sest ekskavaatorite sünkroonsed elektrimootorid kiirendavad enne võrku ühendamist sünkroonse sageduseni ja ühenduvad võrku praktiliselt ilma voolu tõugeteta võrgus [4].

Töötsoonis ekskavaatorite toitekaabli tüüp määratakse (soovitav) tehase dokumentatsiooniga. Niisiis, ekskavaatorile ЭКГ- КГЭ-ХЛ 3x35+1x10+1x6 või analoog, draglainidele ЭШ-15/90 - КГЭ-ХЛ 3x120+1x35+1x6 või analoog. Maa-aluse kompleksi toitekaabel ВВГнг 4*240 33ЦМ või analoog [3].

3.6 Lattide valik

Lattide valik määratakse pikaajalise lubatud voolu ja majandusliku otstarbekuse alusel. Pikaajaline lubatud vool, kontrollväärtus on kõrgem latti läbiva maksimaalse arvestusliku voolu väärtusest [4].

$$35 \text{ kV jaoks: } I_{\max arv} = \frac{1,4 \cdot S_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_{nom tr}} = \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 350 \text{ A} \quad (68)$$

$$6 \text{ kV jaoks: } I_{\max arv} = \frac{1,4 \cdot S_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_{nom tr}} = \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2055 \text{ A} \quad (69)$$

35 kV lattide jaoks kasutame alumiiniumsulamist ümarlati diameetriga 40 mm.

Tingimus $I_{lub} \geq I_{\max arv}$ teostatakse 350 A jaoks [4].

6 kV jaotusseadme lattide jaoks kasutame ristkülikukujulist alumiiniumsulamist latti 100 x 8 mm. Tingimus $I_{lub} \geq I_{\max arv}$ teostatakse 2055 A jaoks [4].

Termilise taluvuse lühisevoolu suhtes ja dünaamilise taluvuse kontroll on toodud lisas 9. Valitud lattide ristlõiked vastavad elektrodünaamilise stabiilsuse tingimustele.

3.7 Kõrgpinge võimsuslülite valik

Võimsuslüliti on elektriline aparaat, mille eesmärk on elektriahelate sisse/välja lülitamine elektripaigaldise mis tahes koormuse töörežiimis. Praegu on põhirakenduse saanud õli-, gaasiisolatsiooniga või vaakumvõimsuslülid. Võimsuslüliti kui kommutatsiooniseade on komplektse jaotusseadme peamine kaitseelement. Sellest sõltub ohutus ja samuti koormusseadmetele negatiivse mõju minimeerimine elektrivõrgus tekkivate hädaolukordade korral [7].

Võimsuslüliti valik tehakse vastavalt nimivoolule, pingele, tüübile ja väljalülitamise võimekusele lühisrežiimis [4].

35 kV võimsuslülite kontroll [4]:

Arvestuslik vool:

$$I_{arv\ 35} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 264\text{ A} \quad (70)$$

Liinilüliti võimaliku ülekoormuse tingimustes:

$$I_{arv\ max\ 35} = \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 369,9\text{ A} \quad (71)$$

Arvestades ühe liini lühiajalist väljalülitamist, on liinilüliti ülekoormus [4]

$$I_{arv2\ max\ 35} = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 739,9\text{ A} \quad (72)$$

35 kV avatud jagamiseadme jaoks aktsepteerime võimsuslülid tüüpi 3AH49 Siemens [10] $I_{nom} = 1\ 250\text{A}$ liini ja sektsioonvõimsuslüliti jaoks mootor-vendruajamiga.

6 kV võimsuslülite kontroll [4]:

Arvestuslik vool:

$$I_{arv\ 6} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1\ 481,5\text{ A} \quad (73)$$

Liinilüliti võimaliku ülekoormuse tingimustes:

$$I_{arv\ max\ 6} = \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 2158\text{ A} \quad (74)$$

Aktsepteerime võimsuslüliteid tüüpi 3AESION H49 $I_{nom} = 2500\text{A}$ elektrimagnetajamiga [11]. Väljuvatesse lahtritesse aktsepteerime identsed võimsuslülid.

Tabel 3.3 Väljalüliti valik

| | Tüüp valik | Valiku kriteeriumid | Kataloogi andmed | Arvestuslik andmed |
|-------|-------------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| 35 kV | KJS 8DA10, vakuumlüliti 3AH49 | $I_{nom} \geq I_{arv \max 2}$ | $I_{nom} = 1250A$ | $I_{arv \max 2} = 739,9 A$ |
| | | $U_{nom} \geq U_{I_{nom}}$ | $U_{nom} = 40,5 kV$ | $U_{nom} = 35 kV$ |
| | | $I_m \geq I_\tau$ | $I_{n \text{ tu}} = 40 kA$ | |
| | | $I_{nom \text{ väl}} \geq I_\tau$ | $I_{n \text{ du}} = 104 kA$ | $I_\tau = 12,07 kA$ |
| 6 kV | 3AESION 2500 A, 1000 A | $U_{nom} \geq U_{I_{nom}}$ | $I_{nom} = 2500A, 1000A$ | $I_{arv \max 2} = 2158A$ |
| | | | $U_{nom} = 12 kV$ | $U_{nom} = 6 kV$ |
| | | $I_{nom \text{ väl}} \geq I_\tau$ | $I_{n \text{ tu}} = 40 kA$ | $I_\infty = 10,25 kA$ |
| | | | $I_{n \text{ du}} = 104 kA$ | $I_\tau = 23,25 kA$ |
| | | $I_{nom \text{ ts}} = I_\infty \sqrt{\frac{t_p}{t_{ts}}}$ | $I_{nom \text{ väl}} = 40 kA$ | $S_{\tau 1} = 112 MVA$ |
| | | | $I_{nom \text{ väl}} = 346 MVA$ | |

Valitud seadmete arvutuslikud tulemused ja kataloogiandmed on toodud tabelis 3.3. Valik teostatakse vastavalt kataloogi andmetele.

3.8 Lahklüliti valik

Lahtilüliti on elementaarne kohustuslik element elektrialajaamas, mille eesmärk on tekitada nähtavat ahela katkestust. Lahtilüliti kasutatakse ainult ilma koormuseta. Lahtilüliti valimise ja testimise tingimused on sarnased võimsuslüliti valimise tingimustega, ainult ilma väljalülitamise võimekuse kontrollimiseta.

Tabel 3.4 Lahklüliti valik



| | Tüüp valik | Valiku kriteeriumid | Kataloogi andmed | Arvestuslik andmed |
|-------|------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 35 kV | 8DA10 | $I_{nom} \geq I_{arv \max 2}$ | $I_{nom} = 1250 A$ | $I_{arv \max 2} = 739,9 A$ |
| | | $U_{nom} \geq U_{I_{nom}}$ | $U_{nom} = 40,5 kV$ | $U_{nom} = 35 kV$ |
| | | $I_m \geq I_\tau$ | $I_{n \text{ tu}} = 40 kA$ | * |
| | | $I_{nom \text{ väl}} \geq I_\tau$ | $I_{n \text{ du}} = 104 kA$ | $I_{n \text{ du}} = 12,07 kA$ |

Avatud 35 kV jaotusseadme puhul võtame vastu standardseadmete komplekti 8DA Siemens lahutid [12]. See lahklüliti koosneb kahest pöörduvast isolaatorist, kahest maandurist, millel on $I_{(nom)} = 1250A$. Antud lahklüliti on toodud tabelis 3.4. Valitud seadmete arvutuslikud tulemused ja kataloogiandmed on toodud tabelis 3.3. Valik teostatakse vastavalt kataloogi andmetele.

3.9 Jagamisseade 35 kV ja 6 kV

Jagamisseadmed, mis on valmistatud valmis plokk-kappide kujul ja tarnitud tootja poolt kokkupandavate konstruktsioonide näol KJS - kompleksed jagamisseadmed.

35kV statsioonarsed jagamiseadmed 8DA võimsuslülitega kujutavad endast standardseid katseid läbinud jagamiseadmeid ühepooluselises SF6 elegaasi isolatsiooniga metallisillustega korpuses [12].

| SIEMENS | | | |
|---|------------------------|--|-----------------------|
| Type: 8DA10 | Circuit-breaker panel | Year of manufacture: | 2011 |
| Serial no.: | CV 808937-000110/001 | Panel no.: | +H07 |
| Mechanism no.: | 00038016 | IEC 62271 -1/-100/-102/-200 | |
|  | $I_r = 2000 \text{ A}$ | I_{max} at $40^\circ\text{C} = 2110 \text{ A}$ | $f_r = 50 \text{ Hz}$ |
| | $I_r = 2000 \text{ A}$ | I_{max} at $40^\circ\text{C} = 2110 \text{ A}$ | |
| $U_r = 40,5 \text{ kV}$ | $U_d = 80 \text{ kV}$ | $U_p = 200 \text{ kV}$ | |
| $I_p / I_k, I_{sc}$ (main circuit) = 80/31,5 kA | | | $t_k = 3 \text{ s}$ |
| Rated operating sequence: O - 0,3 s - CO - 3 min - CO | | Class E2 M2 C2 | |
| Disconnecter / Earthing switch M1 | | | |
| $U_a = \text{DC } 110\text{V}$ | | | |
| Perm. ambient air temperature: $-5^\circ\text{C} / +55^\circ\text{C}$ | | IAC A FL 31,5kA 1s | |
| SF_6 filling pressure : | at 20°C | SF_6 volume : | 4,4 kg |
| Busbar housing p_{re} : | 120 kPa | | |
| Circuit-breaker housing p_{re} : | 120 kPa | | |
| SIEMENS AG | | Sealed pressure system | |
| MADE IN GERMANY | | Operating instructions: 861-9272.9 | |
| | |  | |

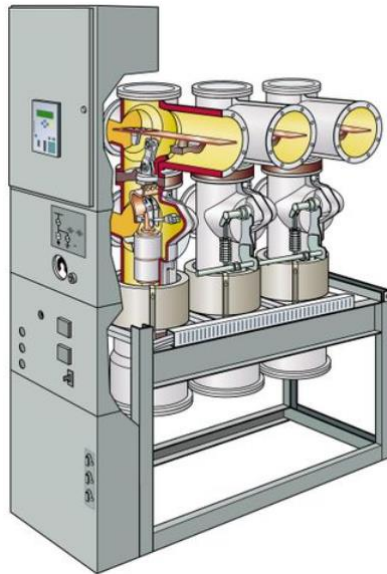


Joonis 3.9 KJSe 35kV 8DA10 tüüp

Nende kasutusala hõlmab arvestuslikke pingeid kuni 40,5 kV ja arvestuslikku voolu tugevust kuni 3150 A. Jagamismõrkudes lubatakse arvestuslikku lühise sisselülitusvoolu max 100 kA ja arvestuslikku lühise väljalülitusvoolu max 40 kA.

Varustusse kuulub:

- kolme asendiga lahkülitid-maandurid;
- võimsuslüliti. Struktuur on näidatud joonisel 3.10;



Joonis 3.10 Võimsuslüliti pesa

- lühise maandur vaakumvõimsuslüliti abil;
- ühepooluselised latid elegaasi isolatsiooniga SF6;
- blokeerimisseadmed;
- standardsed ohutusseadmed;
- mõõteseadmed;
- instrumendid ja juhtimisseadmed.

Seade sisaldab ka pingetrafosid vastavalt IEC 60 044-1 madala signaaliga trafo kujul. Selle põhieesmärk on täita kõiki kaitse- ja mõõtmisülesandeid. Voolutrafod (vastavalt IEC 60 044-1) on konstrueeritud toroidaalse südamikuga trafona.

| SIEMENS | | | |
|---|------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Type: NX-Air | | Year of manufacture: 2011 | |
| Serial-No: NQ 20401977 | | Functional unit No: WA202 | |
| | $I_r = 2500 \text{ A}$ | IEC 62271-200 | PM LSC 2B |
| | $I_r = 1250 \text{ A}$ | $T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ | $f_r = 50 \text{ Hz}$ |
| $U_r = 12 \text{ kV}$ | $U_p = 75 \text{ kV}$ | $U_d = 28 \text{ kV}$ | |
| $I_k = 25 \text{ kA}$ | $I_p = 63 \text{ kA}$ | $t_k = 1 \text{ s}$ | |
| $U_a = 110 \text{ V DC}$ | | | |
| IAC FLR as per IEC62271 - 200 | | | |
| accessibility type A | | test current | 25 kA 1 s |
| Instruction Book Reference : 8BX3300-0LA00-0AB1 | | | |
| Ratings of the installed components must also be considered ! | | | |
| MADE IN TÜRKİYE | | | |



Joonis 3.11 KJSe 6kV NXAIR tüüp

Pinge 6 kV jaoks valime jagamiseadme võimsuslüliti NXAIR. Õhuisolatsiooniga jagamiseade sisepaigalduseks, mis on läbinud tüübikatseid. Komplektne jagamiseade metallkorpuses koos kommutatsiooni või mõõteseadmetega väljatõmmataval moodulil ning mõeldud kasutamiseks siseruumides. Seda kasutatakse elektri jaotussüsteemide alajaamades, peamiselt esmasel jaotustasandil. NXAIR jaotusseadme võimsuslüliti koosneb erinevat tüüpi lahtritest, mida saab vabalt kombineerida [13]:

- võimsuslüliti lahter - vaakumlüliti 3AE 3AE SION tüüpi, kolmepooluseline sisepaigalduse võimsuslüliti nominaalsete töörežiimide jaoks 7,2kV kuni 17,5 kV;



Joonis 3.12 Vaakumlüliti 3AE 3AE SION

- lahtlüliti lahter;
- mõõtelahter;
- sektsioonlüliti;
- kontaktori lahter;
- blokeeringute süsteem;
- latistussüsteem;
- ühenduslahter kaablite ja lattide jaoks;
- voolu ja pinge trafod.

NXAIR Siemens lahtri täielik struktuurne kirjeldus ja ülesehitus on toodud Lisas 10.

KOKKUVÕTE

Maavarade kaevandustööstus on väga energiamahukas tööstusharu. Peamine allikas, mis tagab kaevandusseadmete ja personali elu toetavate süsteemide töö, on elekter. Seetõttu on elektriga varustamine eksploateerimisel ja tööde korraldamisel üks olulisemaid. Energiavarustuse süsteemide õigesti valitud seadmed peab tagama elektrienergia kõrge kindluse ja edastatava elektri kvaliteedi. See on lahutamatu tegur ettevõtte toodete efektiivsuse, ohutuse ja omahinna tagamisel.

Sellega seoses oli käesoleva lõputöö eesmärgiks välja töötada lahendus elektrialajaama moderniseerimiseks ja määrata selle uus skeem. Uute võimsuste ühendamise võimaluse uurimine ja rakendamine. Optimeerida selle tehnilisi parameetreid, et parandada pealmaa mäetööde ja maa-aluse osa mäetööde süsteemide töökindlust. Optimaalse kaasaegsete seadmete valik tagab selle kõrge funktsionaalsuse.

On uuritud olemasolevat alajaama elektrivarustuse süsteemi otse Estonia elektrijaamast. On pakutud välja moderniseerimise skeem ja teostatud vajalikud arvutused alajaama elektriskeemi elementide osas. On välja töötatud alajaama printsiipaalne skeem. On teostatud elektriskeemi elementide kontroll lühisvoolude ja liigpingega ülekoormuse suhtes. On teostatud elementide termilise taluvuse lühisvoolude suhtes ja dünaamilise taluvuse kontroll.

Arvutused näitasid, et alajaama moderniseeritud skeem ja valitud seadmed suudavad tagada tarbijate täiendavat installeeritavat võimsust. Seadmed on koormuskindlad. Optimeeritud seadmetega elektrialajaam võimaldab muuta eksploateerimisel hooldamise ja remondi lihtsamaks, mis omakorda vähendab kulusid.

Alajaam on projekteeritud automaatselt töötavana. Personal on ettenähtud üksnes elementide perioodiliste tehniliste hooldustööde teostamiseks. See tähendab, et üksikasjaliku ehitusprojekti koostamisel on edaspidi vaja teostada arvutusi ning valida täiendavad automaatsed kommutatsiooniseadmed ja releekaitsmeseadmed. Edasised arvutused toovad kaasa alajaama funktsionaalsuse tõusu.

SUMMARY

The purpose of the presented Degree thesis "Modernization of the Narva-Lääne 35/6 kV substation in the Narva quarry with the commissioning of an underground shearer longwall face " is to analyze the current power supply system of the Narva quarry to explore the possibilities of connecting new additional electrical capacities. New capacities are planned when the underground shearer is put into operation.



The Degree thesis pays attention to the main elements of the power grid – electrical substations. As a result of the analysis, the implementation of works on the modernization of the Narva-Lääne 36/6 kV electrical substation is proposed. The advantage of this substation is the geographical position on the mining operations plan, as well as the prospect of underground mining in this part of the quarry field.

This work contains an introduction, three chapters, a conclusion and a list of references. In total, there are 49 sheets, 6 tables and 13 figures in the Degree thesis. The first chapter contains a study of the existing power supply scheme. The second chapter is devoted to the justification for the planning and modernization of the substation. The third chapter presents calculations of substation circuit elements and offers options for choosing equipment.

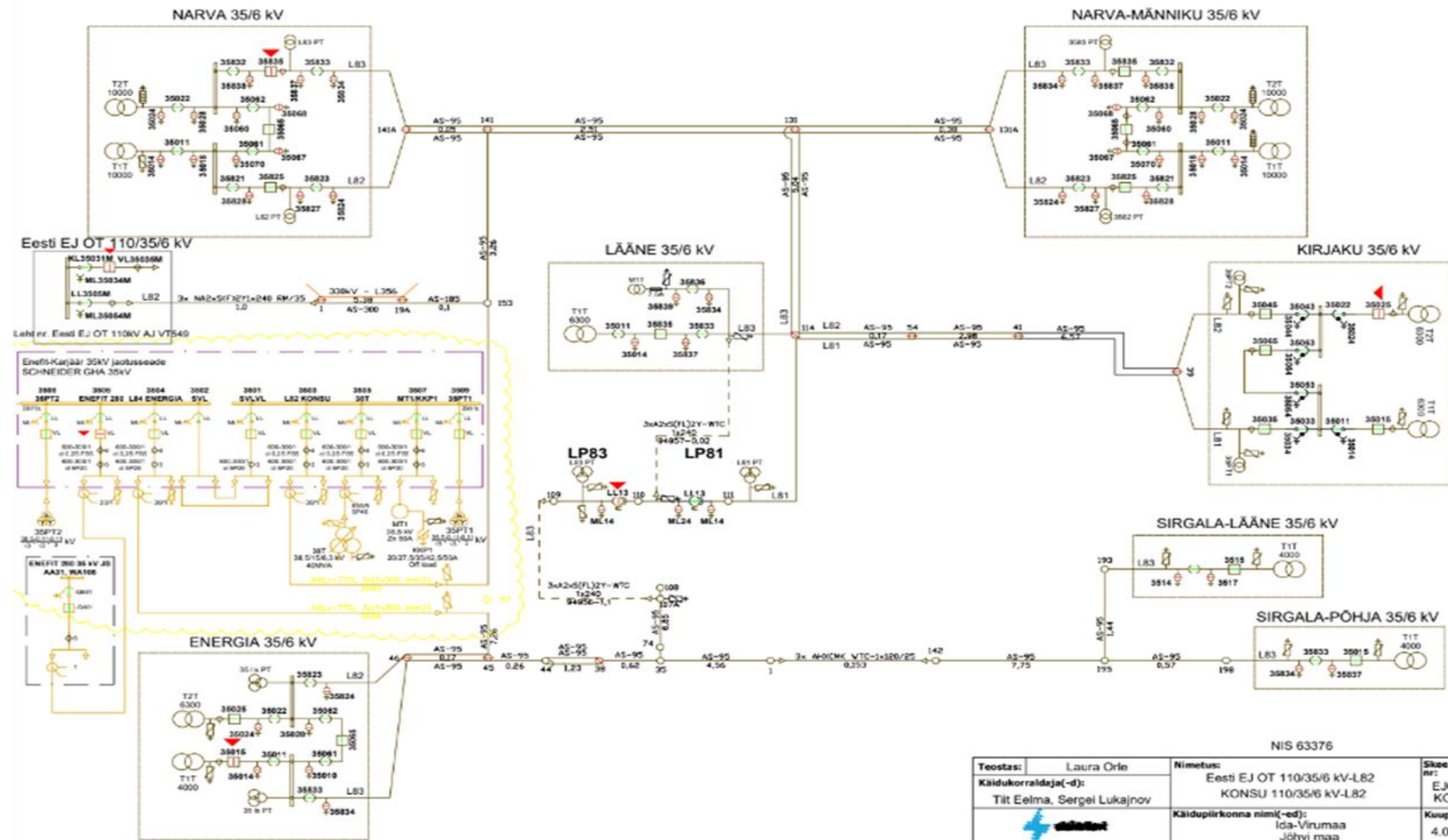
The result of the Degree thesis is a conclusion confirming the possibility of connecting additional capacities of electrical underground equipment to the Narva-Lääne 35/6 kV substation. The technical design conditions for the implementation of the modernization of an electric substation are presented.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

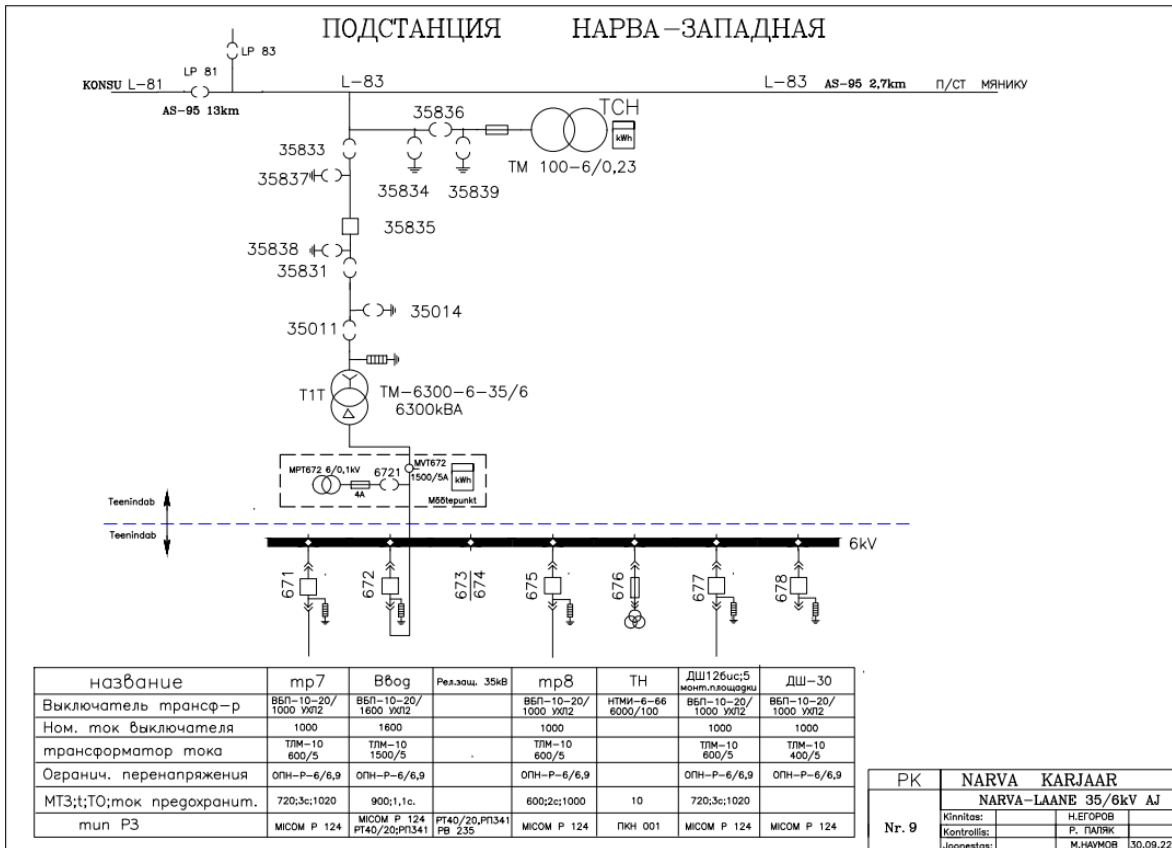
1. Jacek Korski. Эксплуатация лавным способом очистного комбайна на карьерной шахте Narva. DAMS gmbh, 2014.
2. Eesti Energia Kaevandused AS. Narva karjääri allmaakaevandamisele üleviimise projekt, Tootmisosakond: Jõhvi. 2014.
3. Ф.И. Самохин, А.М.Маврицын, В.Ф.Бухтояров. Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ. Москва: Недра, 1988.
4. Чулков Н.Н., Чулков А.Н. Электрификация карьеров в задачах и примерах. Москва: Недра, 1976.
5. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова, М.Г. Зименкова, А.Г. Смирнова. Справочник по проектированию электроснабжения. Москва: Энергоатомиздат, 1990.
6. Правила устройства электроустановок. Издание шестое, переработанное и дополненное. Москва: Энергоатомиздат, 1985.
7. М.А.Шабад. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Санкт-Петербург: Минэнерго, 2003.
8. А.Д.Эрнст. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах. Учебное пособие. Нижневарттовск: Издательство Нижневарттовского государственного гуманитарного университета, 2012.
9. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. Московский энергетический институт. Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2002
10. 3AH4 Vacuum Circuit-Breakers [Online]
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:0852133c-3cef-42fb-9ee6-fbfea9de3706/catalogo-3ah4-en.pdf> (26.04.2023)
11. Vacuum circuit breaker [Online]
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/302/106325302/att_3120/v1/BA_3AE_Vakuum_Leistungsschalter_SION_EN_201409231052218953.pdf (26.04.2023)
12. Medium-voltage switchgear Types 8DA10 and 8DB10 up to 40.5 kV [Online]
[Type 8DA10 and 8DB10 up to 40,5kV and Type 8DAB12 blue GIS up to 12kV \(siemens.com\)](#) (01.05.2023)
13. Air-Insulated Medium-Voltage Switchgear NXAIR and NXAIR M [Online]
[Catalog NXAIR and NXAIR M HA 25-71 \(siemens.com\)](#) (26.04.2023)

|  KOLEKTOR ETRA Energetski transformatorji d.o.o. | | | | | |
|--|----------------|------------------------------------|--|---|--|
| ТРЕХФАЗНЫЙ СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР | | | | | |
| Тип | | RNT 40000-38,5 | | | |
| Год изготовления | | 2018 | Серийный номер | | |
| | | 82750 | | | |
| Номинальная мощность [kVA] | | | | | |
| Тип охлаждения | ВН | СН | НН | | |
| ONAF | 24000 | 40000 | 16000 | | |
| ONAN | 12000 | 20000 | 8000 | | |
| Напряжение [kV] | | 38,5 ±2x2,5% / 15,75 ±8x1,5% / 6,3 | | | |
| Частота [Hz] | | 50 | | | |
| Схема / группа соединения | | YNd11d11 | | | |
| Стандарт | | EVS-EN 60076-1 | | | |
| Напряжение короткого замыкания [%] * | | | | | |
| Поз. | ВН/СН (24 MVA) | ВН/НН (16 MVA) | СН/НН (16 MVA) | | |
| 1 | 10,73 | 20,23 | 9,42 | | |
| 9 | 10,13 | | 10,78 | | |
| 17 | 9,81 | | 13,26 | | |
| Потери короткого замыкания - P _k [kW] * | | | | | |
| Поз. | ВН/СН (24 MVA) | ВН/НН (16 MVA) | СН/НН (16 MVA) | | |
| 1 | 89,258 | 106,306 | 95,839 | | |
| 9 | 91,548 | | 98,367 | | |
| 17 | 108,676 | | 108,185 | | |
| Потери холостого хода - P ₀ [kW] | | 11,383 | | | |
| PEI (максимальный КПД) | | 99,739 | при k _{рез} (коэфф. нагрузки) | | |
| S _{нв} [kVA] | | 40.000 | | | |
| Электрическая мощность системы охлаждения-Рс _о [kW] | | -- | | | |
| Тип масла / стандарт | | NYNAS - Nyltro 10XN / IEC 60296 | | | |
| Расширитель с пленочной защитой, Бак трансформатора, расширитель, РПН и радиаторы рассчитаны для заполнения маслом под вакуумом. * Положение ПБВ - 3. | | | | | |
| Сторона ВН - А, В, С, N | | | | | |
| Уровень изоляции [kV] | | LI/AC 200/85 | | | |
| Положение | Напряжение [V] | Ток [A] | | | |
| ПБВ | | ONAN | ONAF | | |
| 1 | 40425 | 171,4 | 342,8 | | |
| 2 | 39462 | 175,6 | 351,1 | | |
| 3 | 38500 | 180,0 | 359,9 | | |
| 4 | 37538 | 184,6 | 369,1 | | |
| 5 | 36575 | 189,4 | 378,8 | | |
| Сторона СН - 2a, 2b, 2c | | | | | |
| Уровень изоляции [kV] | | LI/AC 125/50 | | | |
| Указатель РПН | Напряжение [V] | Ток [A] | | | |
| | | ONAN | ONAF | | |
| | | Номер контакта РПН | Положение реверсора | | |
| 1 | 17640 | 654,6 | 1309,2 | 1 |  |
| 2 | 17404 | 663,5 | 1327,0 | 2 | |
| 3 | 17168 | 672,6 | 1345,2 | 3 | |
| 4 | 16931 | 682,0 | 1364,0 | 4 | |
| 5 | 16695 | 691,6 | 1383,3 | 5 | |
| 6 | 16459 | 701,6 | 1403,1 | 6 | |
| 7 | 16223 | 711,8 | 1423,6 | 7 | |
| 8 | 15986 | 722,3 | 1444,6 | 8 | |
| 9A | | | | 9 | |
| 9B | 15750 | 733,1 | 1466,3 | K | |
| 9C | | | | 1 | |
| 10 | 15514 | 744,3 | 1488,6 | 2 | |
| 11 | 15278 | 755,8 | 1511,6 | 3 | |
| 12 | 15041 | 767,7 | 1535,4 | 4 | |
| 13 | 14805 | 779,9 | 1559,9 | 5 | |
| 14 | 14569 | 792,6 | 1585,2 | 6 | |
| 15 | 14333 | 805,7 | 1611,3 | 7 | |
| 16 | 14096 | 819,2 | 1638,3 | 8 | |
| 17 | 13860 | 833,1 | 1666,2 | 9 | |
| Сторона НН - 3a, 3b, 3c | | | | | |
| Уровень изоляции [kV] | | LI/AC 75/28 | | | |
| Напряжение [V] | | Ток [A] | | | |
| 6300 | | ONAN | ONAF | | |
| | | 733,1 | 1466,3 | | |
| Материал обмоток | | Медь | | | |
| Вес обмоток | | 14350 kg | | | |
| Материал сердечника | | Холоднокатанная кремнистая сталь | | | |
| Вес сердечника | | 21800 kg | | | |
| Вес масла | | 25600 kg | | | |
| Внешняя часть с крышкой | | 44000 kg | | | |
| Общий вес | | 87000 kg | | | |
| Транспортный вес | | 56000 kg | | | |

Lisa 3 35 kV skeem

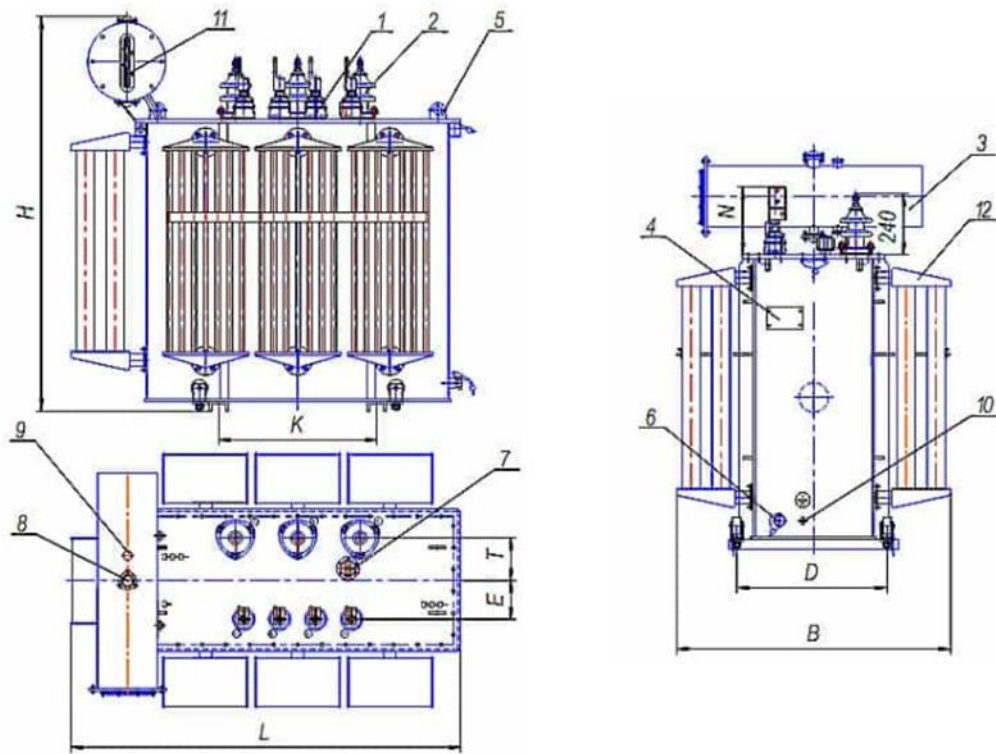


Lisa 4 Narva-Lääne kehtiv alajaama skeem



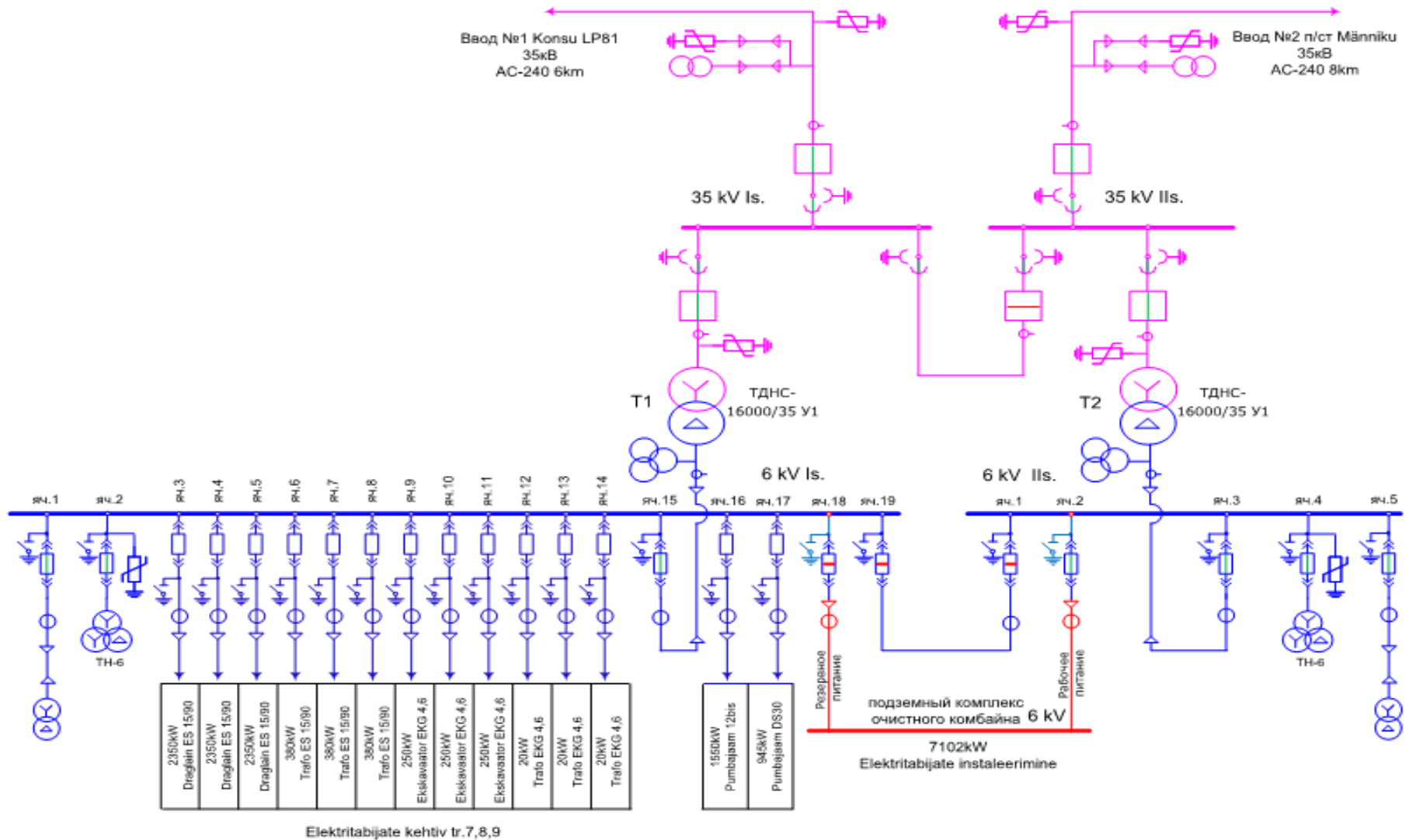
Lisa 5 Trafo TM-6300 peamised spetsifikatsioonid

| | |
|-----------------------------------|------------|
| Trafo | TM-6300/35 |
| Nominaalvõimsus, kVA | 6300 |
| Nominaal kõrgpinge, kV | 35 |
| Номинальное низшее напряжение, кВ | 6,3 |
| Схема и группа соединения обмоток | Y/D-11 |
| Потери холостого хода, кВт | 7,4 |
| Потери короткого замыкания, кВт | 46,5 |
| Ток холостого хода, % | 0,8 |
| Напряжение короткого замыкания, % | 7,5 |



1 - Ввод НН; 2 - ввод ВН; 3 - маслорасширитель; 4 - табличка паспортная; 5 - петли подъемные; 6 - пробка для слива масла; 7 - привод переключателя; 8 - воздухоосушитель; 9 - пробка для заливки масла; 10 - клемма заземления; 11 - маслоуказатель; 12 - радиатор;

Lisa 6 Narva-Lääne 35/6 kV planeeritava alajaama printsiipaalne skeem



Lisa 7 Narva allma elektritarbijad

| Jrk nr | Tarbija | Ühikute arv x ühiku võimsus, kW | Installeeritud võimsus, kW | Toitepinge, V |
|--------|---|---------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| | Mehaniseeritud kombainlaava | | 4 062,4 | |
| 1 | Koristuskombaon | 1360 | 1 360,0 | 3 300 |
| 2 | Kraapkonveier (AFC) | 3x260/520 | 1 450,0 | 3 300 |
| 3 | Kraapüंबरlaadija (BSL) | 2x85/250 | 500,0 | 3 300 |
| 4 | Purusti | 200 | 200,0 | 3 300 |
| 5 | Vesi | 2x55 | 110,0 | 500 |
| 6 | Mehaniseeritud toestiku õlijaam | 3x132 | 396,0 | 1 000 |
| 7 | Pumbajaam kraapüंबरlaadija alas | 2x18 | 36,0 | 500 |
| 8 | Pumbajaam kraapkonveieri alas | 2x2,2 | 4,4 | 500 |
| 9 | Abiventilaator | 2x1,5 | 3,0 | 500 |
| 10 | Kombainlaava ja sellega piirnev valgustus | 3 | 3,0 | 230 |
| | Kogumisstolli suue | | 2 126,5 | |
| 1 | Lintkonveier P1 | 2x400 | 800,0 | 1 000 |
| 2 | Lintkonveieri P1 pingutusjaam | 15 | 15,0 | 1 000 |
| 3 | Lintkonveieri P1 pidurdussüsteem | 1,5 | 1,5 | 1 000 |
| 4 | Peaventilaator | 2x55 | 110,0 | 400 |
| 5 | Kaloriifer | 10x120 | 1 200,0 | 400 |
| | Üंबरlaadimissõlm | | 701,7 | |
| 1 | Lintkonveier P2 | 2x250 | 500,0 | 1 000 |
| 2 | Lintkonveieri P2 pingutusjaam | 15 | 15,0 | 1 000 |
| 3 | Lintkonveieri P2 pidurdussüsteem | 2x0,45 | 0,9 | 400 |
| 4 | Lintkonveier P3 | 2x45 | 90,0 | 1 000 |
| 5 | Lintkonveieri P3 pidurdussüsteem | 2x0,45 | 0,9 | 400 |
| 6 | Lintkonveier P4 | 2x45 | 90,0 | 1 000 |
| 7 | Lintkonveieri P4 pidurdussüsteem | 2x0,45 | 0,9 | 400 |
| 8 | Lintkonveri P4 mootorireduktor | 4 | 4,0 | 400 |
| | Muu | | 213,0 | |
| 1 | Ala valgustus 30x0,5 kW | 15 | 15,0 | 230 |
| 2 | Kontoriruumi soojendus | 40 | 40,0 | 400 |
| 3 | Konteineri MR-6 soojendus | 6 | 6,0 | 400 |
| 4 | Mobiilse alajaama MZS-1 soojendus | 6 | 6,0 | 400 |
| 5 | Mobiilse alajaama MZS-2 soojendus | 6 | 6,0 | 400 |
| 6 | Pumbajaam | 3 | 140,0 | 400 |

Lisa 8 Elektrijuhme 6kV arvutuse tabel

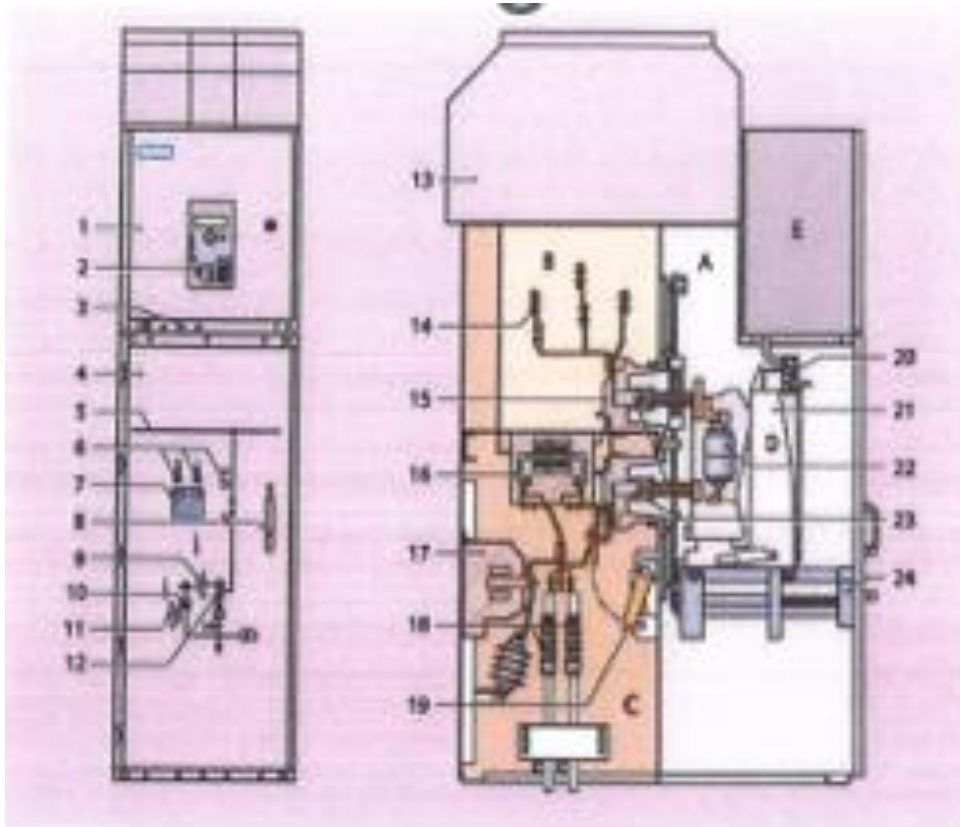
| | $I_{arv} = \frac{S(k')}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}}, A$ | n_{nom} | S_{nom}, kVA | U_{nom}, kV | k' | l, km | Valik, mm ² | R_0 | X_0 | Cos f | Sin f | $\Delta U, V$ | $\Delta U \leq 3 \%$ | ÕHULIIN 6 kV AC |
|--|---|-----------|----------------|---------------|------|---------|------------------------|--------|-------|-------|-------|---------------|----------------------|-----------------|
| Draglain ES15/90 + trafo (7 tr) | 168 | 0,92 | 2730 | 6,3 | 0,67 | 2 | 185 | 0,17 | 0,338 | 0,35 | 0,94 | 35 | OK | |
| Draglain ES15/90 + trafo (8 tr) | 168 | 0,92 | 2730 | 6,3 | 0,67 | 1 | 185 | 0,17 | 0,338 | 0,35 | 0,94 | 18 | OK | |
| Draglain ES15/90 + trafo (9 tr) | 168 | 0,92 | 2730 | 6,3 | 0,67 | 4 | 185 | 0,17 | 0,338 | 0,35 | 0,94 | 70 | OK | |
| EKG 4,6 trafo (7 tr) | 25 | 0,91 | 270 | 6,3 | 0,6 | 2 | 35 | 0,85 | 0,391 | 0,35 | 0,94 | 26 | OK | |
| EKG 4,6 trafo (8 tr) | 25 | 0,91 | 270 | 6,3 | 0,6 | 1 | 35 | 0,85 | 0,391 | 0,35 | 0,94 | 13 | OK | |
| EKG 4,6 trafo (9 tr) | 25 | 0,91 | 270 | 6,3 | 0,6 | 4 | 35 | 0,85 | 0,391 | 0,35 | 0,94 | 52 | OK | |
| Pumbajaam 12bis | 142 | 0,85 | 1550 | 6,3 | 0,8 | 0,8 | 150 | 0,21 | 0,344 | 0,35 | 0,94 | 15 | OK | |
| Pumbajaam DS30 | 87 | 0,9 | 945 | 6,3 | 0,8 | 1 | 150 | 0,21 | 0,344 | 0,35 | 0,94 | 11 | OK | |
| Cos f = 0,35 и ftn f = 0,94 - значения, соответствующие пусковому режиму | | | | | | | | | | | | | | |
| Mehaniseeritud kombainlava | 540 | 0,92 | 7102 | 6,3 | 0,83 | 1,7 | 240 | 0,0157 | 0,154 | 0,92 | 0,4 | 23 | OK | KAABEL 6 KV |
| Kogumisstolli suue | | | | | | | | | | | | | | |
| Ümberlaadimi sõlm | | | | | | | | | | | | | | |
| Muu | | | | | | | | | | | | | | |
| $j_{maj} = 2$ | | | | | | | | | | | | | | |

Lisa 9 Latidekanalite arvutamine ja kontrollimine konkreetse valiku jaoks 35 kV ja 6 kV

| Termiline lühisvoolukindlus, $q_{min\ arv} \geq q_{min}$ | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------|--|--|-----------------------------|------------------|
| Soojusmahtuvuse temperatuuritegur | Perioodilise voolukomponendi aeg | Aperioodilise voolukomponendi aeg | Lühisvool K1 ja K3 | Toodud lühise aeg | Temperatuuri koefitsient (Al) | Termiline vastupidavus, mm ² | Ristlõige, mm ² | Valik | |
| $\beta'' = \frac{I_0}{I_\infty}$ | t_{per} | $t_{apr} = 0,005 * \beta''^2$ | I_∞ | $t_p = t_{apr} + t_{per}$ | α | $q_{min} = \alpha * I_\infty * \sqrt{t_n}$ | $q_{35kV} = \pi * (d_1^2 + d_2^2) / 4$ | $q_{min\ arv} \geq q_{min}$ | |
| 35 kV (40/35) | 1 | 0,5 | 0,005 | 12,07 | 0,505 | 11 | 94,35081247 | 294,375 | 294 ≥ 94,4 =>OK |
| 6 kV (100*8) | 1 | 0,5 | 0,005 | 23,25 | 0,505 | 11 | 181,7445228 | 800 | 800 ≥ 181,7 =>OK |

Mehaaniline tugevus, $\delta_{arv} \geq \delta_{min}$

| Lubatud mehaaniline ping | Arvestuslik mehaaniline ping | Lühisvoolu dünaamilise toime hinnanguline jõud, N | Maksimaalne pikkus isolaatorite vahel, M | Maksimaalne pikkus faasi vahel, M | Vastupanu moment, M3 | Valik | |
|----------------------------|---|---|--|-----------------------------------|----------------------|----------------------------------|------------------|
| δ_{min}, MPa | $\delta_{min} = \frac{F_{arv} * L}{10 * W}, \text{MPa}$ | $F_{arv} = 1,732 * 10^{-7} * i_u^2 * \frac{L}{a}$ | L | a | W | $\delta_{arv} \geq \delta_{min}$ | |
| 35 kV (40/35) | 40 | 25,69 | 83,49149127 | 8 | 0,8 | $2,6 * 10^{-6}$ | 25,69 ≥ 40 => OK |
| 6 kV (100*8) | 40 | 1,34 | 174,9045104 | 1 | 0,25 | $13 * 10^{-6}$ | 1,34 ≥ 40 => OK |



- | | |
|---|--|
| 1. Madalpinge uks | 20. Madalpinge pistikühendus |
| 2. Kaitseseade SIPROTEC 78163 | 21. Kaitaselüliti juht- ja blokeerimismoodul |
| 3. Mahtuvusliku siini pinge indikaator | 22. Vaakum elekrikaarkustutid |
| 4. Kõrgelpinge uks | 23. Kontaktne skeem |
| 5. Mnemoskeem | 24. Juhtimismoodul. |
| 6. Kaitaselüliti käsitsijuhtimise auk | |
| 7. Visuaalne kontrollaken | |
| 8. Kõrgepingesektsiooni avamise käepide | |
| 9. Väljaveeritamise mooduli juhtimie | |
| 10. Maanduslüliti seisu indikaator | |
| 11. Maanduslüliti käsitsijuhtimise auk | |
| 12. Mehhaanilise väljaveeritatav mooduli indikaator | |
| 13. Rõhuvabastuskanaal | |
| 14. Siinid | |
| 15. Isolaator | |
| 16. Voolutrafo ploki tüüp | |
| 17. Pingetrafo | |
| 18. Kaabli ühendamine | |
| 19. Maandus | |